



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

TESI DI LAUREA

**PIANIFICAZIONE E PROTEZIONE
IDRAULICA DEL
BACINO MONTA' - PORTELLO**

Relatore: Ch.mo Prof. Ing. Andrea Rinaldo

Correlatore: Ing. Giulia Passadore

Laureando: Giovanni Lunardi

ANNO ACCADEMICO 2012-2013

Pianificazione e Protezione idraulica del bacino Montà-Portello

Laureando: Giovanni Lunardi
Relatore: Ch.mo Prof. Andrea Rinaldo

6 ottobre 2013

Sommario

La presente tesi discute delle relazioni che intercorrono tra lo sviluppo urbano di un'area e l'adeguamento delle sue infrastrutture idrauliche, con riferimento specifico al territorio del comune di Padova.

La rilevanza del problema è legata agli effetti macroscopici (fisici e ambientali) delle continue trasformazioni del territorio Veneto, in particolare di quello padovano, anche in relazione a considerazioni intorno alla sua protezione idraulica.

La zona di studio riguarda il Quartiere 6 Ovest situato nel tessuto urbano di connessione tra Padova, il quartiere Arcella ed il comune di Limena. Questa zona soffre, in particolare a causa della sua giacitura, di alcuni dei problemi tipici di molte aree urbanizzate o in via di urbanizzazione, quali allagamenti in seguito a precipitazioni anche di modesta intensità, dovuti alla generalizzata insufficienza della rete di drenaggio. Lo studio propone una ipotesi di futuro assetto urbanistico dell'area in esame e ne esamina le conseguenze idrologico-idrauliche.

Attraverso lo studio delle precipitazioni e della morfologia della zona di studio si è pervenuti a quantificare le portate d'acqua meteorica da smaltire in relazione all'uso del suolo, e dunque all'assetto urbanistico.

Il risultato più significativo della presente tesi concerne la definizione quantitativa delle necessità di adeguamento dello smaltimento delle acque meteoriche agli assetti urbanistici prevedibili, in particolare in ragione dell'aumento delle portate di riferimento per il calcolo delle reti conseguenti alla proposta di progetto. Queste risultano significativamente superiori a quelle dello stato di fatto odierno.

L'analisi evidenzia quindi l'importanza pratica e concettuale delle connessioni tra le ipotizzabili trasformazioni dell'uso del suolo e l'adeguamento delle infrastrutture idrauliche, verso un approccio quantitativo alla pianificazione territoriale.

Indice

1	Inquadramento territoriale	1
1.1	Inquadramento Geografico	1
1.2	Inquadramento Urbano	2
1.3	Il Piano di Assetto del Territorio (P.A.T)	11
1.4	I Quartieri	19
2	Assetto idraulico	21
2.1	La rete idrografica	21
2.2	I bacini idraulici	24
2.3	Il consorzio di bonifica Bacchiglione	34
2.4	Il rischio idraulico in Padova	40
2.5	Scolmatore di piena Limenella-Fossetta	41
3	Indagine preventiva	43
3.1	Il quadro normativo	43
3.2	Analisi geomorfologica e idrologica	45
4	Indirizzi per mitigare l’impatto idraulico	53
4.1	Ambito di applicazione	53
4.2	Compensare i volumi d’invaso	53
4.3	Recupero dei volumi di invaso	54
4.4	Mantenere e ripristinare i fossi	54
4.5	Manufatti di controllo dello scarico	55
4.6	Tombinature	56
4.7	Opere pubbliche ed infrastrutture	56
4.8	Piano di imposta dei fabbricati	56
4.9	Superfici impermeabili e pluviali	57
4.10	Corsi d’acqua consorziali	57
4.11	Verde Pubblico	58

5	Assetto idraulico futuro	59
5.1	Analisi delle precipitazioni	59
5.1.1	Stazione Padova anni 1950-1994	59
5.1.2	Stazioni C.M.T. anni 1994-2008	78
6	Il modello Geomorfologico	109
6.1	I modelli di trasformazione afflussi/deflussi	109
6.1.1	Il modello geomorfologico	110
6.1.2	Il trasporto di massa con dispersione	115
6.1.3	L'idrogramma unitario istantaneo geomorfologico	120
6.2	La determinazione della precipitazione efficace	121
6.2.1	Il modello SCS	121
7	Risultati	125
7.1	La zona in esame	125
7.2	Costruzione della rete drenante	130
7.3	Portate di piena	136
7.4	I risultati del modello	139
8	Conclusioni	151
	Appendice	153

Elenco delle figure

1.1	La regione Veneto e la città di Padova nel contesto regionale . . .	3
1.2	La città di Padova	3
1.3	Nuovo Piano Regolatore della città di Padova. Gruppo degli Urbanisti Romani 1926 1.Schema della mobilità principale. 2.Zonizzazione. Concorso per il nuovo Piano Regolatore di Padova 1932/1933. 3.Zonizzazione. 4.Schema della mobilità.	5
1.4	Comune di Padova: 1.Piano Regolatore Edilizio 1868 - 1872. 2.Piano Regolatore della città 1836. 3.PRG del Comune di Padova 1954. 4.Variante per la definizione dei servizi e delle norme 2001 - 2007.	6
1.5	Espansione di padova nel '900	7
1.6	L.Piccinato, Piano Regolatore di Padova adottato il 10 maggio 1954, "Urbanistica", 21 gennaio 1957	8
1.7	I Comuni della provincia di Padova	10
1.8	Carta del rischio Ambientale nel comune di Padova - Quadro d'insieme	16
1.9	Carta delle trasformabilità nel comune di Padova- Quadro d'insieme	17
1.10	Carta delle invarianti nel comune di Padova- Quadro d'insieme	18
1.11	Carta delle fragilità nel comune di Padova- Quadro d'insieme .	19
1.12	PRUSST: "Arco di Giano"	20
2.1	La rete idrografica a cura del Consorzio Bacchiglione	22
2.2	La rete idrografica interna alle mura di Padova	23
2.3	Tipi di deflusso nella rete del Consorzio di Bonifica	24
2.4	Il bacino Montà Portello nel compensorio	28
2.5	Maggiori opere nel bacino	29
2.6	Impianti nel bacino scolante in quartiere Arcella	30
2.7	Altimetria nel bacino scolante in quartiere Arcella	30
2.8	Principali opere nel bacino Fossetta	31
2.9	Altimetria nel bacino Fossetta	32

2.10	Principali opere nel bacino Montà	32
2.11	Altimetria nel bacino Montà	33
2.12	Geomorfologia del territorio ricadente nel Consorzio di bonifica	35
2.13	Geomorfologia del territorio ricadente nel Consorzio di bonifica	36
2.14	Idrovora Vetri via Giotto	38
2.15	Idrovora S.Lazzaro	38
2.16	Idrovora Valli Camin	38
2.17	Idrovora Ca'Nordio	38
2.18	Idrovora via Goito	38
2.19	Idrovora del maestro Roncajette	38
2.20	Idrovora Voltabarozzo	38
2.21	Infiltrazione dell'acqua prima e dopo l'urbanizzazione	39
2.22	Nuovo scolmatore Limenella-Fossetta	42
3.1	Carta dei vincoli centrata nella zona in esame	46
3.2	Carta del rischio ambientale centrata nella zona d'esame	47
3.3	Carta delle fragilità centrata nella zona d'esame	48
3.4	Carta delle trasformabilità centrata nella zona d'esame	49
3.5	Carta delle invarianti centrata nella zona d'esame	50
3.6	Carta dei suoli della zona in esame	51
3.7	Carta del rischio idraulico della zona in esame	52
4.1	Area verde a temporaneo allagamento	54
4.2	Manufatto di controllo dello scarico	55
4.3	Costruzione di infrastrutture sotto il piano campagna	57
5.1	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata inferiore all'ora	67
5.2	Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata inferiore all'ora	68
5.3	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata oraria	75
5.4	Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata oraria	76
5.5	Equazione di possibilità pluviometrica - $T_r=10$ anni	77
5.6	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata inferiore all'ora	83
5.7	Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata inferiore all'ora	84
5.8	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata oraria	90
5.9	Stazione Orto Botanico: Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata oraria	91

5.10	Equazione di possibilità pluviometrica - $T_r=10$ anni	92
5.11	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata inferiore all'ora	97
5.12	Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata inferiore all'ora	98
5.13	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata oraria	105
5.14	Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata oraria	106
6.1	Schema elementare di bacino idrografico e degli stati in esso individuabili, [Mainardi,2010]	113
6.2	Calcolo della distribuzione di probabilità di una variabile alea- toria somma di due variabili aleatorie. L'area tratteggiata rap- presenta l'evento $\{(T', T'') : T = T' + T'' \leq t\}$, [Marani,2005] . . .	114
6.3	Schema di bacino idrografico ed ordinamento della struttura drenante, [Rodriguez-Itorbe e Rinaldo,1997]	114
6.4	Determinazione Pioggia efficace attraverso il metodo SCS	122
7.1	Ortofoto area in esame	126
7.2	Estratto di mappa area in esame	127
7.3	Plastico ospedale progetto di massima	129
7.4	Area zona in esame	130
7.5	Il bacino in esame e i due sottobacini principali	132
7.6	Indicazione degli scoli del bacino esaminato	133
7.7	Costruzione della rete drenante nel bacino in esame	134
7.8	<i>Curve Number</i> attuali - stazione di Padova - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore	140
7.9	<i>Curve Number</i> futuri - stazione di Padova- grafico per piogge di 1 ora e 3 ore	141
7.10	<i>Curve Number</i> futuri 2 - stazione di Padova- grafico per piogge di 1 ora e 3 ore	142
7.11	Stazione di Padova- sintesi risultati per piogge di 1 ora e 3 ore .	143
7.12	<i>Curve Number</i> attuali - stazione di Orto Botanico - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore	144
7.13	<i>Curve Number</i> futuri - stazione di Orto Botanico - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore	145
7.14	<i>Curve Number</i> futuri 2 - stazione di Orto Botanico - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore	146
7.15	Stazione di Orto Botanico- sintesi risultati per piogge di 1 ora e 3 ore	147
7.16	Confronto dei i valori di picco 1 ora nelle conformazioni <i>attuali</i> e <i>futuri</i> 2 tra i dati pioggia Padova ed Orto Botanico	148

7.17	Confronto dei i valori di picco 3 ore nelle conformazioni <i>attuali</i> e <i>futuri</i> 2 tra i dati pioggia Padova ed Orto Botanico	149
1	Vista Aerea della zona considerata	154
2	Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo	155
3	Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo	156
4	Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo	157
5	Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo	158
6	Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo	159
7	Stazione di sollevamento in prossimità del sottopasso Stadio Euganeo	160
8	Stazione di sollevamento in prossimità del sottopasso Stadio Euganeo	161
9	Vista dello scolo Delle Basse - tangenziale	162
10	stazione di sollevamento di via Cignaroli - tangenziale	163
11	stazione di sollevamento di via Istria	164
12	Zona agricola in area d'esame	165
13	Scolo Limenella nell'area in esame	166
14	Nuovo cavalcavia Sarpi-Dalmazia	167

Elenco delle tabelle

5.1	Precipitazioni di notevole intensità e breve durata e di massima intensità registrate nella stazione pluviografica di Padova - quota 12 m s.m.m.	61
5.2	Valori dei parametri Y_N ed S_N secondo Gumbel	62
5.3	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 15$ minuti	64
5.4	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 30$ minuti	65
5.5	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 45$ minuti	66
5.6	Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate inferiori all'ora	69
5.7	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 1$ ora	70
5.8	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 3$ ore	71
5.9	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 6$ ore	72
5.10	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 12$ ore	73
5.11	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 24$ ore	74
5.12	Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate dell'ordine dell'ora	78
5.13	Precipitazioni di notevole intensità e breve durata e di massima intensità registrate nella stazione pluviografica di Padova - Orto Botanico	79
5.14	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 15$ minuti	80
5.15	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 30$ minuti	81

5.16	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 45$ minuti	82
5.17	Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate inferiori all'ora	82
5.18	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 1$ ora	85
5.19	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 3$ ore	86
5.20	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 6$ ore	87
5.21	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 12$ ore	88
5.22	Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 24$ ore	89
5.23	Stazione Orto Botanico: Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate dell'ordine dell'ora	92
5.24	Precipitazioni di notevole intensità e breve durata e di massima intensità registrate nella stazione pluviografica di Padova - Legnaro	93
5.25	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 15$ minuti	94
5.26	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 30$ minuti	95
5.27	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 45$ minuti	96
5.28	Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate inferiori all'ora	96
5.29	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 1$ ora	100
5.30	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 3$ ore	101
5.31	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 6$ ore	102
5.32	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 12$ ore	103
5.33	Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 24$ ore	104
5.34	Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate dell'ordine dell'ora	107
6.1	Valori di CN per diversi usi del suolo e diversi tipologie di suolo	123
6.2	Classificazione dei suoli dell SCS	124

7.1	superficie singoli lotti	128
7.2	Caratteristiche geometriche del bacino	135
7.3	Caratteristiche geometriche del bacino	138

Capitolo 1

Inquadramento territoriale

La presente tesi propone uno studio delle relazioni che sussistono tra le trasformazioni dell'uso del suolo e l'assetto delle infrastrutture idrauliche nel territorio del comune di Padova. Il Comune di Padova è interessato in questi ultimi anni da evidenti e profonde trasformazioni degli assetti urbanistici. Terreni ora strettamente ad uso agricolo o boschivo perchè limitrofi e difficilmente raggiungibili, sono oggi trasformabili in zone con discreta densità abitativa oppure oggetto di sviluppo delle zone industriali, commerciali e di servizio del territorio, con importanti conseguenze anche sui regimi delle acque.

1.1 Inquadramento Geografico

L'area scelta per lo studio si colloca nella zona Nord-Ovest del Comune di Padova. Padova è il capoluogo dell'omonima Provincia nel Veneto, situato nell'estremità orientale della pianura Padana, tra i Colli Euganei e la laguna Veneta.(Figura 1.1 e 1.2)

Confina con:

- a Nord con Cadoneghe, Limena, Vigodarzere, Villafranca Padovana
- a Est con Legnaro, Noventa Padovana, Saonara, Vigonovo, Vigonza
- a Ovest con Abano Terme, Rubano, Selvazzano Dentro
- a Sud con Albignasego, Ponte San Nicolò

Il territorio, interamente pianeggiante ha uno sviluppo di circa $90km^2$, delimitato dai corsi d'acqua che nel corso dei secoli ne hanno profondamente delineato la fisionomia e condizionato il tessuto urbano: i bacini idrografici del fiume Brenta e del Bacchiglione.

Queste vie d'acqua si resero fondamentali sia per l'economia che per la protezione della città, ma d'altra parte furono causa di tremende alluvioni e disagi per

i cittadini. Le vie d'acqua fornivano un valido aiuto negli scambi commerciali con la città di Venezia, ma furono solo le grandi opere ingegneristiche volute dai magistrati delle acque a permetterne la riduzione dei rischi di inondazioni gravi del comune padovano.

L'attuale sistema di chiuse e collegamenti tra i vari canali cittadini permette di far defluire anche onde di piena eccezionali, senza grosse ripercussioni sulla città.

La città poggia su un terreno pianeggiante composto di materiali fini e limo-sabbiosi, con rare presenze di materiali ghiaiosi. La pianura dove sorge Padova presenta un naturale declino dalle zone pedemontane a Nord-Ovest verso il mare Adriatico a Sud-Est secondo gli assi di scorrimento dei due fiumi principali, il Brenta ed il Bacchiglione. In mezzo a questo territorio si eleva notevolmente il suolo all'interno delle mura, nella città costruita sopra le macerie di antichi edifici: nella parte centrale si hanno quindi quote oltre i 18 m s.l.m. mentre nelle zone periferiche le quote sono degradanti da 14 a 9 m s.l.m.

Il territorio può essere suddiviso altimetricamente:

- la zona Ovest, compresa tra il canale Brentella, la ferrovia Padova-Vicenza, la fossa Bastioni ed il Bacchiglione, ha una pendenza del terreno orientata da Ovest a Est e compresa tra i 14 e 12 m s.l.m.;
- la zona Nord, delimitata dal fiume Brenta a Nord, dalla ferrovia Padova-Vicenza, dalle mura e dal Piovego a Sud, ha pendenza Nord-Ovest verso Sud-Est e quote del terreno comprese tra i 15 ed i 10 m s.l.m.;
- la zona centrale costituito dal Centro Storico compreso dentro le mura e dalle zone limitrofe tra il Piovego, il canale di S.Gregorio ed il Bacchiglione, ha quote tra i 18 ed i 12 m s.l.m per il centro e tra i 12 ed i 10 m s.l.m. per le limitrofe;
- la zona industriale Sud, compresa tra il Piovego, il canale di S.Gregorio ed il Roncajette, presenta quote mediamente intorno a 10 m s.l.m.;
- la zona a Sud della linea data da Bacchiglione e Canale Scaricatore varia tra 13 e 9 m s.l.m.

Per quanto riguarda il rischio sismico, infine, è classificata zona a basso rischio.

1.2 Inquadramento Urbano

La conformazione attuale della città di Padova deriva sostanzialmente da una espansione legata al territorio, prima del XIX secolo, e da soluzioni attuate dalle amministrazioni in epoca moderna. È innegabile infatti che la giacitura a



Figura 1.1: La regione Veneto e la città di Padova nel contesto regionale

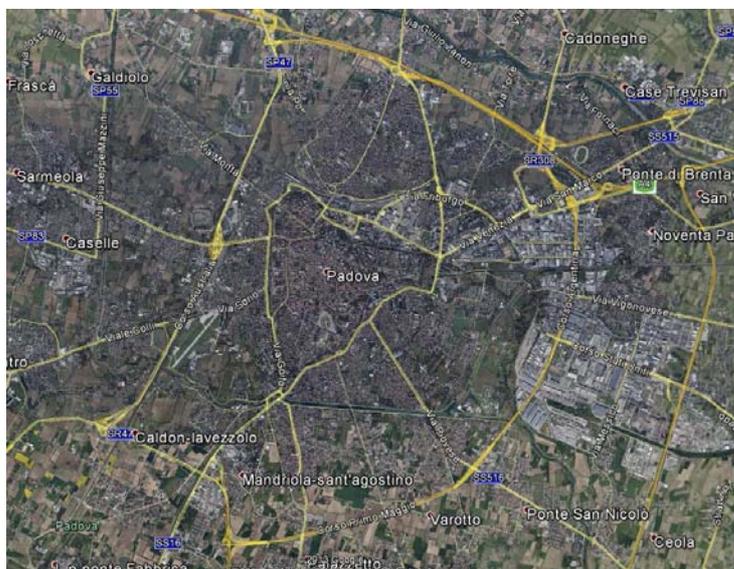


Figura 1.2: La città di Padova

ridosso dei fiumi Brenta e Bacchiglione, la presenza di zone paludose e l'intensa attività agricola ne hanno determinato la crescita nei primi secoli, mentre in epoche più moderne, l'attestarsi di Padova come centro nevralgico dell'economia del Nord-Est ne causano una espansione graduale.

Alla fine del 500 una serie di spaventose alluvioni sconvolsero l'assetto idrografico di molti fiumi della pianura padana. Il Brenta modificò il suo corso spostandosi a nord del centro urbano e il suo alveo dentro la città viene occupato dalle acque del Bacchiglione. A seguito di questo periodo di disordine idrografico l'area a sud della città, Prato della Valle, si trasformò in una zona acquitrinosa e paludosa. La situazione sostanzialmente rimase invariata, se non per pochi cambiamenti puntuali (Santa Giustina, Palazzo della Ragione) dettata da una conformazione idrologica sempre critica: le continue esondazioni ed alluvioni ne bloccano effettivamente l'arricchimento e la programmazione.

Alla fine del 1700 Giovanni Valle¹ ci consegna delle minuziose descrizioni della città, in cui sono già presenti i centri storicamente riconoscibili, come l'università, la Basilica e l'isola Memmia, di recente costruzione. Del XIX sono i nuovi piani regolatori, che ci consegnano un'immagine di città fortemente commerciale e produttiva. La ferrovia Milano-Venezia è già realizzata, come anche la Padova-Bologna, anche se restano pure all'interno delle mura spazi ancora verdi e coltivati.

Da allora la città si evoluta ed espansa seguendo le reti viarie tracciate, rispettando di fatto non un Piano Regolatore ma un Regolamento Edilizio, che regolava solo il modo di costruire gli edifici e non la loro ubicazione in previsione di future espansioni. La rete ferroviaria diventa fondamentale per restare al passo con l'economia così come le reti fluviali e stradali, che hanno favorito la nascita di zone industriali a Nord e produttive a Sud. Queste di fatto sono le molle propulsive che hanno determinato l'incremento di popolazione e il conseguente bisogno di aumentare gli alloggi con razionalità.

Il termine "pianificazione" diventa quindi attuale solo nel XX secolo ossia quando si è reso necessario definire un funzionale sistema infrastrutturale e della mobilità.

Periodo Piccinato

La seconda metà del '900 segna una serie di radicali cambiamenti nell'aspetto urbano della città. L'intervento dell'amministrazione comunale in antitesi alle proposte di Luigi Piccinato² creano le basi dell'odierna conformazione sia infrastrutturale che di servizi di Padova. La proposta di un suo Piano Rego-

¹Giovanni Valle, urbanista ed architetto per Padova, nel 1781 disegna la carta topografica di Padova

²Luigi Piccinato(1899-1984) Architetto e Urbanista, ha collaborato nell'attuazione di numerosi Piani Regolatori in Italia. Dal 1965 al 1977 è assessore all'urbanistica per Padova

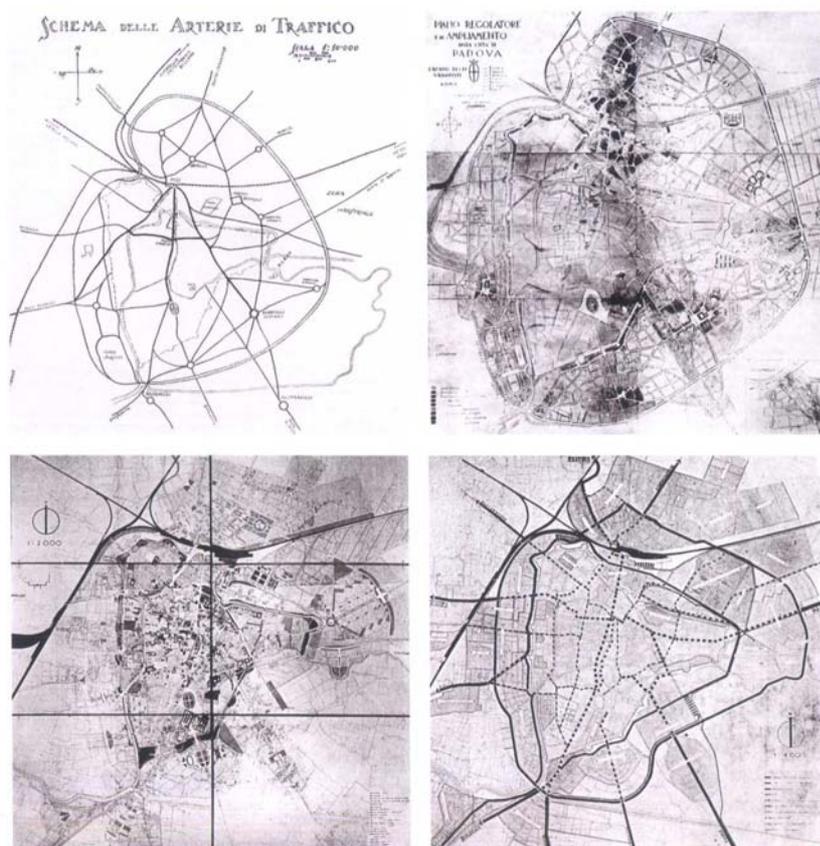


Figura 1.3: Nuovo Piano Regolatore della città di Padova. Gruppo degli Urbanisti Romani 1926 1.Schema della mobilità principale. 2.Zonizzazione. Concorso per il nuovo Piano Regolatore di Padova 1932/1933. 3.Zonizzazione. 4.Schema della mobilità.

latore è già del 1955, attuata solo dall'amministrazione eletta l'anno successivo. Viene inteso come un piano di "massima", con rispetto di alcune linee essenziali ma una sommaria libertà di azione data ai privati. In questa maniera non viene impostato un organico piano di sviluppo bensì una scoordinata crescita dettata da esigenze private. In questo clima, Piccinato scrive, il 5 Febbraio del 1957: "[...]non vi è altro che l'amarezza e l'angoscia nel vedere come la nostra Padova, che aveva tutte le premesse per risolvere i problemi della sua struttura in un sano e nuovo organismo urbano, sia invece votata al caos, alla sconcia distruzione antieconomica: continuando così, i problemi che oggi si potevano e si volevano risolvere si ripresenteranno in un prossimo futuro moltiplicati in grandezza e irrimediabilmente insolubili."

Un esempio emblematico è il tombinamento del Naviglio Interno, non pre-



Figura 1.4: Comune di Padova: 1.Piano Regolatore Edilizio 1868 - 1872. 2.Piano Regolatore della città 1836. 3.PRG del Comune di Padova 1954. 4.Variante per la definizione dei servizi e delle norme 2001 - 2007.

visto dal PRG. Oppure la creazione di un anello, la circonvallazione, concetto espressamente rifiutato da Piccinato, che vedeva in previsione l'insufficienza di tale sistema. Determinante a questo proposito la prescrizione ministeriale di spostare a Nord del quartiere Arcella il tracciato dell'autostrada Milano-Venezia e di realizzare ad Ovest un raccordo tra la Stazione Padova-Ovest e la strada statale 11 diretta al centro città. La progettazione di Piccinato era invece quella di un tracciato autostradale parallelo e aderente alla ferrovia, creando un unico sistema intermodale collegato al centro nevralgico della città. [U.Trame,2010]

Nel 1965, fino al 1977 Piccinato diventa assessore all'Urbanistica per la città di Padova. Il nuovo corso politico tornò ai principi enunciati precedentemente, trattando i temi cruciali come la tutela del centro storico, l'assetto del centro

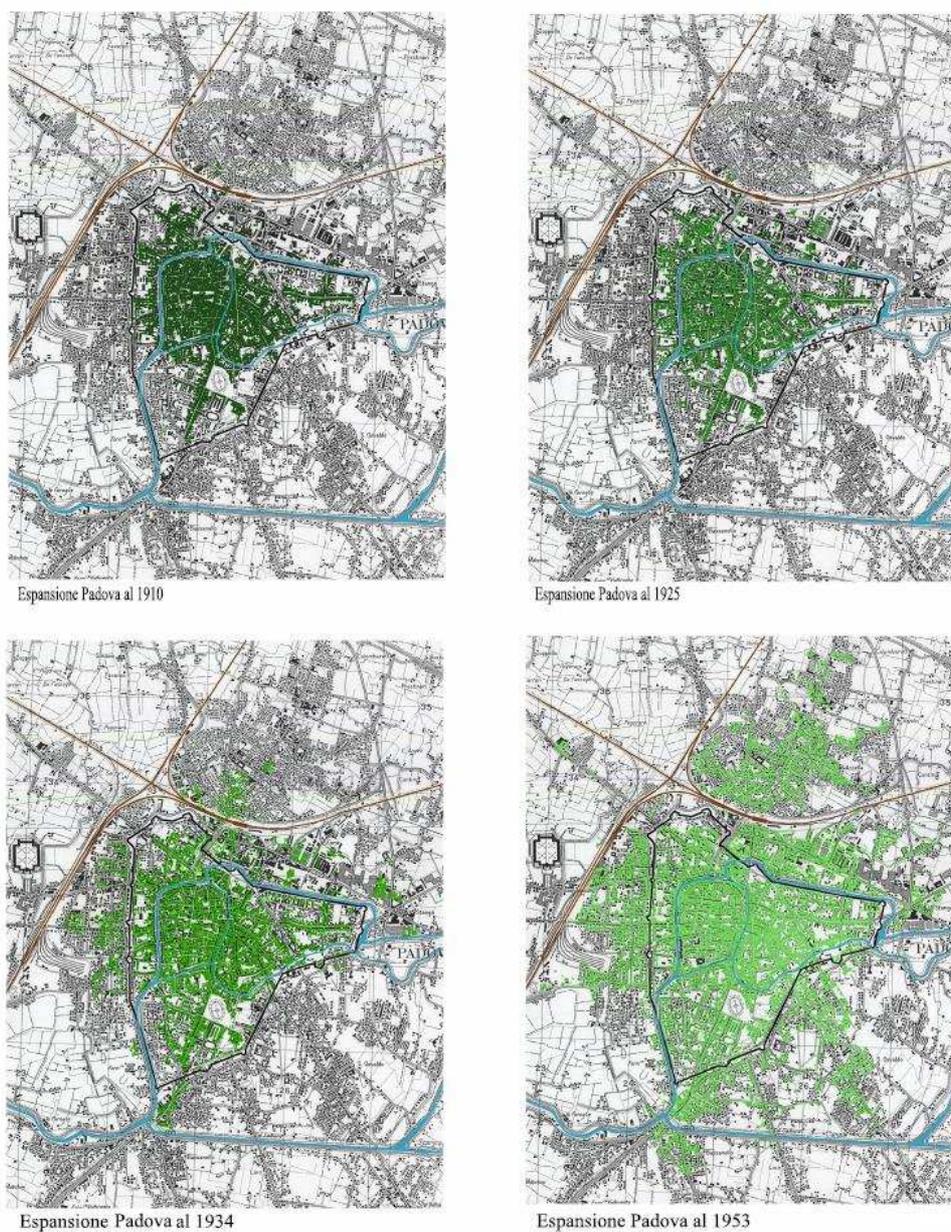


Figura 1.5: Espansione di padova nel '900

direzionale, lo sviluppo della zona universitaria e del PEEP³ in maniera più organica: si pretende coerenza e razionalità delle scelte. La riorganizzazione urbanistica si traduce nella nuova Variante Generale del PRG: il tema preponderante era quello della viabilità urbana ed autostradale. Si voleva evitare

³P.E.E.P Piano di Edilizia Economica Popolare

l'accerchiamento completo della città, già iniziato con la creazione dell'autostrada Padova-Bologna e dal suo collegamento con la Milano Venezia. Lo schema proposto in alternativa era aperto sul territorio, fondato su due assi principali da Nord a Sud non collegati tra loro, fondamento di un futuro consolidamento intercomunale. La zona direzionale viene ampliata ad Est, zona S.Lazzaro, con l'intento di potenziarne le capacità alleggerendo il centro storico.

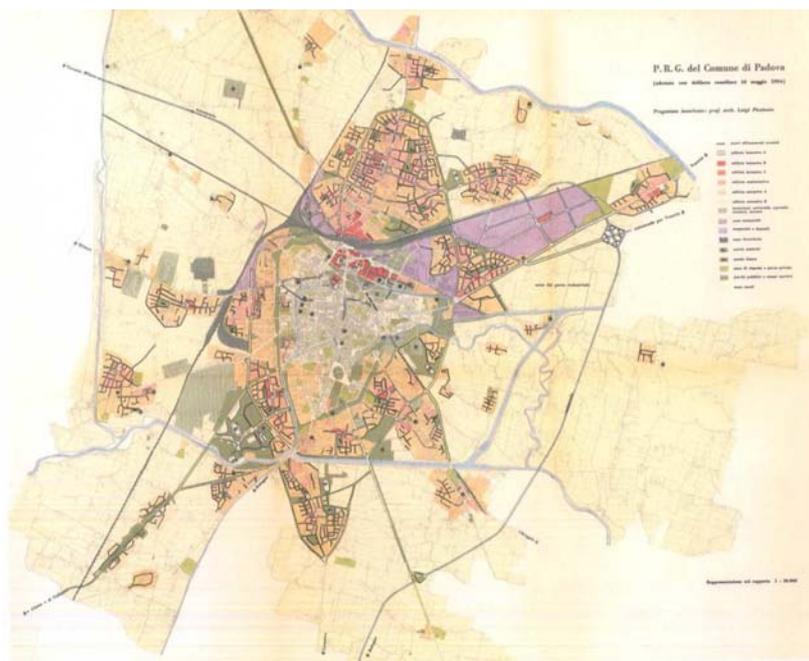


Figura 1.6: L.Piccinato, Piano Regolatore di Padova adottato il 10 maggio 1954, "Urbanistica", 21 gennaio 1957

A Nord-Ovest del centro urbano viene previsto un nuovo Complesso Ospedaliero, posizione ideale perchè al di fuori del centro, direttamente collegata alla provincia e alle zone direzionali, senza aggravare il traffico di penetrazione in città. Venne inserita l'idrovia e il relativo porto fluviale, ridimensionata la previsione della zona industriale addossata al canale scaricatore, lasciando una fascia di rispetto verde data dal parco del Ronciette, dall'omonimo corso d'acqua che lo attraversa. La riqualificazione avveniva secondo gli standard urbanistici del legislatore (DM 2 Aprile 1968 n.144).

Il percorso di adozione della Variante incontrò numerose difficoltà, arrivando dopo numerosi tentativi ad una serie di "controdeduzioni": le osservazioni criticavano alcune parti del Piano, e di certe infrastrutture viarie. Si osservò che, visto l'impossibilità di mantenere l'attuale PRG perchè non rispondente alle nuove esigenze e visti gli esempi attuali di riurbanificazione e pianificazione esistenti (Pavia, Brescia, Modena per esempio), si poteva ridimensionare la

Variante verificando la fattibilità degli altri piani regolatori.

Da notare che proprio queste controdeduzioni, formulate dai vari Consigli di Quartiere interessati, riportarono in discussione la previsione ed assegnazione del nuovo ospedale di Padova, in quanto non giustificato dalle previsioni sovracomunali⁴.

Da questo punto una nuova generazione di Piani Regolatori stava prendendo vita, ma non si ricorse più a Piccinato, bensì a quattro urbanisti di chiara fama, incaricati a rappresentare tutte le correnti politiche ed economiche.

L'approvazione della Variante Generale pose fine all'esperienza Padovana di Piccinato, ma rimangono sicuramente l'intuito nel prevedere le esigenze future e lo sviluppo di certe situazioni. Ne è un chiaro esempio l'Ospedale, attualmente angusto e senza possibilità di respiro richiede da tempo un trasferimento: la zona indicata dagli Enti interessati è il quadrante Nord Ovest, nei pressi di corso Australia, come già previsto da Piccinato. Mancano però quelle infrastrutture che l'urbanista aveva previsto ma che non sono mai state realizzate, come l'arteria stradale che doveva deviare a Nord dei centri abitati il traffico dal Vicentino (Arco di Giano), reinserito solo in parte con il PRUSST ("Programma di riqualificazione Urbana e di Sviluppo Sostenibile del Territorio").[U.Trame,2010]

Situazione Attuale

Nei Piani attuali ben poco rimane dei regolatori di Piccinato, ma è riconoscibile, nonostante i molti adeguamenti, la presenza di alcuni cardini del suo pensiero:

- gli spazi verdi o agricoli residui, rimasti a separare i quartieri per evitare un'espansione "a macchia d'olio";
- la città moderna sorta accanto all'antica, lasciata alle sue funzioni tradizionali;
- il terziario sviluppato ad est;
- la normativa conservativa per il centro storico

Il particolare momento storico, successivo all'approvazione del PR coincide con un boom economico; sono anni di crescita in cui la città raggiunge pressapoco l'attuale espansione.

Dal 1977, anno di flessione del picco per quanto riguarda la popolazione residente, alla fine del Millennio vengono attuati numerosi Piani di Edilizia

⁴Il Comune chiese lo stralcio del nuovo ospedale perchè l'ipotesi non era sostenuta da previsioni a livello sovracomunale e perchè risultava contraria alle linee di programmazione ospedaliera regionale tendenti al decentramento degli ospedali nelle aree periferiche della Regione.

Economica e Popolare che hanno portato lo sviluppo di nuove realtà urbane quali i quartieri di Mortise, San Carlo , Camin, Granze, Torre e Mandria, che acquistano una certa autonomia.

Negli ultimi anni lo strumento Piano Regolatore è servito principalmente a riqualificare aree ormai datate (edificate nel secondo dopoguerra) nel riempimento di lotti liberi e riconversione di edifici artigianali e industriali.

Il legislatore regionale, rispetto all'approvazione dei piani regolatori e le loro varianti, ha riconosciuto che "la gestione dello strumento urbanistico principale non può essere statica ed estremamente vincolante nel tempo", ed inoltre "non può essere compito precipuo dell'ente superiore la valutazione sulla opportunità o meno di realizzare particolari destinazioni urbanistiche di limitata importanza territoriale".

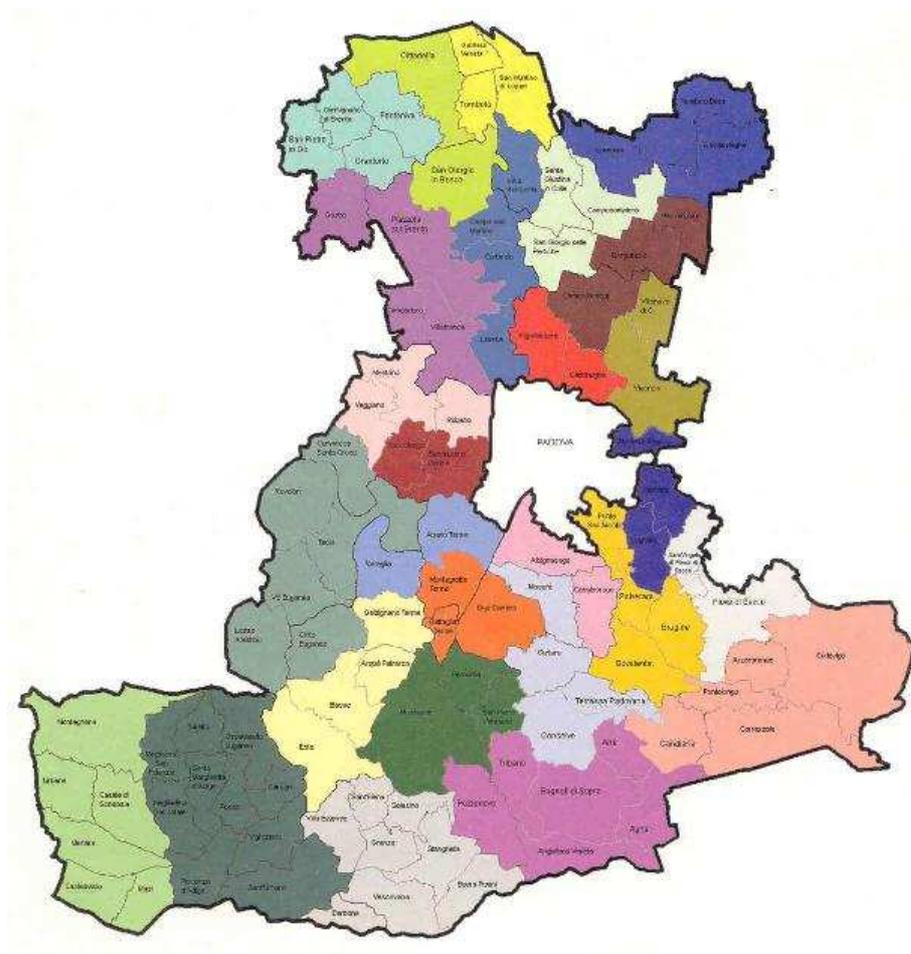


Figura 1.7: I Comuni della provincia di Padova

Sulla base di queste considerazioni la Regione Veneto ha dapprima modificato con la L.R. n. 21 del 1998 l'art. 50 della Legge urbanistica regionale, dando direttamente al Comune la facoltà di approvare e gestire le varianti al Piano Regolatore Generale per la realizzazione dei Servizi, e con la nuova Legge Regionale "Norme per il governo del Territorio", del 23 aprile 2004, n. 11 ha diviso il Piano Regolatore in due parti distinte: il "Piano di Assetto del Territorio" (P.A.T.), approvato dalla Giunta Regionale, come strumento "quadro" di riferimento per la gestione del territorio ed il "Piano degli Interventi" (P.I.), come strumento prettamente operativo gestito direttamente dall'Amministrazione Comunale.

1.3 Il Piano di Assetto del Territorio (P.A.T)

Il documento preliminare per il Piano di Assetto del Territorio si sintetizzano in alcuni punti riguardanti gli obiettivi e la metodologia e struttura di riferimento, definendo modi e forme di partecipazione alle scelte di pianificazione locale.

Il P.A.T. di Padova è stato creato per decentrare sul territorio della Provincia (Figura 1.7) gli obiettivi ed i temi definiti dalla nuova legge della Regione Veneto (L.R. 11/2004) che riguardano:

- la promozione e la realizzazione di uno sviluppo sostenibile e durevole;
- la tutela delle identità storico culturali e della qualità degli insediamenti;
- la salvaguardia e la valorizzazione dei tessuti storici, del paesaggio rurale e delle aree naturalistiche;
- la difesa dai rischi idrogeologici;
- il coordinamento con le più generali politiche di sviluppo di scala nazionale ed europea.

Il Documento Preliminare definisce, suddividendoli e articolandoli per sistemi (ambientale e paesaggistico, insediativo, infrastrutturale), i principali e generali obiettivi e temi di sostenibilità che il PAT avrà il compito di affrontare e sviluppare durante il processo di pianificazione.

Contenuto dei Sistemi

SISTEMA AMBIENTALE

L'esigenza primaria che emerge dalla comunità è la valorizzazione del verde pubblico, il contatto con l'ambiente e gli spazi naturali; c'è una necessità di potenziamento dei parchi esistenti e la creazione di nuovi parchi. Nei quartieri nascono nuovi esempi di questo, come il parco del Brenta, Q2, il parco Morandi

nel Q3, parco del Basso Isonzo, parco delle Acque e parco delle Mura nei Q5 e Q1. Oltre ai parchi si fa riferimento alle fasce verdi, come schermi verso le infrastrutture, cunei verdi che completano una rete nel contesto urbano. Tutte queste zone, comprese le zone agricole vengono inserite in un sistema unitario ed integrato, per valorizzarne e ottimizzarne la funzione.

SISTEMA INFRASTRUTTURALE

Le proposte inserite all'interno del sistema infrastrutturale si propongono come soluzione di alcuni nodi critici della città, sviluppando nuove idee per la mobilità, come il trasporto pubblico integrato e percorsi ciclopedonali potenziati. L'obiettivo è naturalmente la limitazione dei trasporti privati a favore dei pubblici (Metrotram, autobus e treni)

SISTEMA INSEDIATIVO

Nel sistema Insediativo vengono inserite proposte di riorganizzazione della città, come la delocalizzazione e riorganizzazione di servizi (ad esempio lo spostamento del polo ospedaliero). Si considerano anche la riconversione di alcune aree come la mitigazione di altre realtà (a ridosso della zona industriale). Le trasformazioni urbane devono avvenire per riqualificazione, non solo per nuova edificazione delle zone agricole, riaffermando l'identità locale e la valorizzazione del patrimonio esistente.

SISTEMA DELLE CENTRALITA'

Come il sistema insediativo, anche questo sistema si propone la sensibilizzazione alla valorizzazione di un'identità sociale, con punti di aggregazione nel territorio. Vengono quindi individuati luoghi e temi che esprimano una centralità, con specifiche differenze tra i quartieri.

Quadro conoscitivo

Il Piano di Assetto del Territorio, come definito dall'art.13 della L.R. 11/2004, presuppone la conoscenza degli elementi che caratterizzano il territorio. Questi elementi, elencati nell'articolo sono:

1. verifica ed acquisisce i dati e le informazioni necessari alla costituzione del quadro conoscitivo territoriale comunale;
2. disciplina, attribuendo una specifica normativa di tutela, le invarianti di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica, paesaggistica, ambientale, storico-monumentale e architettonica, in conformità agli obiettivi ed indirizzi espressi nella pianificazione territoriale di livello superiore;
3. individua gli ambiti territoriali cui attribuire i corrispondenti obiettivi di tutela, riqualificazione e valorizzazione, nonché le aree idonee per interventi diretti al miglioramento della qualità urbana e territoriale;

4. recepisce i siti interessati da habitat naturali di interesse comunitario e definisce le misure idonee ad evitare o ridurre gli effetti negativi sugli habitat e sulle specie floristiche e faunistiche;
5. individua gli ambiti per la formazione dei parchi e delle riserve naturali di interesse comunale;
6. determina il limite quantitativo massimo della zona agricola trasformabile in zone con destinazione diversa da quella agricola, avendo riguardo al rapporto tra la superficie agricola utilizzata (SAU) e la superficie territoriale comunale (STC), secondo le modalità indicate nel provvedimento di cui all'articolo 50, comma 1, lett. c); tale limite può essere derogato previa autorizzazione della Giunta regionale, sentita la provincia interessata, per interventi di rilievo sovracomunale;
7. detta una specifica disciplina di regolamentazione, tutela e salvaguardia con riferimento ai contenuti del piano territoriale di coordinamento provinciale (PTCP) di cui all'articolo 22;
8. detta una specifica disciplina con riferimento ai centri storici, alle zone di tutela e alle fasce di rispetto e alle zone agricole in conformità a quanto previsto dagli articoli 40, 41 e 43;
9. assicura il rispetto delle dotazioni minime complessive dei servizi di cui all'articolo 31;
10. individua le infrastrutture e le attrezzature di maggiore rilevanza e detta i criteri per l'individuazione di ambiti preferenziali di localizzazione delle grandi strutture di vendita e di altre strutture alle stesse assimilate;
11. determina, per ambiti territoriali omogenei (ATO), i parametri teorici di dimensionamento, i limiti quantitativi e fisici per lo sviluppo degli insediamenti residenziali, industriali, commerciali, direzionali, turistico-ricettivi e i parametri per i cambi di destinazione d'uso, perseguendo l'integrazione delle funzioni compatibili;
12. definisce le linee preferenziali di sviluppo insediativo e le aree di riqualificazione e riconversione;
13. precisa le modalità di applicazione della perequazione e della compensazione di cui agli articoli 35 e 37;
14. detta i criteri per gli interventi di miglioramento, di ampliamento o per la dismissione delle attività produttive in zona impropria, nonché i criteri per l'applicazione della procedura dello sportello unico per le attività produttive, di cui al decreto del Presidente della Repubblica 20 ottobre 1998,

n. 447 "Regolamento recante norme di semplificazione dei procedimenti di autorizzazione per la realizzazione, l'ampliamento, la ristrutturazione e la riconversione di impianti produttivi, per l'esecuzione di opere interne ai fabbricati, nonché per la determinazione delle aree destinate agli insediamenti produttivi, a norma dell'articolo 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n. 59" e successive modificazioni, in relazione alle specificità territoriali del comune;

15. individua le aree di urbanizzazione consolidata in cui sono sempre possibili interventi di nuova costruzione o di ampliamento di edifici esistenti attuabili nel rispetto delle norme tecniche di cui al comma 3, lettera c);
16. individua i contesti territoriali destinati alla realizzazione di programmi complessi;
17. stabilisce i criteri per l'individuazione dei siti per la localizzazione di reti e servizi di comunicazione elettronica ad uso pubblico di cui al decreto legislativo 1 agosto 2003, n. 259 "Codice delle comunicazioni elettroniche" e successive modificazioni;
18. elabora la normativa di carattere strutturale in applicazione di leggi regionali di altri settori.

Il P.A.T. è formato da una relazione tecnica che espone gli esiti delle analisi e delle verifiche territoriali per la valutazione di sostenibilità ambientale e territoriale, dagli elaborati grafici che ne rappresentano le indicazioni progettuali e da norme tecniche con le prescrizioni e i vincoli.

P.A.T. Padova

Il P.A.T. a Padova è stato presentato diviso in sei carte tematiche, che ne indirizzano la funzione, così articolati:

- *la città che si muove*, che affronta il tema della mobilità pubblica su ferro e della mobilità su gomma;
- *la città che respira*, che individua le macrostrutture e le strategie dell'assetto ecologico-ambientale della città;
- *la città delle opportunità*, con particolare attenzione ai tre grandi ambiti della cultura, del sapere e dei grandi servizi urbani;
- *la città delle centralità*, che individua le centralità urbane e periurbane, in grado di configurare una nuova gerarchia di ruoli e di funzioni;

- *la città che cambia*, che individua i principali ambiti di trasformazione urbana e tende a definire nuove regole per le aree già destinate a perequazione;
- *la città Regione*, che esamina le connessioni di Padova con il suo hinterland metropolitano e con la conurbazione Padova-Venezia.

Ad ogni tema sono associate delle informazioni fornite dalla Regione, con integrazione di analisi ed indagini svolte dal Comune di Padova: conoscenza del territorio agricolo e quello urbanizzato, verifiche di domande insediative e all'andamento demografico, lo stato di attuazione del PRG vigente. La conoscenza della rete idrografica è effettuata con le informazioni fornite dai gestori del sistema idrico, il Genio Civile, i Consorzi di Bonifica e l'Acegas-APS, che hanno fornito una cartografia generale del sistema scolante.

Varianti ed attuazione del P.R.G.

La Variante riguarda esclusivamente la trasposizione cartografica delle previsioni del Piano Regolatore Generale su una nuova base aggiornata ed informatizzata, non prevede nuove zone edificabili ma solo aggiustamenti delle aree precedentemente previste.

Sono previsti quindi alcuni accordi e PIRU⁵, quali il già citato PRUSST⁶ "Arco di Giano", i PIRU di Mandria, "Domus Laetitia", Via Cavallotti, via Gattamelata, dell'area di S.Carlo.

PRUSST "Arco di Giano"

Nel programma di attuazione del PRG è inserito il PRUSST denominato "Arco di Giano". E' un programma complesso, riguardante diverse aree della città in un ottica di crescita e sviluppo sostenibile. E' stato approvato con Accordo Quadro sottoscritto tra Ministero dell'Infrastrutture, Regione Veneto e Comune di Padova il 22 Aprile 2002.

La sua attuazione riguarda i quadranti Ovest, Stazione-Eremitani ed Est, come visualizzato in Figura 1.12

Il PRUSST Arco di Giano (Programma di Riqualficazione Urbana e Sviluppo Sostenibile del Territorio) raccoglie gli interventi del nuovo asse che corre per 5 chilometri tra il nodo di corso Australia a ovest e il raccordo con la nuova SS 308 a est. Esso comprende 21 interventi, 14 pubblici e 7 privati, e si sviluppa rispetto a un duplice fronte: quello verso il centro storico a sud e quello verso i quartieri residenziali dell'Arcella a nord, sostituendo all'attuale cesura un asse di distribuzione del traffico.

⁵Piano Integrato Recupero Urbano

⁶Programmi di Riqualficazione Urbana e di Sviluppo Sostenibile

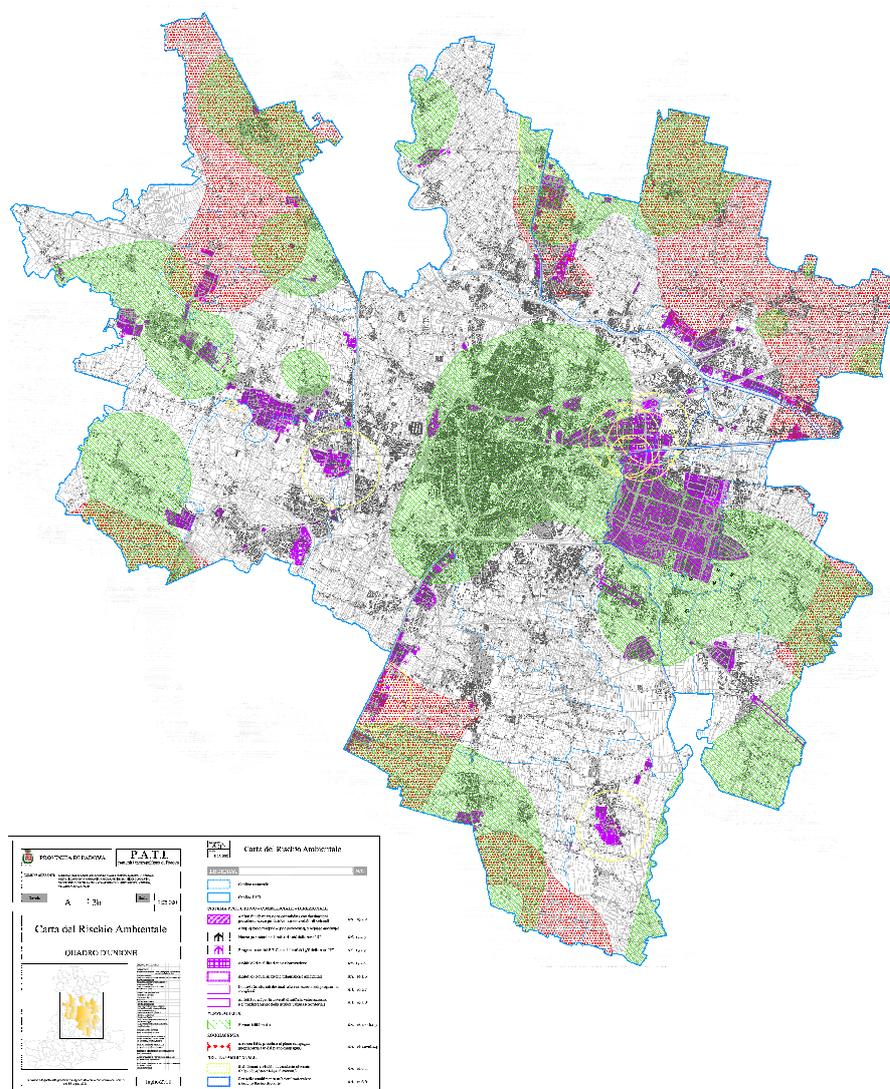


Figura 1.8: Carta del rischio Ambientale nel comune di Padova - Quadro d'insieme

L'intento del pianificatore non è quello di creare un nuovo taglio stradale nella città, ma rafforzare il collegamento Nord-Sud dando continuità e sostegno alle principali sedi funzionali della città: quelle amministrative della Provincia e

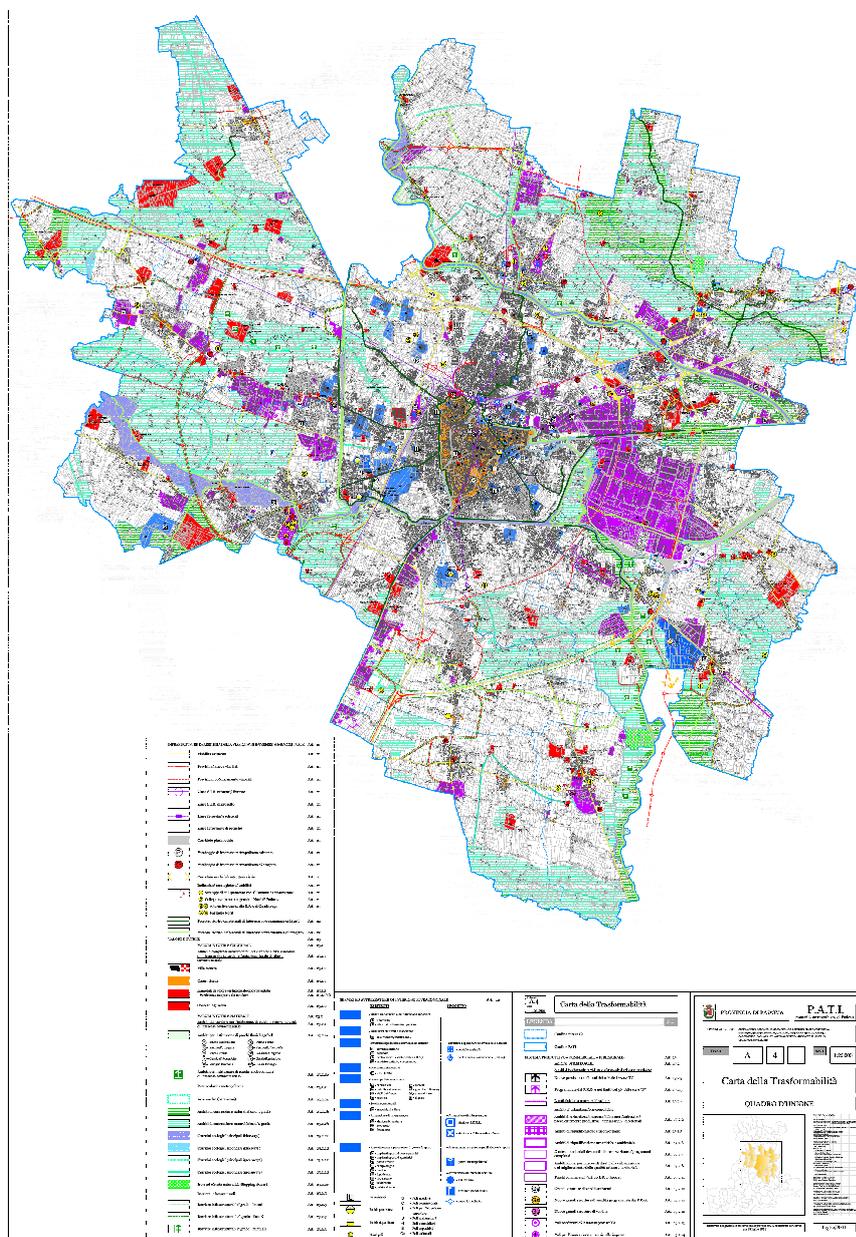


Figura 1.9: Carta delle trasformabilità nel comune di Padova- Quadro d'insieme

del Tribunale, il Polo Universitario, il Polo Culturale (Musei, Auditorium), il Polo Espositivo e dei convegni, comprese nuove funzioni abitative e direzionali. Questa direttrice presenta un andamento curvilineo con rotatorie, spazi di verde urbano, sovrappassi in grado di sostenere il sistema di viabilità di accesso

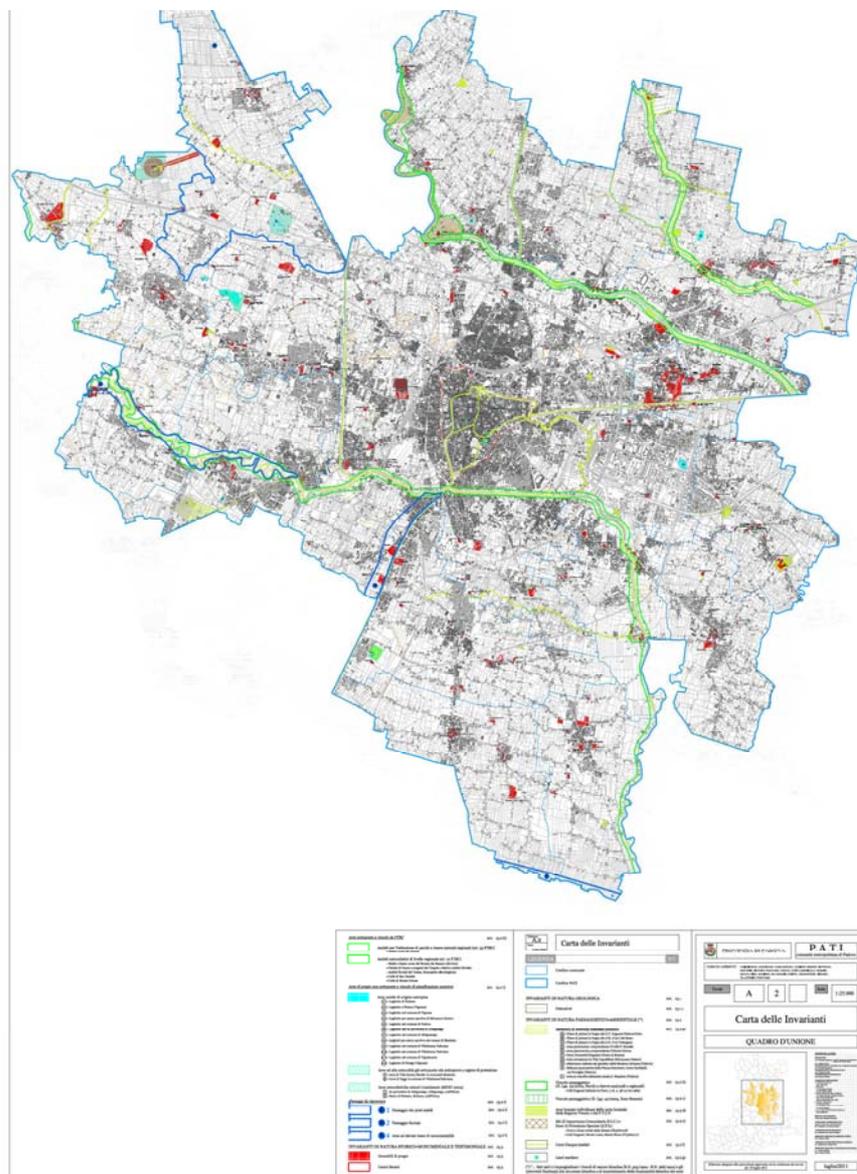


Figura 1.10: Carta delle invarianti nel comune di Padova- Quadro d'insieme

ai principali nodi di scambio con il sistema metropolitano ferroviario regionale e di rivalutare quelle aree dismesse o sotto utilizzate attestate sull'asse ferroviario. Essa contribuisce inoltre alla rigenerazione del quartiere residenziale dell'Arcella lungamente penalizzato dalla barriera ferroviaria. La creazione di questo collegamento viario è significativo, ai fini della presente tesi, perchè porta a quello che sarà, negli anni a venire, nel completamento della sua funzione

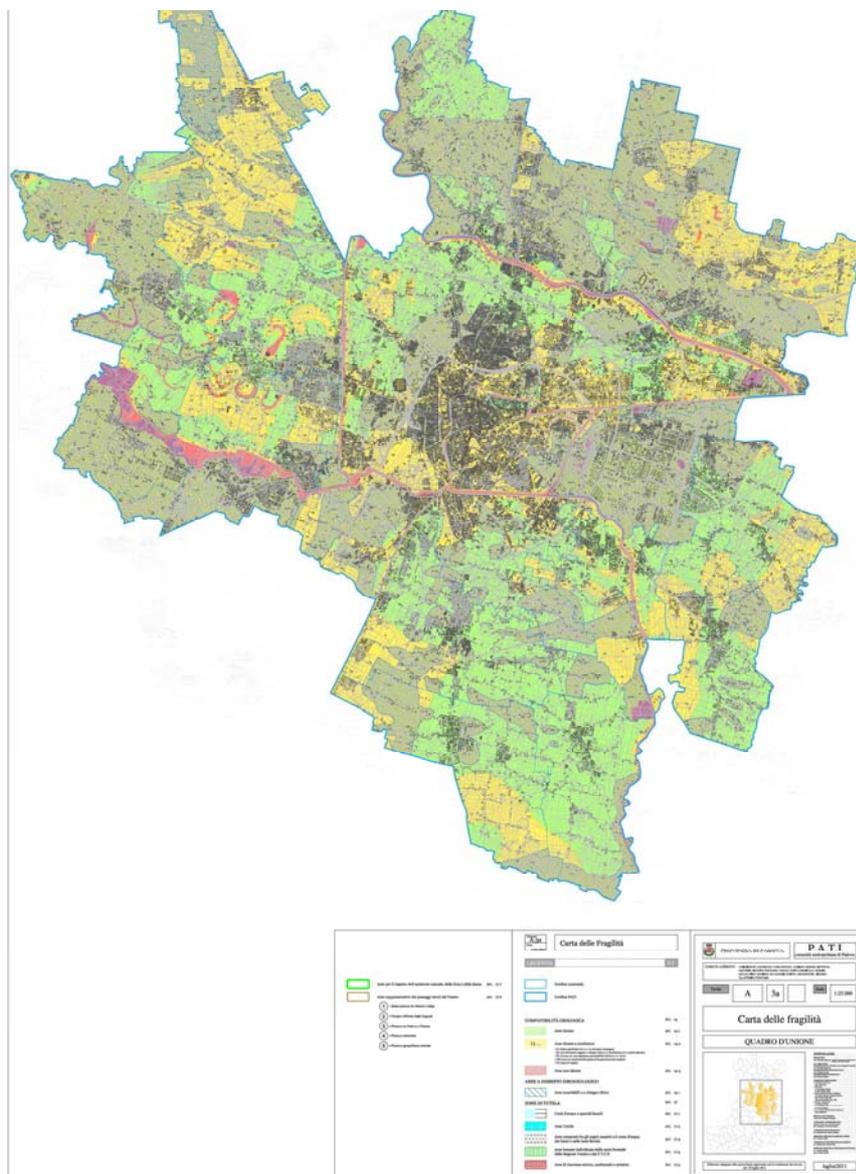


Figura 1.11: Carta delle fragilità nel comune di Padova- Quadro d'insieme

laddove sorgerà il nuovo polo Ospedaliero.

1.4 I Quartieri

Il territorio del Comune di Padova è suddiviso in 6 Quartieri come si può vedere in Figura 1.13.

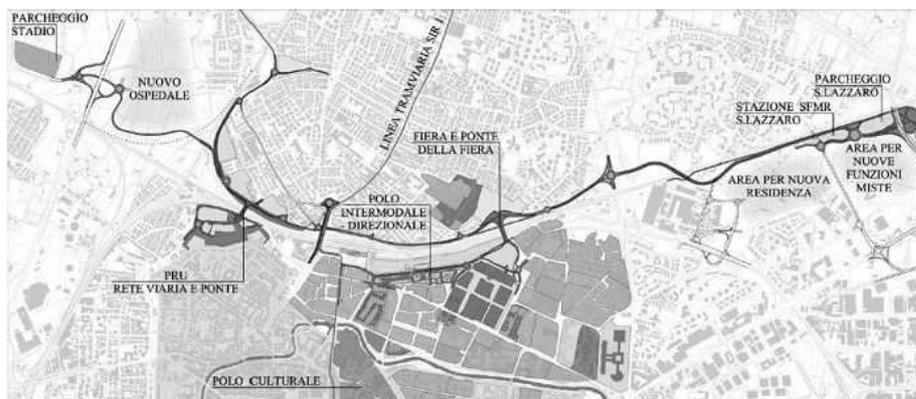


Figura 1.12: PRUSST: "Arco di Giano"

- **Quartiere 1:** Centro, comprende le unità urbane di Piazze, Portello, Savonarola, Santo, Prato della Valle e Stazione;
- **Quartiere 2:** Nord, comprende Arcella, PonteVigodarzere e San Bellino e San Carlo;
- **Quartiere 3:** Est, comprende Fiera, Stanga, Forcellini, Mortise, Torre, San Lazzaro, Ponte di Brenta, Zona Industriale, Terranegra, Camin e Granze;
- **Quartiere 4:** Sud-Est, comprende Città Giardino, Madonna Pellegrina, Sant'Osvaldo, Voltabarozzo, SS.Crocefisso, Salboro e Guizza;
- **Quartiere 5:** Sud-Ovest, comprende le unità urbane di Sacra Famiglia, San Giuseppe, Porta Trento e Mandria;
- **Quartiere 6:** Ovest, che comprende Cave, Brentelle, Sant'Ignazio, Montà, Ponterotto, Sacro Cuore ed Altichiero.

Capitolo 2

Assetto idraulico

2.1 La rete idrografica

Nel territorio comunale di Padova è presente una rete idrografica complessa dove sono riconoscibili due fiumi principali: il Brenta, che lambisce il territorio comunale a nord ed il Bacchiglione, che entra nel territorio a sud/ovest per uscirne a sud/est. Entrambi con direzione verso est, fluendo verso il mare Adriatico.

I due fiumi sono collegati, ad ovest dal canale Brentella, che funziona da collettore di scarico da nord verso sud. Quasi tutto il comune di Padova ricade all'interno del compensorio del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta, il quale ha competenza per quanto riguarda il deflusso delle acque interne.

Per deflusso delle acque interne si intende la funzione svolta dalla rete di bonifica (canali, condotte ed impianti idrovori), di raccolta, di convogliamento e di scarico nei fiumi, delle acque piovane e di altra natura che interessano il territorio. L'intera idrografia del nodo idraulico di Padova è racchiusa nel perimetro fluviale sopra descritto, influenzato quindi dalle condizioni dei fiumi Brenta e Bacchiglione.

La distribuzione dei canali che passano per il centro storico ha origine dal manufatto del ponte dei Cavai, considerata vera e propria porta idraulica della città. Di tali canali il principale è il Tronco Comune, che deriva da nord le acque del Bacchiglione, prosegue fino a ponte Saracinesca e da qui, con il nome di Tronco Maestro, fino in prossimità del Corso del Popolo dove ha inizio il canale Piovego.

Lungo questo percorso si staccano, tutte in destra idrografica, le diramazioni dei canali che attraversano il centro storico: 200 metri a nord del Ponte dei Cavai si dirama il canale Alicorno; all'altezza di piazza Delia, a breve distanza tra di loro, il rio delle Acquette e più a valle il Naviglio Interno, antica via

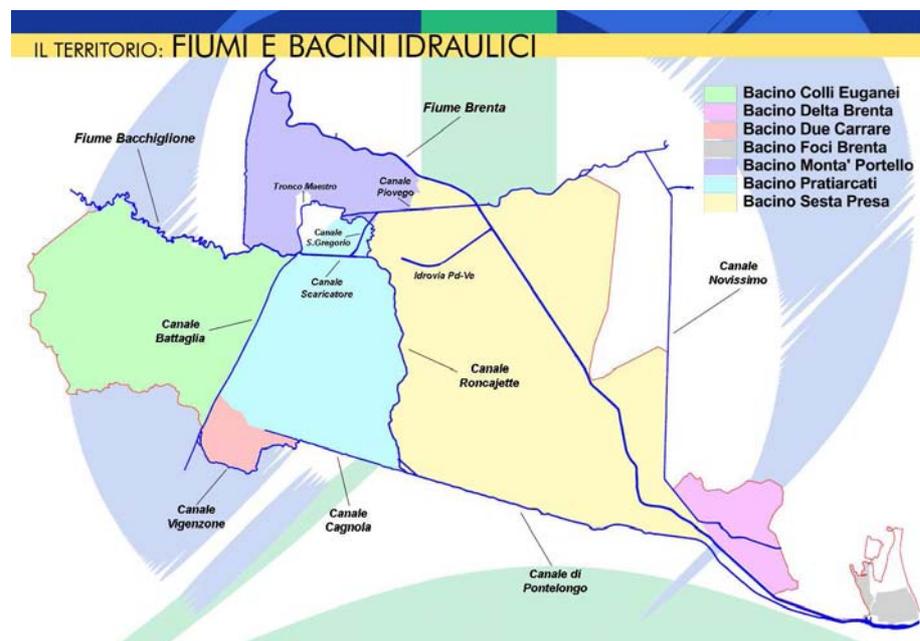


Figura 2.1: La rete idrografica a cura del Consorzio Bacchiglione

fluviale, ricavata sulla controansa del vecchio medoacus, sostituito poi dal Bacchiglione, percorribile un tempo fino alle Contarine e quindi al Piovego.

Il Naviglio Interno è interrato sotto riviera Tito Livio, Riviera dei Ponti Romani e Largo Europa, mantenendo a cielo aperto solo il tratto iniziale Torricelle, da cui si origina, verso sud, il canale Businello - S.Chiera: questo piega verso est con un'ampia ansa lungo la quale riceve in destra il canale Acquette, anch'esso oggi tombinato.

Il canale Alicorno, attraversato Prato della Valle e l'Orto Botanico con un percorso in gran parte tombinato, immette in zona Pontecorvo nel canale S.Chiera che prosegue verso est con il nome di canale S.Massimo. Questo, attraversata la zona ospedaliera, poco dopo il sostegno omonimo (che lo separa dal canale Piovego), diventa canale Roncasette. Quest'ultimo dopo aver sottopassato il canale S.Gregorio, sfocia nel Bacchiglione, all'altezza di Ca'Nordio.

Ad ovest del Tronco Maestro, esternamente alla cinta muraria, scorre verso nord Fossa Bastioni, con l'immissione all'inizio del Piovego; all'occorrenza, generalmente durante la piena, lo scarico può avvenire anche verso sud, mediante apposito impianto a Ponte Saracinesca.

Infine il Piovego, diretto a sud/est, dopo aver lambito in zona Ognissanti il canale S.Massimo, prosegue lungo il tratto rettilineo verso est, ricevendo in destra idraulica il canale S.Gregorio e ricongiungendosi con il fiume Brenta a Stra.

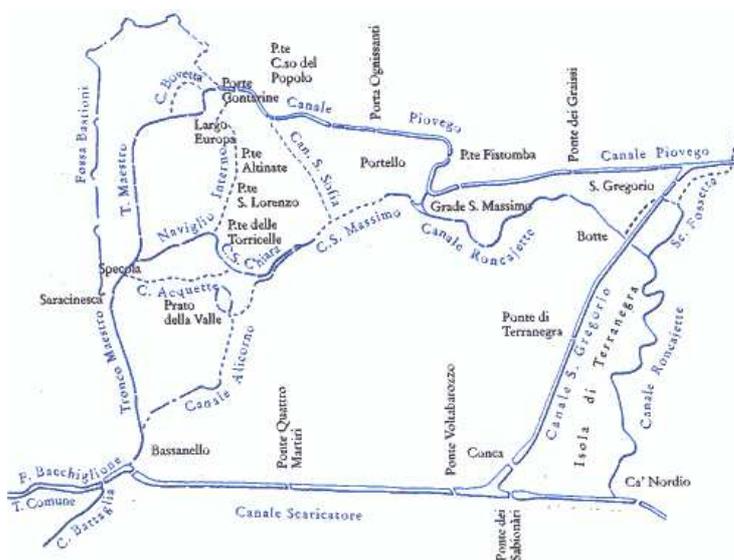


Figura 2.2: La rete idrografica interna alle mura di Padova

La rete idrografica, oltre al sistema di canalizzazioni del centro storico, conta una serie di scoli di bonifica, piuttosto fitta, defluente a grandi linee in direzione sud/est secondo la pendenza del terreno: oltre che per la fusione di bonifica gli scoli sono concepiti anche per l'adduzione irrigua, come dimostrano le varie opere di presa distribuite lungo i corsi principali.

Nell'area ovest di Padova gli scoli Brusegana, Pioveghetto, Montà ed altri collegamenti recapitano a Fossa Bastioni. A nord gli scoli Limenella, Due Palazzi, Basse, Mortise, Ponte di Brenta, fanno capo allo scolo Fossetta che, aggirata la città in direzione ovest/est, si immette nel canale Roncasette dopo aver sottopassato il canale Piovego. Nell'area sudorientale, a monte del canale Scaricatore, gli scoli Bassanello, Crescini, Canestrini, Modena e Terranegra drenano attraverso la botte a sifone di Voltabarozzo tutta l'area altrimenti interclusa dall'arginatura dei canali Scaricatore e S. Gregorio.

La zona industriale e le aree a sud dello scaricatore utilizzano pure scoli di bonifica, eventualmente tombinati, oppure invasi particolari, come la costruenda idrovia di Padova-Venezia, comunque senza interferire in maniera significativa con il sistema idrografico in esame.

Come già precisato, molti di questi scoli sono stati trasformati, durante la progressiva urbanizzazione, in collettori fognari. L'uso improprio delle canalizzazioni, frutto di un spontaneo adattamento più che di un programma, ha determinato col tempo fenomeni di inquinamento e ha evidenziato, a posteriori tutti i limiti di un impianto cresciuto per segmenti scollegati per dimensionamento e tipologie costruttive.

Per questo motivo si è reso necessario un progressivo adattamento ed ade-

guamento dei dispositivi, degli scolmatori, depuratori ed altri manufatti ormai non più sufficienti per svolgere adeguatamente la loro funzione.

Alla rete idrografica esistente si è affiancata quindi una rete fognaria già condizionata dallo stato di fatto risalente al primo progetto (del 1976) per le aree esterne del centro storico. E' importante notare come, in alcuni casi, il grado di urbanizzazione è risultato già così avanzato da impedire la correzione dei collettori ormai sottodimensionati per le nuove esigenze di scolo.

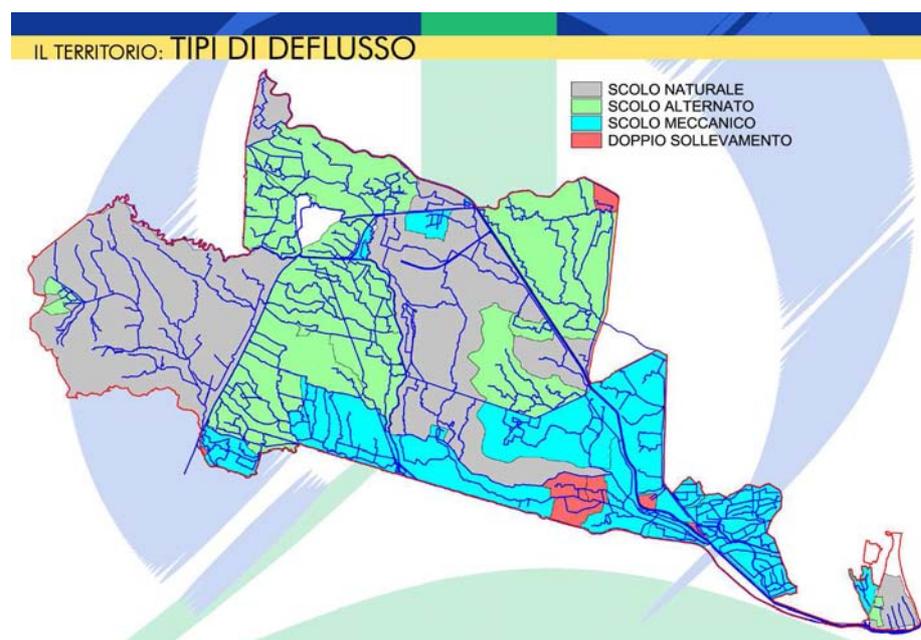


Figura 2.3: Tipi di deflusso nella rete del Consorzio di Bonifica

2.2 I bacini idraulici

I fiumi dividono il territorio in separati bacini idraulici, ed il Comune di Padova ricade in quattro di questi:

- Bacino Colli Euganei;
- Bacino Patriarcato;
- Bacino Sesta Presa
- Bacino Montà Portello

Bacino Colli Euganei

Il bacino si estende per un'area complessiva di 11.804 *ha* di cui aree urbanizzate 2.331 *ha* (20%) ed aree collinari 2.658 *ha*. I Comuni del bacino Colli Euganei sono: Abano Terme, Montegrotto Terme, Battaglia Terme, Selvazzano Dentro, Teolo, Torreglia, Saccolongo, Veggiano, Cervarese S. Croce e Rovolon.

Il recapito delle acque avviene al canale di Sottobattaglia.

Il bacino Colli Euganei è delimitato a nord dall'argine destro del fiume Bacchiglione, ad est dall'argine destro del Canale di Battaglia e a sud-ovest dalle pendici dei Colli Euganei.

Tutte le acque di origine meteorica ricadenti nel bacino in esame, sono convogliate all'esterno dello stesso attraverso la Botte del Pigozzo ubicata nel punto più depresso del bacino, all'estremità sud-est.

I principali collettori di questo bacino sono, in ordine d'importanza, i seguenti: scolo Rialto (collettore principale), Menona, Rio Spinoso, Rio Caldo, Rialtello, Spinoretta, Fossa Lunga, Comuna, Calcina. Oltre a questi numerosi rii montani scendono dalle pendici dei Colli Euganei.

A seguito del completamento della nuova Botte del Pigozzo, finanziato con i fondi della Legge 18 maggio 1989 n.183 sulla difesa del suolo, è stato realizzato un primo sostanziale miglioramento dell'assetto idraulico del bacino. La nuova botte del Pigozzo è in grado di smaltire le massime portate di piena convogliate dal collettore Rialto con un rigurgito minimo.

Alcuni territori tuttavia, ricadenti in particolare nei Comuni di Abano Terme, Montegrotto Terme, Torreglia e Teolo, hanno quota altimetrica insufficiente a garantire il deflusso delle acque e ad impedire sommersioni in concomitanza con elevati livelli idrometrici del Canale di Sottobattaglia, appartenente al sistema idrografico Brenta - Bacchiglione. La sistemazione idraulica complessiva contenuta nel Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale (P.G.B.T.T.R.) predisposto dal Consorzio, prevede, pertanto, il sollevamento meccanico delle acque quando si presentino condizioni critiche. Per evitare il pompaggio delle acque dell'intero bacino si prevede di suddividere lo stesso in un sottobacino acque basse, da prosciugare meccanicamente, ed un sottobacino acque alte, con altimetria dei terreni superiore, le cui portate possono defluire per cadente naturale. La suddivisione tra acque basse ed acque alte può essere ottenuta mediante la realizzazione di un canale di gronda che intercetti le acque provenienti dai collettori dei territori con giacitura più elevata. Le canalizzazioni necessarie per separare i sottobacini acque alte ed acque basse comportano un miglioramento generale dell'assetto idraulico anche senza la realizzazione di impianti di sollevamento. Infatti esse, oltre ad aumentare l'invaso della rete, consentono un alleggerimento delle portate che attraversano attualmente le zone a giacitura più depressa e lo scarico dei deflussi di tali zone a livelli idrometrici inferiori.

Il bacino è prevalentemente a deflusso naturale; in esso è compresa unicamente l'idrovora Treponti, della portata di $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$ e che sottende una superficie di 245 ha .

Il bacino Patriarcato

Il bacino si estende per un'area totale per 10.024 ha di cui aree urbanizzate per 2.248 ha (22%) I Comuni del bacino sono: Padova, Ponte S. Nicolò, Albignasego, Maserà, Casalserugo, Due Carrare, Cartura e Bovolenta. Il recapito delle acque avviene presso il fiume Roncayette-Bacchiglione e canale di Cagnola.

Il bacino Pratiarcato comprende i seguenti sottobacini idraulici elementari:

- Bacino Bolzani (idrovora Madonnetta) (1.520 ha);
- Bacino Delle Valli (idrovora Pratiarcato di Bovolenta sezione acque basse) (2.136 ha);
- Bacino del Maestro (idrovora del Maestro) (3.320 ha);
- Bacino del Mediano (idrovora Pratiarcato di Bovolenta sezione acque alte) (1.596 ha);
- Bacino di Casalserugo (idrovora Pratiarcato di Bovolenta sezione acque alte) (1.352 ha);
- Bacino Cà Nordio (100 ha).

BACINO BOLZANI In tale bacino le acque fluiscono a cadente naturale finché i livelli del canale di Cagnola lo consentono. Successivamente entra in funzione l'idrovora Madonnetta che precedentemente era in grado di sollevare una portata di circa 5.000 l/s . Recentemente l'idrovora è stata potenziata fino alla portata sollevabile complessiva di 7.000 l/s .

BACINO DELLE VALLI Le acque del bacino vengono smaltite, unicamente a seguito di sollevamento permanentemente meccanico, dalla sezione acque basse dell'idrovora Bovolenta (portata massima 6.000 l/s) con scarico nel Roncayette.

BACINO DEL MAESTRO Il bacino elementare che interessa il Comune di Padova (a parte il bacino Cà Nordio di modesta estensione compreso tra i fiumi Roncayette Superiore, Roncayette e S.Gregorio) è quello del Maestro. In esso ricadono le aree di Padova a sud del centro storico ed in particolare le zone Forcellini, Bassanello, Voltabarozzo, Salboro e Pozzoveggiani. Il bacino scarica naturalmente in Roncayette finché i livelli idrometrici lo consentono. La chiavica di scarico a gravità è dotata di porte a vento consentendo la chiusura dello scarico naturale e lo sfioro delle acque nello scolo Inferiore di Casalserugo aggravando, peraltro, la situazione idraulica del bacino di Casalserugo. Per

ovviare a tale situazione è stata costruita la nuova idrovora del Maestro, in parallelo alla chiavica, con scarico nel Roncajette. L'idrovora, recentemente completata è in grado di sollevare una portata pari a 14.000 l/s consentendo di non aggravare le condizioni dei bacini a valle.

BACINO DEL MEDIANO Tale bacino smaltisce le proprie acque a gravità, attraverso l'omonima chiavica, finché i livelli del Roncajette lo consentono. Quando le porte vinciane si chiudono, le acque vengono trattenute ed in parte sfiorate nello scolo Superiore di Casalserugo del bacino di Casalserugo per essere sollevate all'idrovora di Bovolenta sezione acque alte.

BACINO DI CASALSERUGO Le acque alte del bacino di cui si tratta vengono scaricate nel Canale di Cagnola, finché i livelli idrometrici lo consentono, tramite i chiaviconi di Bovolenta. Per livelli superiori entra in funzione il sollevamento tramite l'idrovora di Bovolenta sezione acque alte (portata 9.000 l/s). Le condizioni più gravose per il bacino si verificano in concomitanza agli sfiori dei bacini del Maestro e del Mediano.

Bacino Sesta Presa

Il Bacino Sesta Presa ha un'estensione complessiva pari a 26.155 ha di cui aree urbanizzate : 4.836 ha(19%) Vi appartengono i Comuni di Padova, Vigonza, Noventa Padovana, Ponte S. Nicolò, Legnaro, Saonara, S. Angelo di Piove, Piove di Sacco, Polverara, Brugine, Bovolenta, Arzergrande, Correzzola, Codévigo, Vigonovo, Strà, Dolo, Fossò, Camponogara, Campolongo Maggiore e Campagna Lupia. Il recapito delle acque avviene nella laguna di Venezia, nel canale Piovego e nel fiume Brenta.

Il bacino Sesta Presa comprende i seguenti bacini e sottobacini idraulici elementari, per una lunghezza complessiva dei canali appartenenti al bacino per 352 Km:

- Bacino Valli di Camin, di 292 ha;
- Bacino in destra Brenta, di 7.858 ha;
- Bacino in sinistra Brenta, di 4.880 ha;
- Bacino di Cambroso, di 4380 ha;
- Bacino del Canale di Scarico, di 6.430 ha;
- Bacino Isola di Bovolenta, di 25 ha;
- Bacino Settima Presa Inferiore, di 2.350 ha.

Bacino Montà Portello

Il Bacino Montà Portello si estende per una superficie complessiva di 5.229 *ha* di cui aree urbanizzate pari a 2.851 *ha* (55%) Vi appartengono i Comuni di Padova, Limena e Noventa Padovana. Il recapito delle acque avviene presso il Tronco Maestro, il Piovego e il canale di Roncajette.

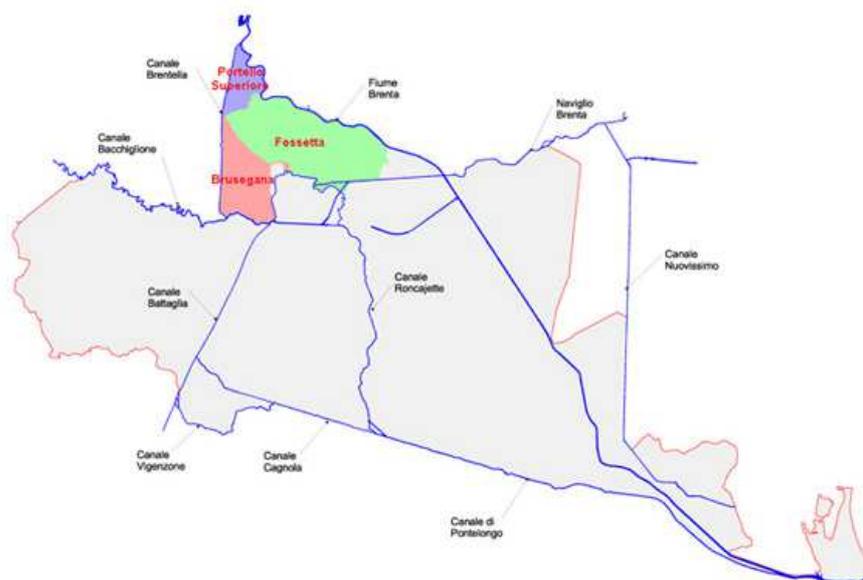


Figura 2.4: Il bacino Montà Portello nel compensorio

Il bacino Montà Portello, della superficie complessiva di 5.229 *ha*, comprende i seguenti bacini idraulici elementari:

- bacino Montà Portello Superiore (o di Limena) (568 *ha*);
- bacino Fossetta (3.221 *ha*);
- bacino Montà Brusegana (1.440 *ha*).

BACINO MONTA' PORTELLO SUPERIORE (o di Limena)

Interessa il Comune di Padova per un'estensione molto ridotta. Le acque del bacino fluiscono naturalmente nel fiume Brenta tramite la chiavica Zaguri ed in parte in Brentella tramite la chiavica Ponterotto; infatti l'altimetria dei terreni consente al territorio un deflusso soddisfacente. Nel caso di elevati livelli idrometrici nei corpi idrici ricettori, lo scarico verso l'esterno non è possibile e le acque vengono trattenute. Esiste la possibilità di sfioro, raramente utilizzata, nello scolo Limenella del bacino Fossetta.

BACINO FOSSETTA

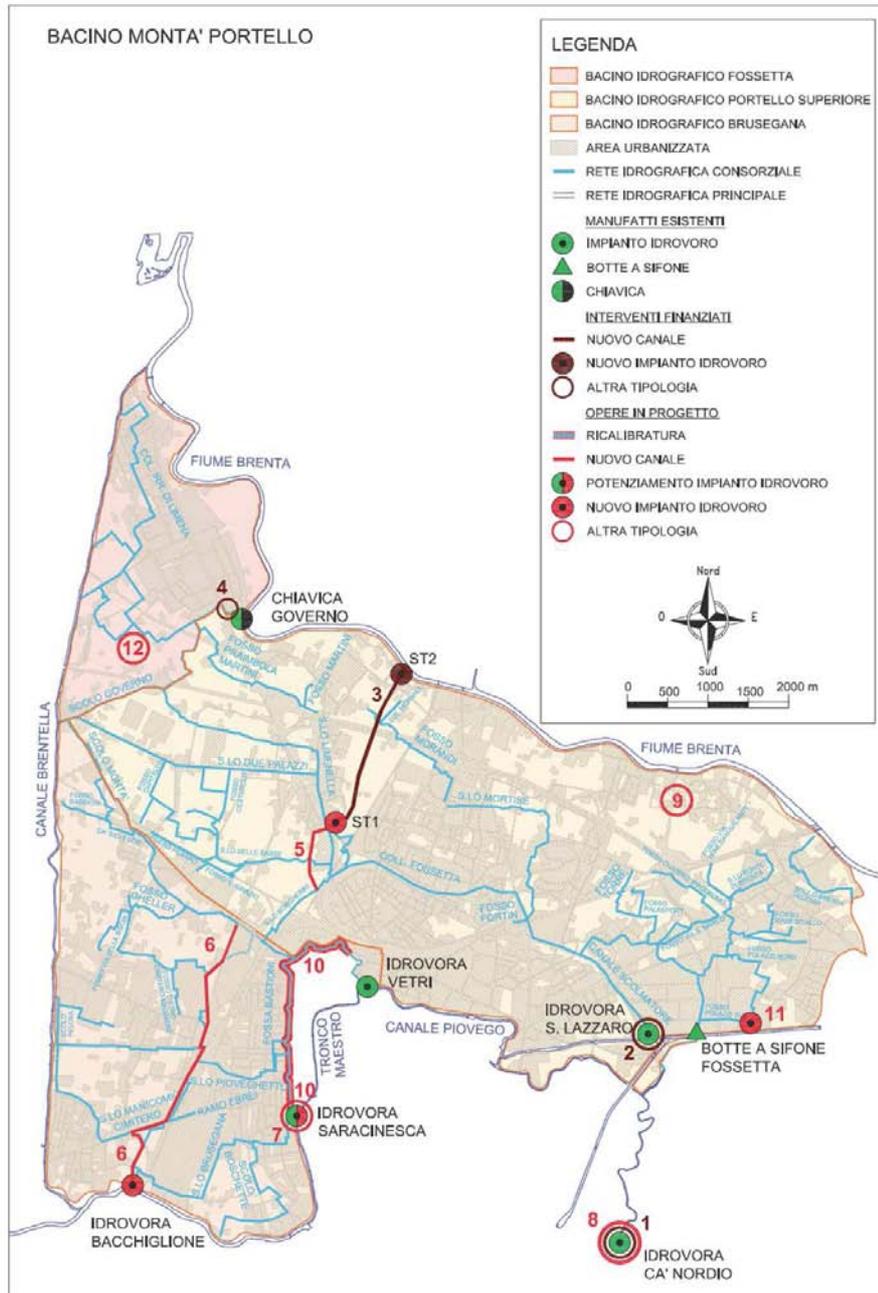


Figura 2.5: Maggiori opere nel bacino

Il bacino Fossetta scola le proprie acque in parte a cadente naturale, in parte a seguito di sollevamento meccanico. Lo scarico delle acque del collettore Fossetta avviene in Roncajette alla chiavica S. Gregorio a valle della botte a

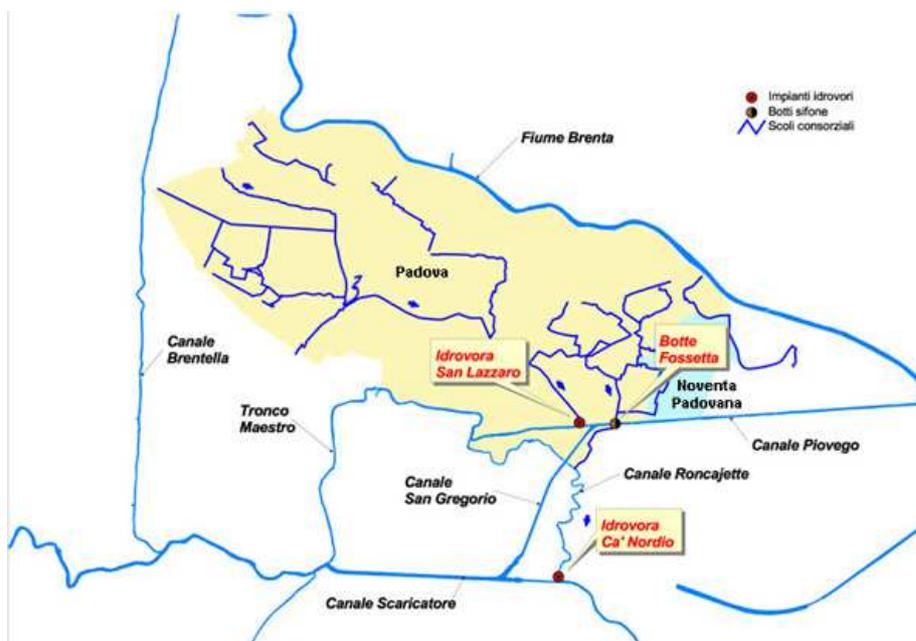


Figura 2.6: Impianti nel bacino scolante in quartiere Arcella

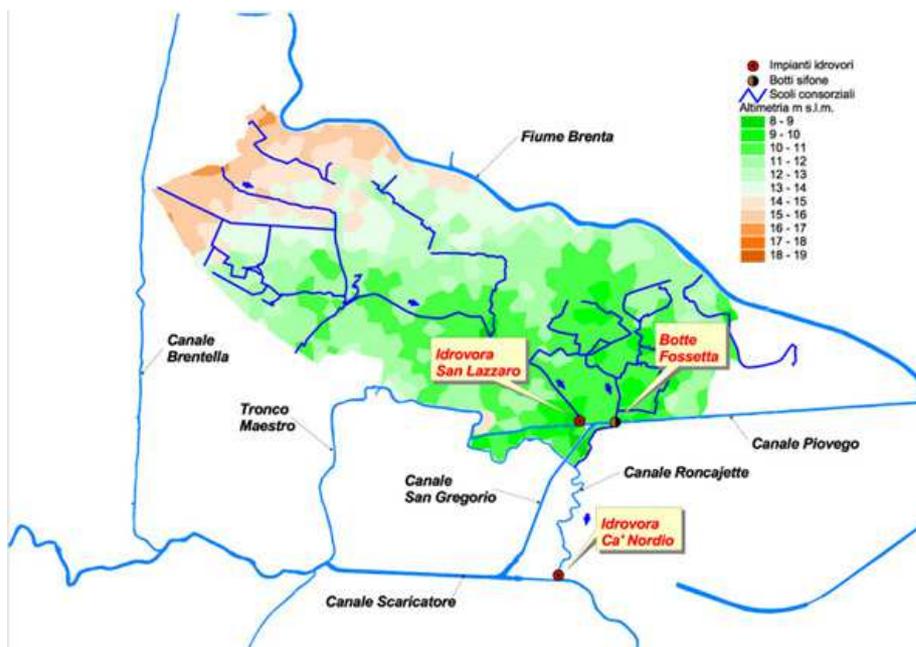


Figura 2.7: Altimetria nel bacino scolante in quartiere Arcella

sifone S. Lazzaro sottopassante il Piovego. Il deflusso naturale è condizionato dai livelli idrometrici del fiume Rocajette - Bacchiglione. Lo scolo di parte delle

acque del bacino può avvenire anche a seguito del sollevamento all'idrovora S. Lazzaro alimentata dalle acque provenienti dallo scolmatore del collettore Fossetta. A seguito degli interventi recentemente ultimati, l'impianto idrovoro è stato potenziato ed è ora in grado di sollevare una portata complessiva di $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Anche a seguito del potenziamento dell'idrovora S. Lazzaro gran parte della portata deve essere comunque smaltita a cadente naturale, mentre i livelli idrometrici del Roncajette non sempre lo consentono. Il collettore Fossetta si trova a dover garantire il deflusso di notevoli portate d'acqua fin dal tratto iniziale. Tali portate determinano la difficoltà di sgrondo delle acque dei quartieri nord di Padova anche in considerazione degli interrimenti dovuti al regime del collettore stesso. Il Fossetta risulta infatti soggetto a portate estremamente variabili; in condizioni di magra la velocità della corrente è molto modesta con conseguenti notevoli sedimentazioni.



Figura 2.8: Principali opere nel bacino Fossetta

BACINO MONTA' BRUSEGANA

Il bacino Montà Brusegana scola le proprie acque in parte a cadente naturale ed in parte a seguito di sollevamento meccanico. Tutte le acque del bacino pervengono al collettore Fossa Bastioni dal quale sono estromesse, con recapito nel Tronco Maestro Piovego, in parte dall'idrovora Saracinesca, in parte tramite la chiavica Vetri sottostante all'idrovora omonima per lungo periodo non più in funzione. L'idrovora Saracinesca è attualmente in grado di sollevare una portata pari a 3.000 l/s circa. Lo scarico tramite la chiavica Vetri è condizionato a livelli idrometrici delle acque interne di Padova. Nel 1996 sono stati ultimati

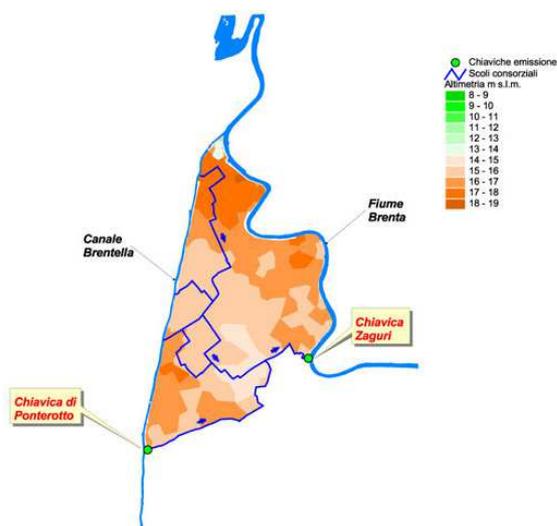


Figura 2.9: Altimetria nel bacino Fossetta

i lavori di rifacimento delle apparecchiature elettromeccaniche dell'impianto, in grado di sollevare una portata di circa 5.000 l/s.

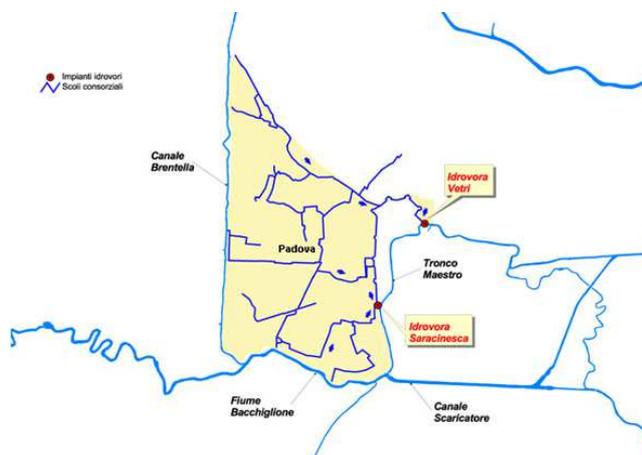


Figura 2.10: Principali opere nel bacino Montà

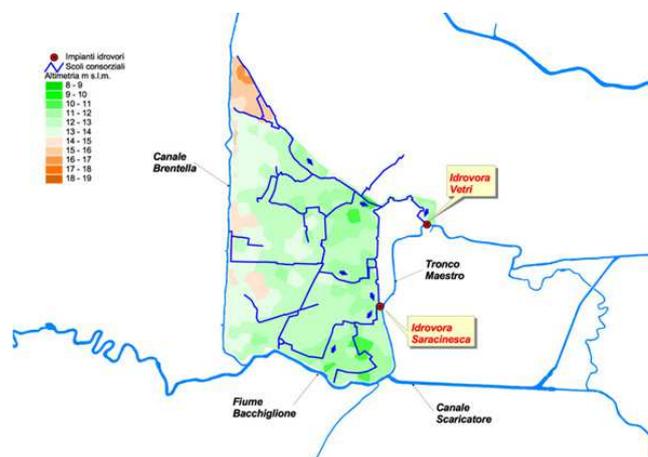


Figura 2.11: Altimetria nel bacino Montà

2.3 Il consorzio di bonifica Bacchiglione

“La bonifica è un’attività pubblica che ha per fine la conservazione e la difesa del suolo, l’utilizzazione e la tutela delle risorse idriche ed ambientali. I Consorzi di Bonifica sono una delle istituzioni principali per la realizzazione degli scopi di difesa del suolo, di risanamento delle acque, di fruizione e gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale e di tutela degli assetti ambientali ad essi connessi.”¹.

Il consorzio Bacchiglione

Il Consorzio di bonifica è un ente pubblico economico, istituito dalla Regione Veneto (art 3. legge regionale n.12/2009) e amministrato direttamente dai propri consorziati - cioè da tutti i proprietari di immobili (terreni e fabbricati) ricadenti nel territorio di competenza - con compiti di progettazione e gestione di interventi pubblici per la salvaguardia del territorio e dell’ambiente. La delibera di fatto riprende l’area già amministrata dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta che univa i compensori di sette Consorzi di Bonifica già esistenti per una superficie totale di 58.247 ettari:

Consorzio di Bonifica Colli Euganei 11.804 ettari

Consorzio di Bonifica Delta del Brenta 2.363 ettari

Consorzio di Bonifica Due Carrare 1.204 ettari

Consorzio di Bonifica Monta’ Portello 5.269 ettari

Consorzio di Bonifica Patriarcati 10.024 ettari

Consorzio di Bonifica Sesta Presa 26.115 ettari

Parte del Consorzio di Bonifica tra Adige e Bacchiglione 1.049 ettari

Il consorzio di Bonifica fonda il proprio operato su rigida programmazione come previsto dal R.D. n.215/1933 prevedendo la Bonifica tutt’altro che intervento straordinario, ma anzi come opera continua in un territorio fortemente antropizzato. Proprio per questo motivo l’opera del Consorzio e’ in armonia con gli strumenti di pianificazione.

E’ in quest’ottica che la legge 3/1976 ha stabilito la nuova dizione “Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale” delineandone i contenuti fondamentali e i punti di raccordo con gli altri strumenti di programmazione.

Il piano adottato dal Consorzio di Bonifica nel 1992 contiene poi gli elementi utili per le scelte progettuali da compiere per un uso discreto delle risorse

¹Corte Costituzionale no 66/1992

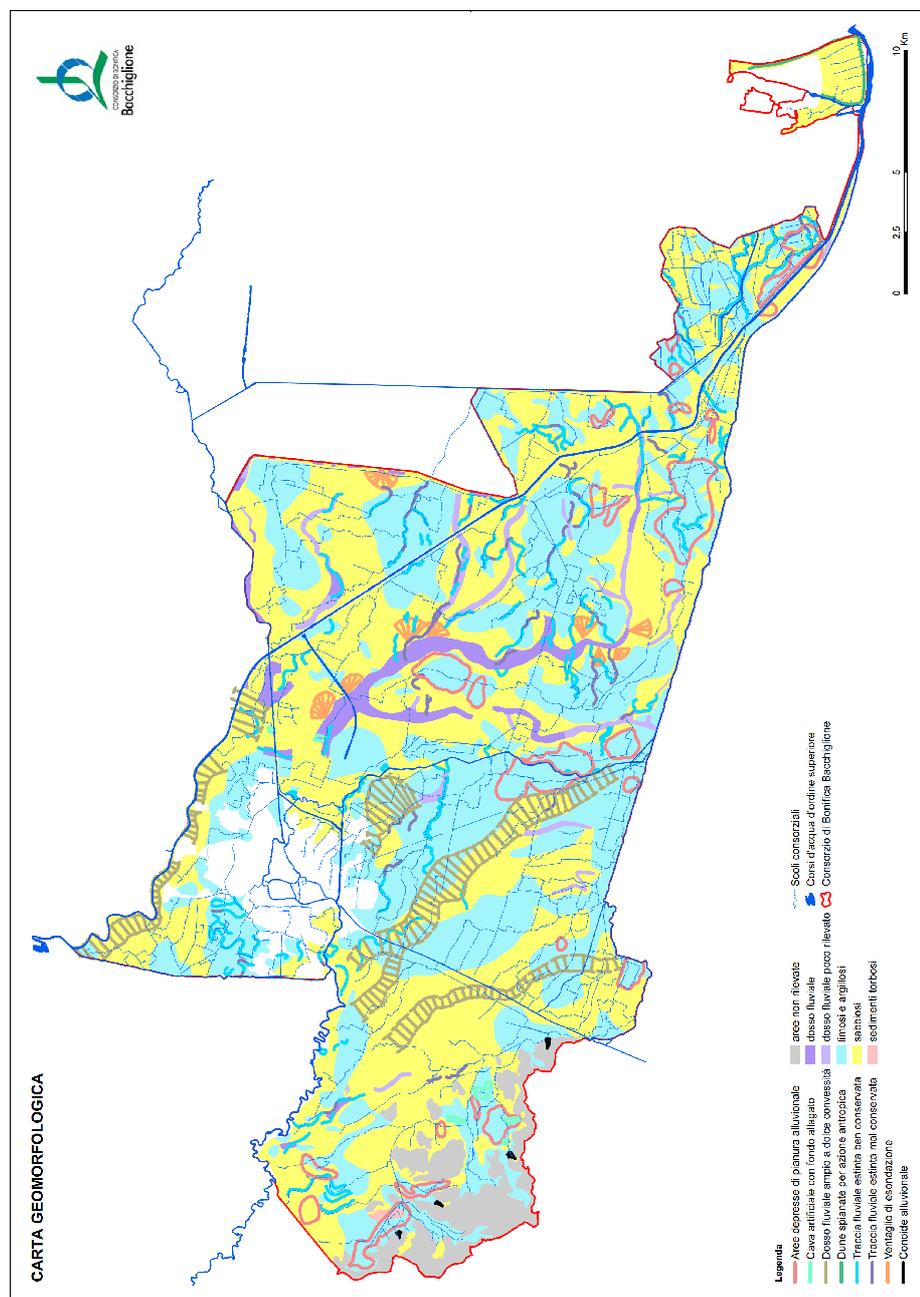


Figura 2.12: Geomorfologia del territorio ricadente nel Consorzio di bonifica

naturali irripetibili che sono il terreno fertile agricolo, l'acqua e la forestazione. In esso vengono trattati:

- l'esame del territorio

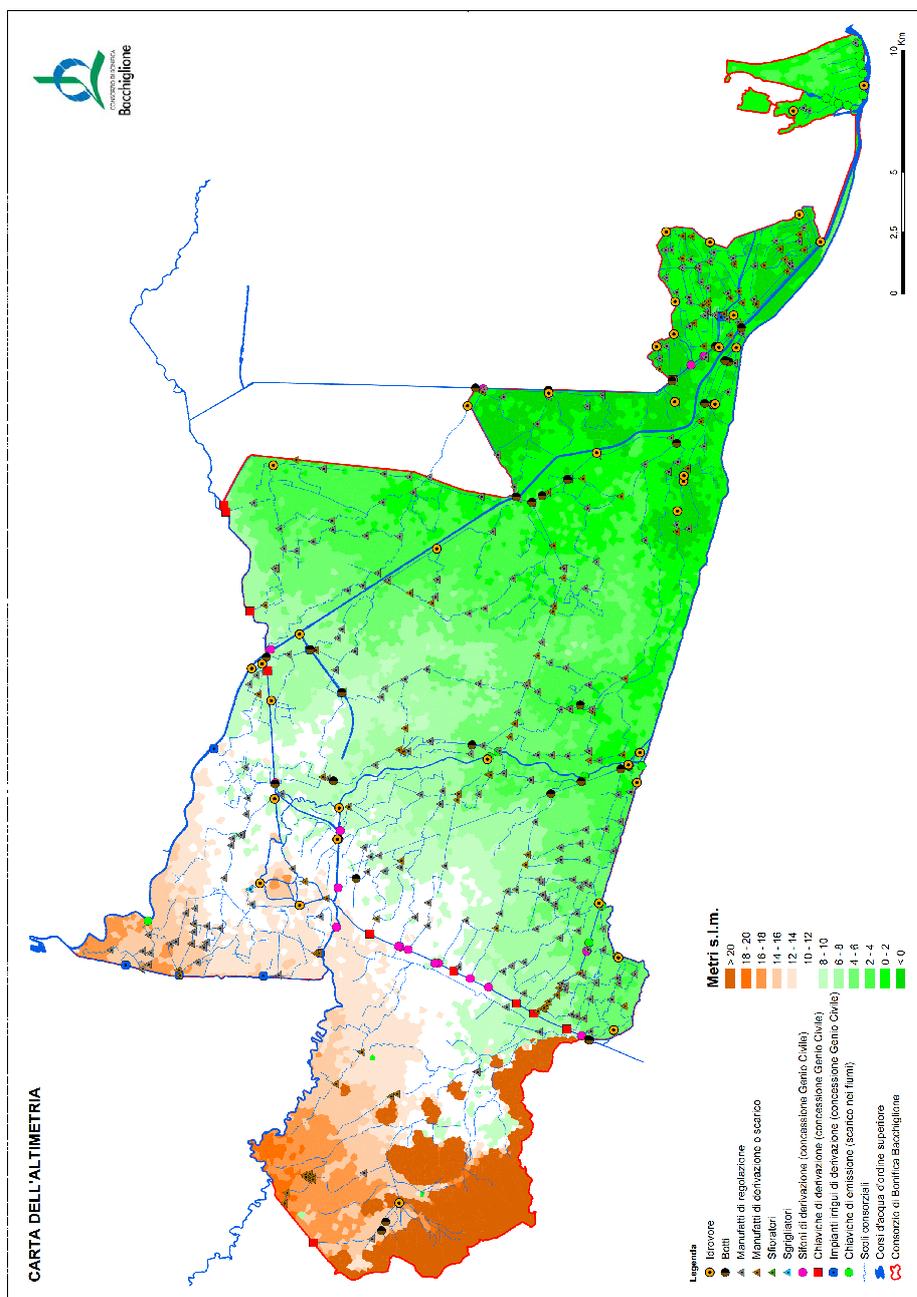


Figura 2.13: Geomorfologia del territorio ricadente nel Consorzio di bonifica

- la tutela ed il recupero del paesaggio agrario
- l'inquinamento delle acque
- le opere necessarie alla bonifica, per l'irrigazione e per l'ambiente

- la progettazione delle opere di bonifica e la previsione di spesa
- la progettazione e la previsione di spesa delle opere per l'irrigazione

Le attività

Tra le attività del Consorzio le più importanti sono:

- realizzazione di nuove opere pubbliche di bonifica (canali, impianti di pompaggio...) con il finanziamento della Regione o dello Stato;
- taglio, più volte all'anno, delle erbe nei canali di bonifica;
- riparazione delle sponde franate lungo i canali di bonifica;
- escavazione dei canali di bonifica;
- funzionamento degli impianti idrovori per l'espulsione dell'acqua;
- monitoraggio di piogge e livelli dell'acqua nei canali con un sistema di telecomando e telecontrollo;
- irrigazione dei campi;
- mantenimento della portata minima vitale nei corsi d'acqua (in particolare quando scorrono all'interno delle aree edificate);
- salvaguardia dell'ambiente contribuendo all'azione di tutela delle acque (in particolare nel bacino scolante nella laguna di Venezia).

Gli impianti di Padova

L'allontanamento delle acque piovane dalla città di Padova è assicurato dal consorzio di bonifica Bacchiglione attraverso la gestione di una rete interna di canali ed il funzionamento di sette impianti di sollevamento (idrovore) che prelevano l'acqua dagli stessi canali e la pompano nei fiumi. La loro capacità complessiva di espulsione è di 63.000 litri al secondo.

Il Consorzio e l'espansione urbana

Quando il suolo è reso impermeabile da strade, tetti, piazzali ecc., l'acqua piovana non viene più assorbita dal terreno e non può essere neppure accumulata e rallentata nei fossi ma perviene rapidamente ai canali e agli impianti idrovori. Per questo la portata scaricata da una zona urbana è anche venti volte superiore rispetto a quella di un'area agricola.

Come risposta il Consorzio deve necessariamente realizzare nuove opere di bonifica (canali, impianti, ecc) con finanziamenti pubblici (Stato, Regione,

Provincia) ma nel contempo, in accordo con i comuni, si deve costruire con nuovi criteri.

Le indicazioni per le nuove urbanizzazioni sono:

- Limitare l'impermeabilizzazione del suolo: realizzare, ad esempio, le pavimentazione dei parcheggi con materiali drenanti;
- Compensare la riduzione dei volumi d'invaso conseguenti all'urbanizzazione: realizzare volumi d'invaso per le acque piovane in misura non inferiore a $300mc/ha$ di area urbanizzata (condotte per le acque meteoriche di grandi dimensioni, vasche, nuovi fossi, aree a verde allagabili...);
- Mantenere e ripristinare i fossi in sede privata;



Figura 2.14: Idrovora Vetri via Giotto



Figura 2.15: Idrovora S.Lazzaro



Figura 2.16: Idrovora Valli Camin



Figura 2.17: Idrovora Ca'Nordio

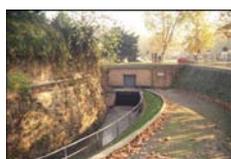


Figura 2.18: Idrovora via Goito



Figura 2.19: Idrovora del maestro Roncajette



Figura 2.20: Idrovora Voltabarrozzo

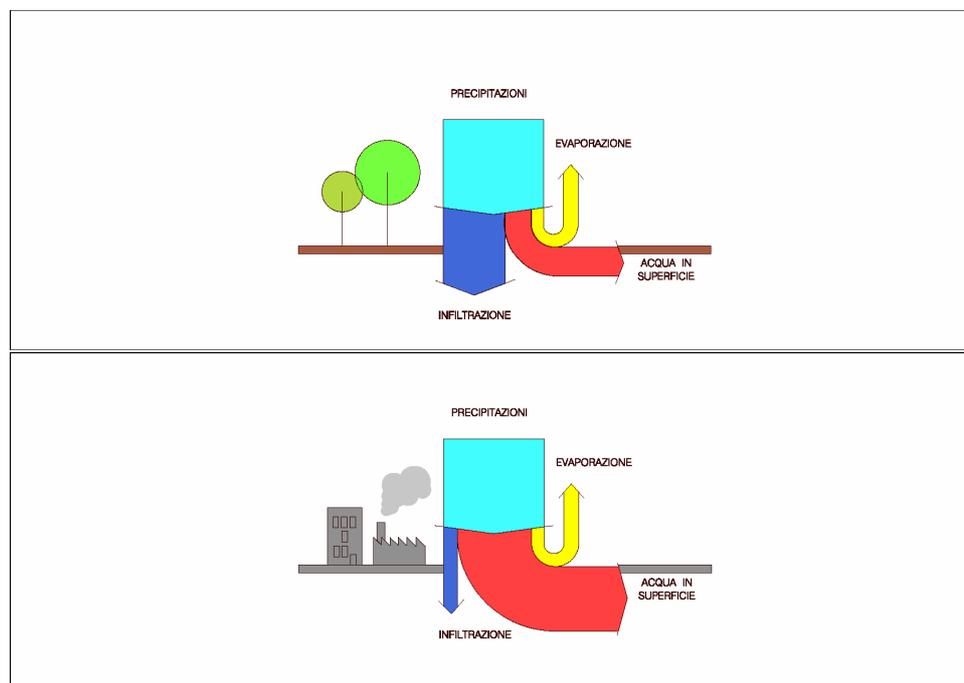


Figura 2.21: Infiltrazione dell'acqua prima e dopo l'urbanizzazione

- Fissare il piano d'imposta dei fabbricati ad una quota superiore di almeno 20cm rispetto al piano stradale o al piano campagna circostante;
- Evitare la realizzazione di piani interrati o seminterrati;
- Rispettare i corsi d'acqua consorziali: mantenere su entrambi i lati una fascia di rispetto, della larghezza minima di quattro metri, libera da ostacoli o piante per consentire il transito dei mezzi per la manutenzione.

Interventi del Consorzio

Nel territorio ricadente nel bacino scolante nella laguna di Venezia, la Regione Veneto ha incaricato il Consorzio di realizzare una serie di interventi per il disinquinamento delle acque per una spesa complessiva di circa 30.000.000 di euro ed in particolare:

- a Nuovi corsi d'acqua con golene e "fasce tampone vegetate";
- b Aree umide;
- c Impianti di sollevamento e di regolazione delle acque governati da un sistema di telecomando e telecontrollo.

La finalità degli interventi è aumentare i tempi di residenza delle acque nei canali di bonifica e favorire tutti i processi fisici, chimici e biologici che determinano una riduzione delle sostanze inquinanti contenute nelle acque che defluiscono in laguna.

2.4 Il rischio idraulico in Padova

La circolazione delle acque fluviali attorno e all'interno della città di Padova può essere ripartita e sintetizzata in due circuiti, interno ed esterno. Il circuito esterno comprende i maggiori fiumi, già elencati, Brenta e Bacchiglione mentre la rete interna è formata da tutti quei canali storici all'interno della città e tutta la rete degli scoli consorziali che scaricano in Brenta attraverso il Piovego e in Bacchiglione attraverso il Roncayette tutte le acque raccolte all'interno della città.

L'intricata rete in effetti mostra limitata efficacia nel caso di rilevanti onde di piena del Brenta e del Bacchiglione, ed in caso di precipitazioni critiche, causando, in varie zone depresse della città, allagamenti spesso importanti causa di forti disagi alla circolazione e alla popolazione in genere, e richiedendo ingenti spese di ripristino da parte del Comune e della Provincia. Uno dei punti più a rischio è nella parte nord/ovest del comune di Padova, presso il quartiere Arcella, in prossimità degli scarichi del collettore Fossetta. Infatti il Fossetta nasceva a servizio di un territorio molto diverso, e non è oggi possibile di ricalibrazione per i vincoli imposti dalla città.

Con il piano del 1951 l'assetto idraulico della città di Padova ha raggiunto l'attuale e definitiva conformazione per la difesa della città dalle piene fluviali: motivo centrale del piano era infatti il contenimento delle piene del Bacchiglione, non garantito dal precedente dimensionamento del canale Scaricatore. Infatti con l'allargamento della sezione del canale Scaricatore, l'apertura del canale di S.Gregorio e la realizzazione dei relativi sostegni di regolazione, si è precluso l'accesso alle piene nel centro storico, mentre con le regolazioni date dal sostegno di S.Gregorio sul Piovego e Cà Nordio sul Roncayette si è reso possibile il controllo dei rigurgiti di piena risalente lungo il Piovego ed il Roncayette.

Rimane tuttora aperto il problema della dipendenza idrometrica dei due fiumi Brenta e Bacchiglione. Nelle condizioni attuali infatti, i due sostegni hanno principalmente funzione di garanzia che i canali interni siano in grado di invasare all'inizio di un evento di piena il massimo volume meteorico possibile. Ciò è necessario affinché si possa contenere gli afflussi diretti dal comprensorio cittadino finché i livelli del Bacchiglione e del Brenta siano tali da permetterne il deflusso. I fiumi Brenta e Bacchiglione non concorrono in alcun modo al-

l'allontanamento delle acque di scolo cittadine, dato che generalmente i colmi arrivano a Padova quasi contemporaneamente.

Un altro aspetto legato al rischio idraulico riguarda con molta probabilità il sottodimensionamento di alcuni manufatti, di alcuni collettori di prima raccolta e di alcuni tratti dell'asta principale; l'insufficienza del collettore Fossetta è resa manifesta, ad esempio, dalla presenza più o meno rilevante di allagamenti del quartiere Arcella

Non bisogna però tralasciare anche il problema del progressivo impoverimento della rete di bonifica in seguito al tombianamento e all'eliminazione di molti scoli, reso più grave dal contemporaneo aumento dei coefficienti idrometrici in seguito alla sempre maggiore urbanizzazione del territorio.

2.5 Scolmatore di piena Limenella-Fossetta

Una premessa necessaria va fatta a questo punto, per lo studio che verrà affrontato nei prossimi capitoli: viene estratta in questa zona di padova una porzione di territorio, per poi studiarne attraverso il metodo geomorfologico, l'evoluzione della risposta idrologica al variare della destinazione d'uso del suolo. Come visto infatti, la zona di Padova nord, quartiere Arcella, presenta una delle zone con maggiore criticità idraulica, a causa, tra le altre, della inadeguatezza del collettore Fossetta.

Negli ultimi anni è stato progettato e finanziato, a seguito di numerosi studi, un'opera di potenziamento dello smaltimento acque, adeguandolo alla richiesta crescente, allo scopo di garantire un'adeguata sicurezza idraulica della città di Padova: lo "Scolmatore di piena Limenella-Fossetta, per la difesa idraulica idraulica della zona Padova Nord".

Nel 2006 è stato sottoscritto il protocollo d'intesa fra la Regione Veneto, Comune di Padova e Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta ed il progetto approvato dalla Regione.

Il nuovo scolmatore di piena per la difesa idraulica di Padova-Nord, progettato e dal 2008 in costruzione (costo complessivo 15.000.000 di euro) sarà in grado di sottrarre, in piena, una portata di circa 10.000 litri al secondo e di sollevarla nel fiume Brenta in modo da alleggerire la rete idraulica a valle e ridurre notevolmente il rischio idraulico dell'intero quartiere Arcella. In previsione dell'espansione nella zona oggetto d'esame la sua costruzione si rivela vitale, per soddisfare la crescente richiesta di smaltimento acque meteoriche che andranno a crescere in portata proporzionalmente alla velocità di corrivazione.

In sintesi, le nuove opere previste sono le seguenti:

- un collettore (lungo circa 900 metri con sezione rettangolare di 2,50 metri di base e 1,50 metri di altezza) a sud del nodo cavalcavia Camerini di



Figura 2.22: Nuovo scolmatore Limenella-Fossetta

intercettazione delle acque provenienti dallo scolo Borgherini, dallo scolo delle Basse e dallo scolo Limenella

- una vasca di raccolta situata a ridosso del nodo suddetto, idonea a consentire lo sfioro delle portate di piena in arrivo
- una prima stazione di sollevamento la quale, prelevando le acque dalla vasca, le immette nel collettore di adduzione verso il fiume Brenta
- una collettore di adduzione lungo circa 2100 metri con sezione rettangolare di dimensioni interne 3,20 metri di base e 2,70 di altezza
- un manufatto di sottopasso autostradale sotto il rilevato dell'Autostrada A4
- una seconda stazione di sollevamento, situata a ridosso del fiume Brenta, idonea ad immettere in tale corso le acque scolmate.

Capitolo 3

Indagine preventiva

Con le deliberazioni della Giunta Regionale n.3637 del 13 Dicembre 2002 e n.1322 del 10 Maggio 2006, riferite alla Legge 3 Agosto 1998, n.267 "*individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico ed idrogeologico*", la Regione Veneto ha fornito "*indicazioni per la formazione dei nuovi strumenti urbanistici*", specificatamente dedicate alla sicurezza idrogeologica del territorio nella redazione degli strumenti urbanistici.

Ogni "*studio di compatibilità idraulica*" sul territorio interessato ad una variante allo strumento urbanistico Comunale dovrà prevedere analisi dei documenti forniti dagli Enti competenti sul territorio (Genio Civile, Consorzio di Bonifica, Provincia e Comune).

Si dovranno consultare le tavole cartografiche di rischio idraulico, pericolosità della zona o simili, il P.G.B.T.T.R. (Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio) e altri dati previsti dalla normativa di cui tratterò nei prossimi capitoli.

3.1 Il quadro normativo

Si riportano in questo paragrafo i riferimenti principali alla normativa in tema di lavori pubblici e in particolare riferita alla bonifica, alle fognature e ai corsi d'acqua.

Legge quadro in materia dei lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 Essa ha subito una prima parziale modifica con la Legge 12 giugno 1995, n. 216, e una finale sistemazione con la Legge 18 novembre 1998, n.415, Modifiche alla Legge 11 febbraio 1994, n. 109, e ulteriori disposizioni in materia di lavori pubblici. All'articolo 16 è regolamentato lo svolgimento della progettazione, le definizioni e gli adempimenti che vi corrispondono. D.P.R. 21 dicembre 1999 Regolamento di attuazione della Legge quadro in materia dei lavori pubblici

11 febbraio 1994, n.109, e successive modificazioni. All'articolo 40 sono elencati gli obblighi in materia di manutenzione delle opere.

D.Lgs 14 agosto, n. 494 Riguarda la sicurezza nei cantieri e tratta infatti l'Attuazione della direttiva 92/57 CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei e mobili. Essa è stata modificata ed integrata dal D.Lgs 19 novembre 1999, n.528.

Circolare n. 11633 del 7 gennaio 1974 del Ministero dei Lavori Pubblici Il titolo è Istruzioni per la compilazione degli elaborati dei progetti di fognature. Essi devono essere rispettati in sede di progetto.

D.P.C.M. 4 marzo 1996 Disposizioni in materia di risorse idriche Riporta alcuni criteri da adottare per la scelta del tipo di fognature e per la scelta del periodo di ritorno al quale fare riferimento. Gli articoli di maggiore interesse sono: 8.3.2 Fognatura mista; 8.3.3 Immissione in fognatura; 8.3.4 Fognature nere; 8.3.5 Drenaggio urbano.

Legge 5 gennaio 1994, n. 36, Disposizione in materia di risorse idriche Riporta i criteri per la gestione del Servizio idrico integrato, cio è costituito dall'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua per usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque nere.

D.Lgs 11 maggio 1999, n. 152 Disposizione sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane, e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Modificato dal D.Lgs 18 agosto 2000, n.258.

R.D. 18 giugno 1936, n. 215 Sulla bonifica integrale

D.P.R. 24 luglio 1977 Tratta le deleghe alle regioni a statuto ordinario in materia di bonifica, acquedotti e fognature.

Legge 10 maggio 1976, n. 319, e successive modificazioni Sulla tutela delle acque dall'inquinamento.

Deliberazione della Giunta Regione Veneto n. 1322 del 10 MAG 2006 Con tale provvedimento è stato previsto che l'approvazione di un nuovo strumento urbanistico, ovvero di varianti a quello vigente, sia subordinata al parere della competente autorità idraulica su un apposito studio di compatibilità idraulica. Tale studio, al fine di evitare l'aggravio delle condizioni del regime idraulico, deve prevedere la realizzazione di idonee misure che abbiano funzioni compensative dell'alterazione provocata dalle nuove previsioni urbanistiche, nonchè di verificare l'assenza di interferenze con i fenomeni di degrado idraulico e geologico indagati dai Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) predisposti dalle competenti Autorità di Bacino.

L.R.23.04.2004 L'entrata in vigore della L.R.23.04.2004 n.11 ha evidenziato la necessità che anche la valutazione di compatibilità venga adeguata alle nuove procedure. Va inoltre ricordato che con la deliberazione n.4453 del 29.12.04

la giunta regionale ha adottato il "piano di tutela delle acque" con il quale la procedura di "valutazione di compatibilità idraulica" deve essere coerente. Contestualmente, il sistema organizzativo regionale sulla rete idraulica superficiale ha mutato assetto con l'istituzione nell'ambito regionale dei Distretti Idrografici di Bacino le cui competenze sono esercitate sull'intero bacino idrografico, superando i limiti dei circondari idraulici di ciascun Genio Civile.

E' certamente maturata in questi anni la consapevolezza che l'azione antropica ha contribuito ad accrescere il rischio idraulico, influenzando negativamente sui processi di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi nei corpi idrici, modificando la natura del regime idrologico ed incrementando sensibilmente i contributi specifici dei terreni.

L'esperienza acquisita in questo periodo di applicazione dai soggetti istituzionalmente preposti ha peraltro evidenziato la necessità di garantire omogeneità di approccio agli studi di compatibilità idraulica. Questi si concretizzano sostanzialmente in elaborazioni idrologiche ed idrauliche finalizzate a definire progettualmente gli interventi che hanno funzione compensativa per garantire l'"invarianza idraulica", laddove il principio di invarianza idraulica delle trasformazioni del territorio viene così definito: "Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un'area che non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa." "Modalità operative e indicazioni tecniche" relative alla "Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici" Proprio per aggiornare le modalità operative al nuovo assetto nel frattempo intervenuto e per aggiornare i contenuti e le procedure anche sulla base dell'esperienza maturata si rende necessario ridefinire le "Modalità operative e indicazioni tecniche" relative alla "Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici"

3.2 Analisi geomorfologica e idrologica

L'analisi geomorfologica riveste un'importanza fondamentale nella valutazione del rischio idraulico. In particolar modo l'attenta analisi del microrilievo può essere utile ad evidenziare l'andamento dei terreni. Il microrilievo o analisi di dettaglio dell'altimetria, è una metodologia molto diffusa nello studio del rischio idraulico di pianura, poichè evidenzia i processi geomorfologici che hanno modellato la zona stessa, fornendo utilissimi elementi per la ricostruzione del sottosuolo.

Grazie al microrilievo si possono determinare le zone "alto topografico" che sono aree dove il rischio idraulico è sicuramente minore e le aree interessate da possibili inondazioni. Il territorio nella provincia di Padova è generalmente pianeggiante ma con un'analisi del microrilievo che apprezzi variazioni di quo-

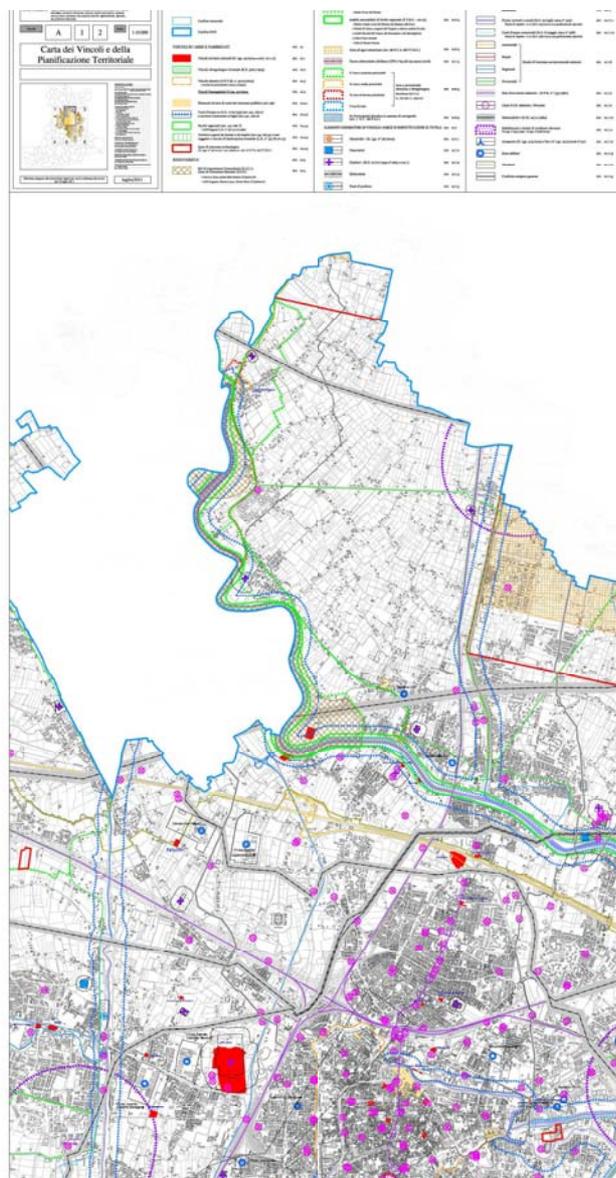


Figura 3.1: Carta dei vincoli centrata nella zona in esame

ta di almeno un metro si può notarne l'estrema complessità nella morfologia con tendenza a dirigersi verso l'Adriatico.

I numerosi fiumi e le vie d'acqua hanno disegnato dossi e depressioni: le quote maggiori si trovano in prossimità dei fiumi dove ci sono i sedimenti più grossi e meno comprimibili, mentre le aree più depresse sono quelle con terreni limosi e argillosi, più costipabili, nelle zone interclusive. Questa conformazione

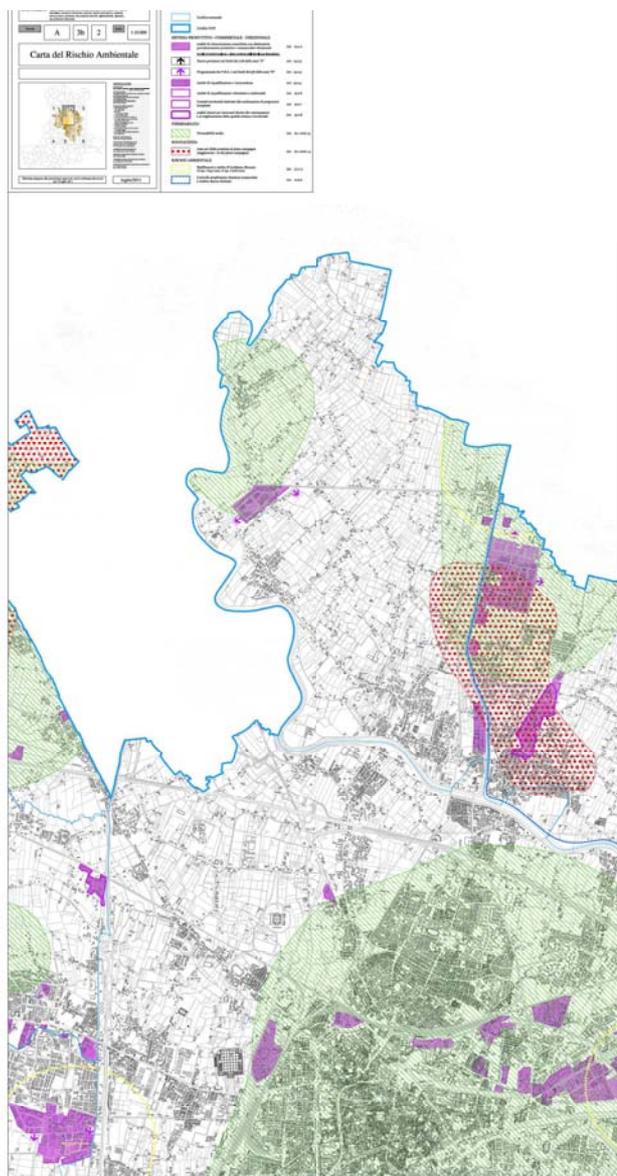


Figura 3.2: Carta del rischio ambientale centrata nella zona d'esame

testimonia la recente formazione della pianura ad opera di vecchi sedimenti fluviali.

Per l'analisi idrologica si dovranno confrontare le tavole di rilievo altimetrico, rischio idraulico e geomorfologia per osservare l'andamento delle falde. E' consigliabile in quest'analisi centrare la zona d'intervento vista la complessità evidente di un'analisi in toto del territorio della provincia di Padova.

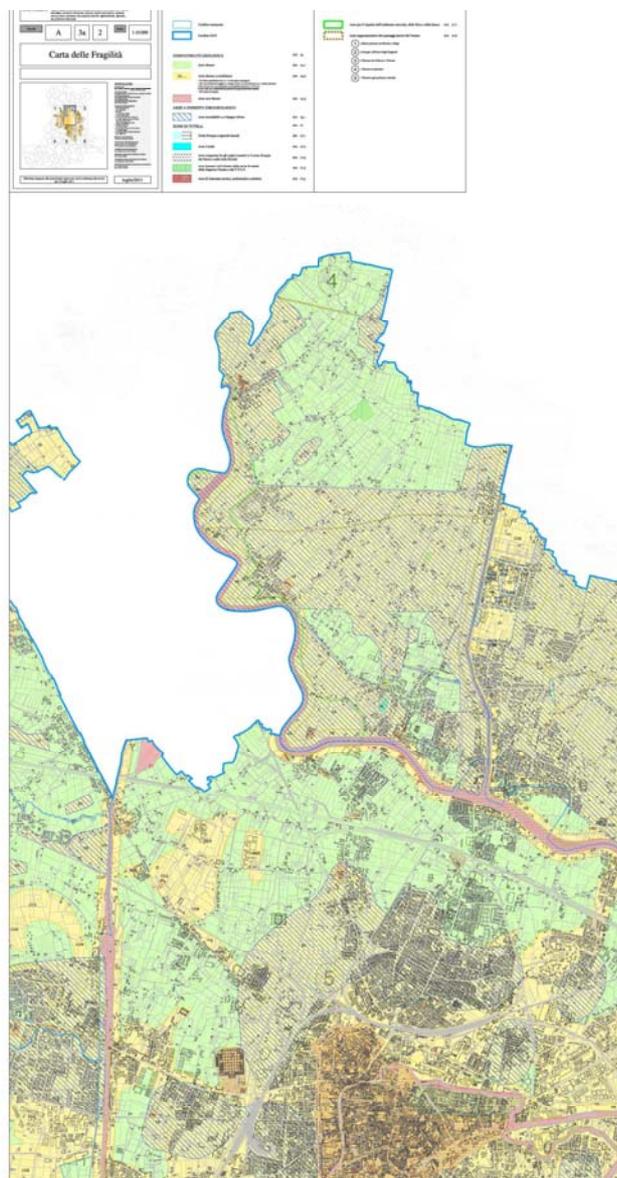


Figura 3.3: Carta delle fragilità centrata nella zona d'esame

L'area in esame è situata a Nord-Ovest nei pressi di San Bellino all'interno del Quartiere 6 Nord, delimitata a ovest da Corso Australia, a nord da via Due Palazzi, a est da via Sacro Cuore, Cavalcavia Camerini e dalla linea ferroviaria Padova-Castelfranco Veneto, infine a sud è delimitata dalla linea ferroviaria Padova-Vicenza. Il suolo è tendenzialmente argilloso, come si può vedere nella Figura 3.6, con una parte relativamente esigua di fondo sabbioso. Il rischio

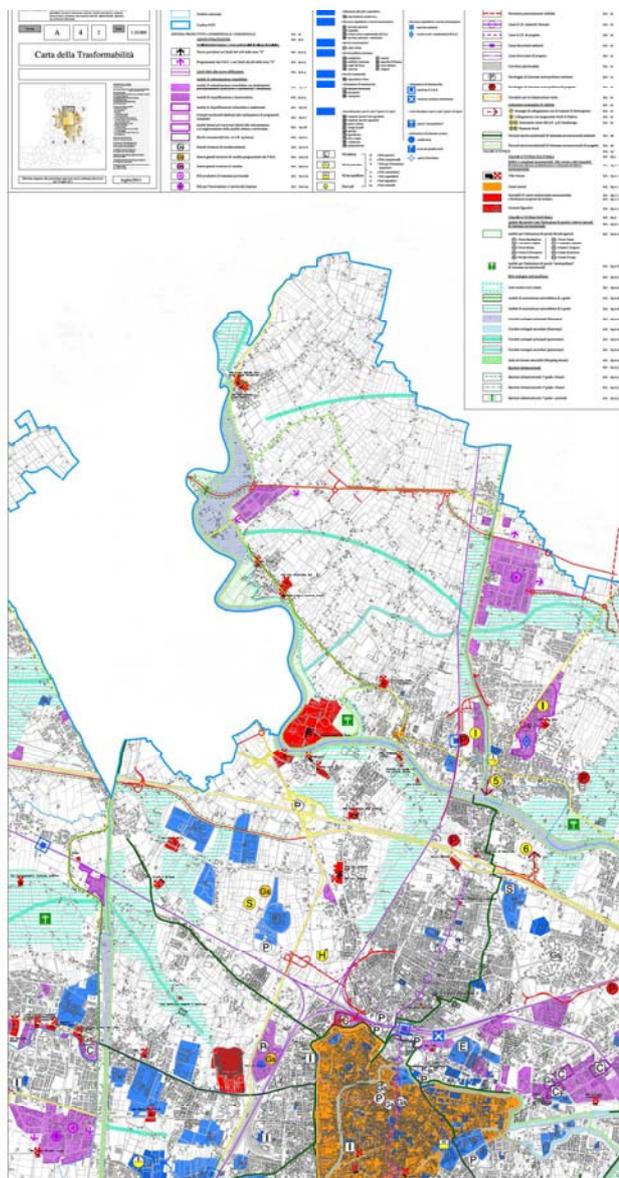


Figura 3.4: Carta delle trasformabilità centrata nella zona d'esame

idraulico è valutato medio - alto, come si evince dalla Figura 3.7.

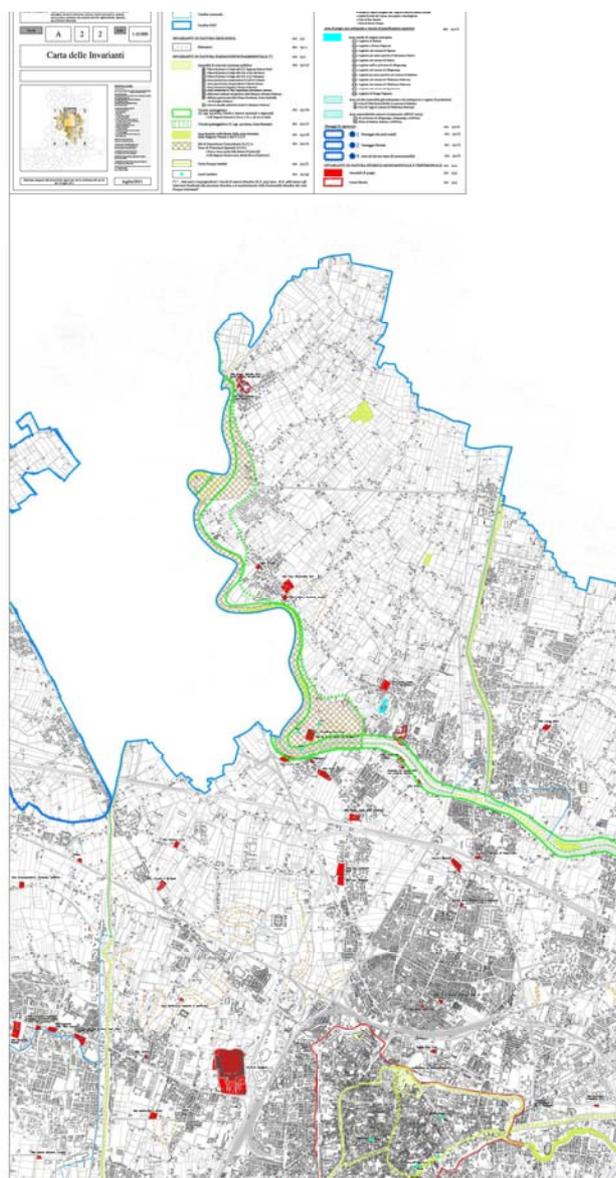


Figura 3.5: Carta delle invarianti centrata nella zona d'esame

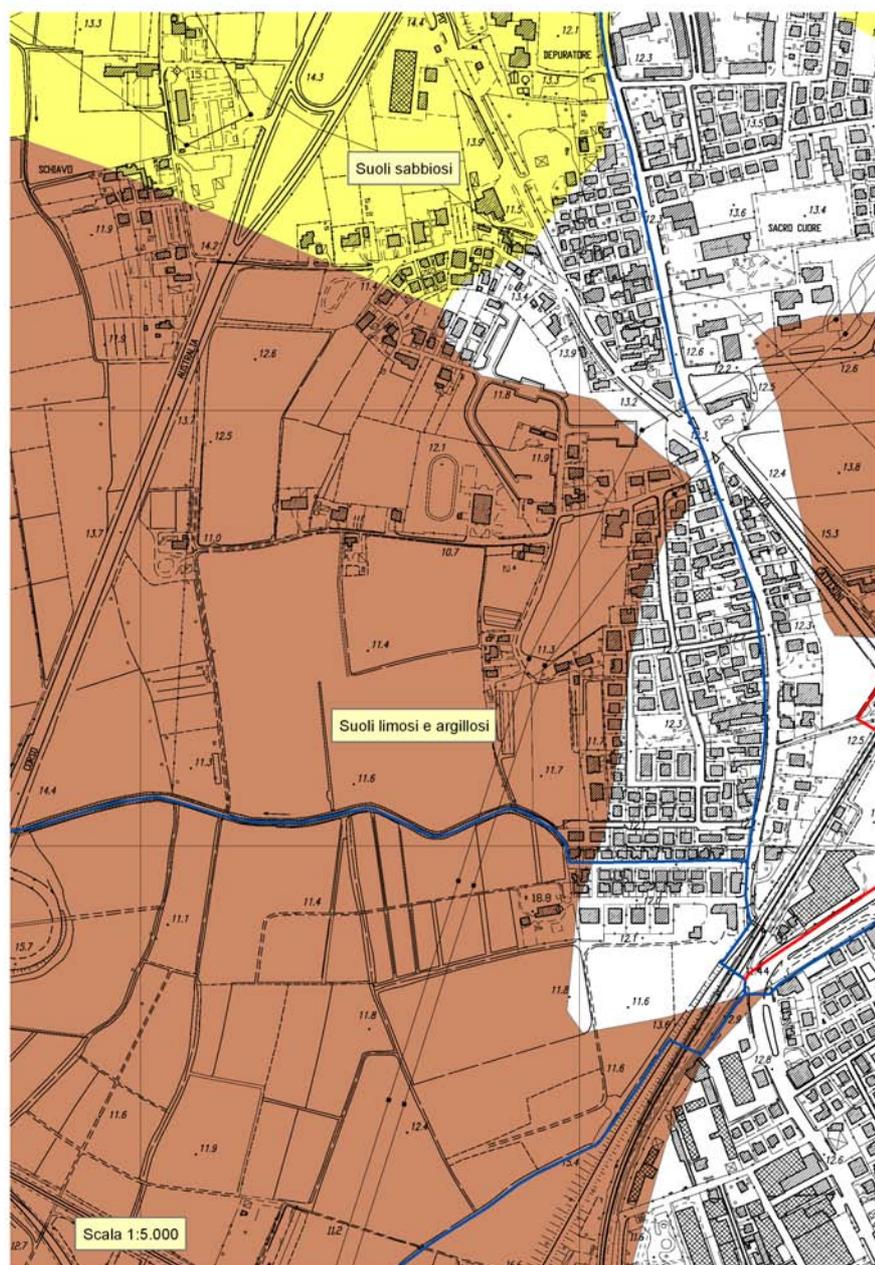


Figura 3.6: Carta dei suoli della zona in esame

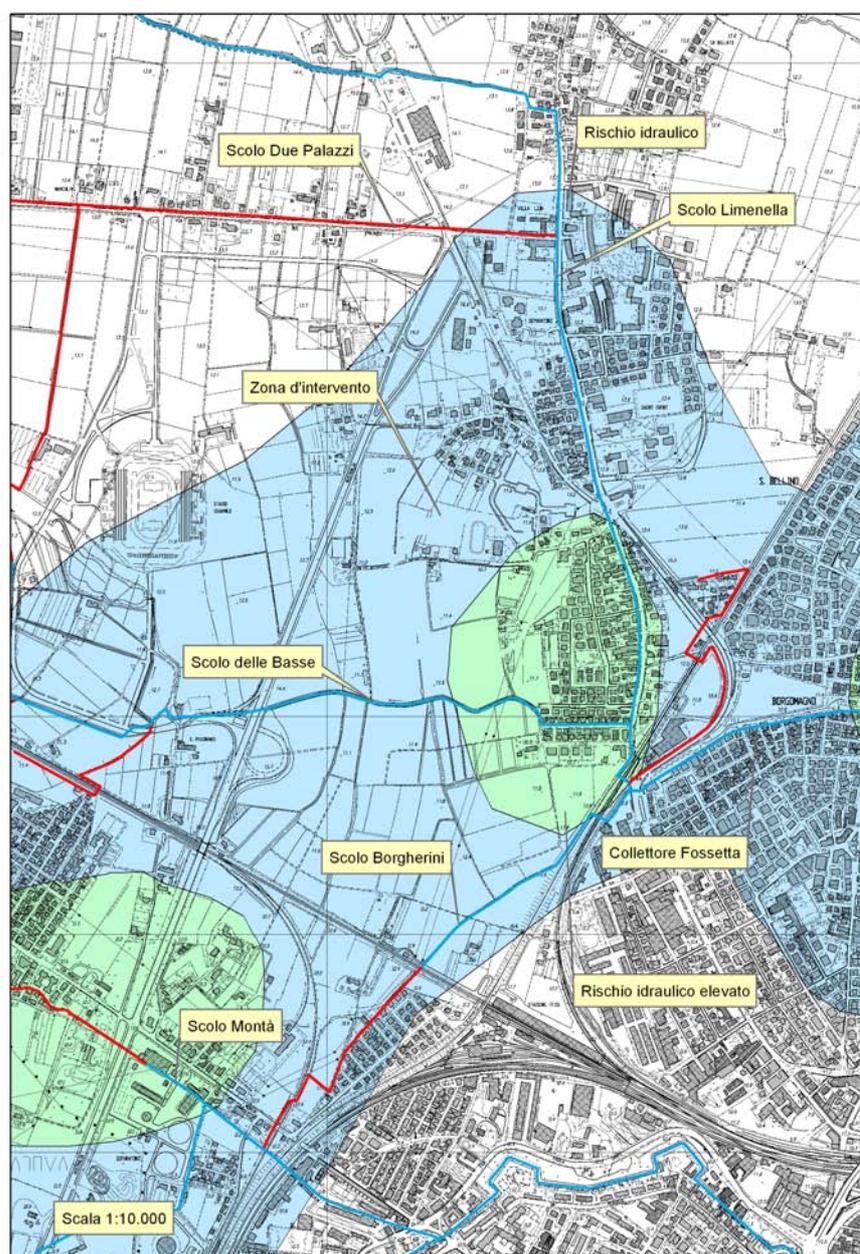


Figura 3.7: Carta del rischio idraulico della zona in esame

Capitolo 4

Indirizzi per mitigare l'impatto idraulico

4.1 Ambito di applicazione

Le presenti considerazioni si applicano a quegli interventi che comportano una trasformazione territoriale che possa modificare il regime idraulico; siano essi di natura pubblica che privata, devono essere accompagnati dal parere idraulico rilasciato dal consorzio dei bonifica, previa presentazione della relativa pratica corredata da elaborati grafici esaustivi sotto l'aspetto idraulico, idonei all'individuazione delle misure compensative.

In particolare, dovranno essere completi di dati altimetrici, sia dello stato di fatto che di progetto, e di indicazioni delle direttrici di deflusso delle acque meteoriche, dalle aree interessate al recapito nei ricettori consorziali, in modo tale che ciascun intervento non penalizzi sotto il profilo idraulico le proprietà limitrofe.

4.2 Compensare la riduzione di volume di invaso conseguente all'urbanizzazione

Come noto l'impermeabilizzazione del suolo e la riduzione degli invasi conseguenti all'urbanizzazione alterano profondamente l'assetto idraulico di un'area.

Il coefficiente udometrico (contributo specifico alla formazione della portata di piena) di un'area urbanizzata é 10 \approx 20 volte superiore rispetto a quello di un terreno agricolo. La portata scaricata verso la rete esterna, generata dal bacino costituito da tutto l'ambito d'intervento non dovrà essere superiore a quella stimata per un terreno agricolo pari a $10l/(s * ha)$; tutto il sistema dovrà

4.3. Recupero dei volumi di invaso **4. Indirizzi per mitigare l'impatto idraulico**

essere costituito con un adeguato dimensionamento dei volumi di laminazione il cui valore minimo di riferimento (da verificare analiticamente), é fissato in $300m^3/ha$, in modo che tramite opportuni accorgimenti e dispositivi sia garantito il valore sopra indicato della portata scaricata per qualsiasi precipitazione caratterizzata da un tempo di ritorno pari almeno a 20 anni e di durata variabile dai 5 minuti alle 24 ore.

4.3 Recupero dei volumi di invaso

Dovrá avvenire mediante la realizzazione di invasi superficiali (nuove affossature, zone a momentanea sommersione ecc.),o profondi (vasche di laminazione, tunnel drenanti, sovradimensionamento delle condotte acque meteoriche, ecc.).

Al fine di garantirne l'effettivo utilizzo e riempimento e quindi il loro sfruttamento per la moderazione delle portate scaricate, in corrispondenza della sezione terminale della rete di smaltimento delle acque bianche, dovrà essere posizionato un dispositivo di controllo che limiti la portata scaricata a quello massimo consentito ($10l/(sha)$). Qualsiasi sia la sua configurazione, il sistema utilizzato deve avere i requisiti che ne garantiscano un'agevole pulizia e manutenzione ordinaria e straordinaria.

4.4 Mantenere e ripristinare i fossi in sede privata

I fossi in sede privata devono essere mantenuti puliti, non possono essere eliminati, non devono essere ridotte le loro dimensioni se non si prevedono adeguate misure di compensazione.



Figura 4.1: Area verde a temporaneo allagamento

4.5 Manufatti di controllo dello scarico

Lo sfioratore avrà una quota tale da sfruttare al massimo la capacità di invaso delle condotte opportunamente dimensionate e dell'intero sistema di smaltimento delle acque bianche (condotte, vasche di laminazione, aree a temporanea sommersione e fossatura), senza pregiudicare la sicurezza idraulica dell'area servita. La luce di fondo sarà dimensionata in modo da smaltire la portata massima, in ogni caso avrà dimensioni minime di $0.01m^2$.

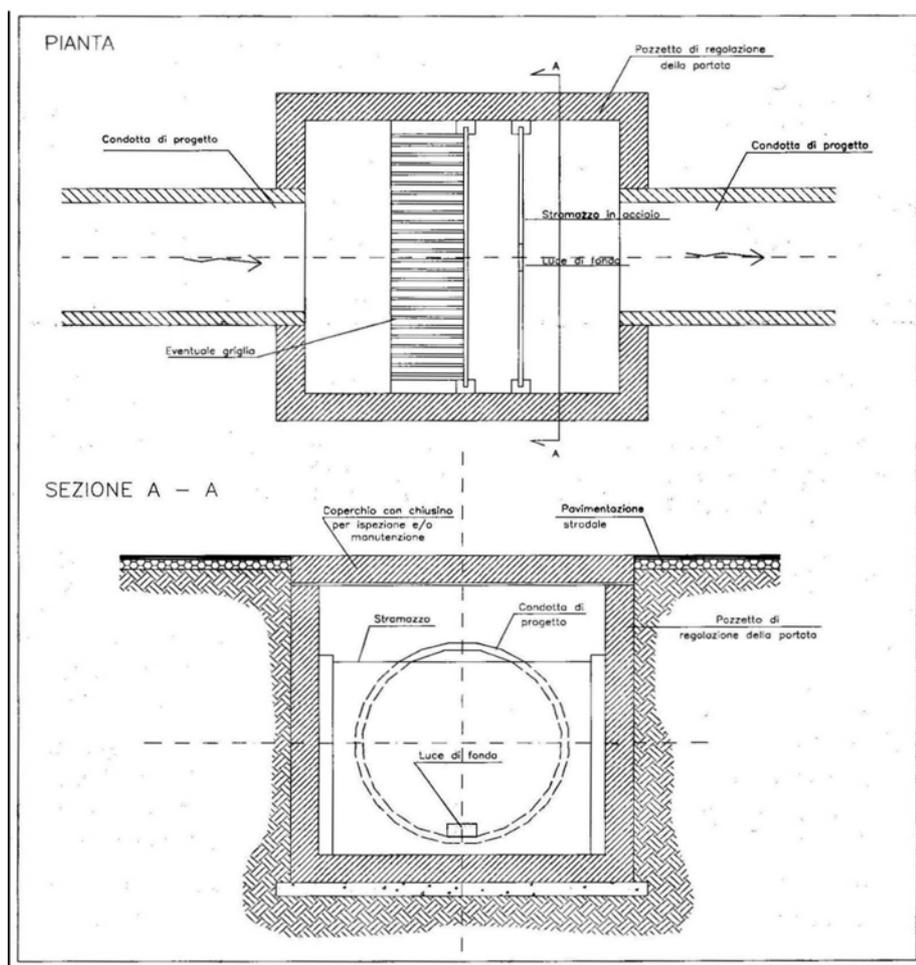


Figura 4.2: Manufatto di controllo dello scarico

4.6 Tombinature

In aree agricole é vietata la tombinatura dei fossi fatta eccezione per la costruzione di accessi carrai.

In particolare le nuove tombinature dovranno assicurare la funzione iniziale del fossato sia in termini di volume di invaso che di smaltimento delle portate. In riferimento alla pianificazione regionale e specificatamente dei contenuti dei piani generali di bonifica non potranno essere autorizzati interventi di tombinamento o chiusura di affossature esistenti, di qualsiasi natura esse siano, salvo che non si verifichi una delle seguenti condizioni e previo parere del consorzio di bonifica competente:

- evidenti e motivate necessità attinenti la sicurezza pubblica;
- giustificate motivazioni di carattere igienico sanitario.

L'intervento sia concordato e approvato dal consorzio di bonifica.

Per una domanda di tombinamento, dovrà essere presentata un'apposita relazione tecnica nella quale sia evidenziata la funzione del fossato e le misure che si intendono adottare per mantenere inalterata la funzione dello stesso in relazione al bacino afferente.

In ogni caso si dovranno preferire diametri di tombinatura adeguati (non inferiori a cm 80).

4.7 Realizzazione di opere pubbliche ed infrastrutture

Anche nella realizzazione di opere pubbliche ed infrastrutture dovranno essere adottati gli indirizzi sopra indicati. In particolare per le strade di collegamento dovranno essere previste ampie scoline laterali e dovrà essere assicurata la continuità del deflusso delle acque tra monte e valle dei rilevati.

Nella realizzazione di piste ciclabili si dovrà evitare il tombinamento di fossi prevedendo, invece, il loro spostamento.

4.8 Piano di imposta dei fabbricati

Il piano d'imposta dei fabbricati sarà fissato ad una quota superiore di almeno 20 \approx 40cm rispetto al piano stradale o al piano campagna medio circostante.

In alternativa i piani interrati saranno impermeabilizzati al di sotto del piano d'imposta si cui sopra e saranno previste aperture (comprese rampe e bocche di lupo) solo a quote superiori.

4.9 Superfici impermeabili e pluviali

Le pavimentazioni destinate a parcheggio dovranno essere di tipo drenante, o in ogni caso permeabili, realizzate su idoneo sottofondo che ne garantisca l'efficienza, con la sola deroga per le aree destinate a portatori di handicap e a ridosso della viabilità principale.

Ove è ragionevolmente possibile i pluviali dovranno scaricare superficialmente oppure in pozzi disperdenti collegati in sommità alla rete delle acque meteoriche.

4.10 Corsi d'acqua consorziali

Nel caso siano interessati canali appartenenti alla rete in manutenzione al consorzio di bonifica competente per il territorio, qualsiasi intervento o modificazione della configurazione esistente all'interno della fascia di dieci metri dal ciglio superiore della scarpata, sarà soggetto, ai fini della servitù di passaggio, a quanto previsto dal R.D. no 368 del 1904 e dovrà quindi essere specificatamente autorizzato.

Per la prevenzione del rischio idraulico è importante che i corsi d'acqua siano rispettati e valorizzati. Occorre creare le condizioni perché possano essere mantenuti in efficienza senza eccessivi oneri e non risultino marginalizzati dalle previsioni urbanistiche.

In particolare è opportuno collocare le aree a verde delle nuove urbanizzazioni lungo i corsi d'acqua ed evitare che i nuovi lotti confinino con i corsi d'acqua.

Nelle aree adiacenti agli scoli consorziali dovrà essere mantenuta una fascia di rispetto della larghezza minima di quattro metri dal ciglio degli stessi o dall'unghia arginale verso campagna in modo da consentire il transito dei mezzi adibiti alle manutenzioni periodiche.



Figura 4.3: Costruzione di infrastrutture sotto il piano campagna

Nella suddetta fascia di rispetto non potranno essere messe a dimora piante o siepi, né potranno essere installate strutture o depositati materiali che impediscano il transito dei mezzi.

Inoltre nelle fasce di rispetto in questione, eventuali sistemazioni, dovute a motivi di sicurezza o paesaggistici o ambientali che prevedano la posa di piante isolate o recinzioni in rete metallica e stanti in ferro asportabili dovranno essere preventivamente autorizzate dal Consorzio di Bonifica.

4.11 Verde Pubblico

La distribuzione planovolumetrica dell'area dovrà essere preferibilmente definita in modo che le aree a verde siano distribuite lungo le sponde dell'affossatura esistente o eventualmente di progetto, a garanzia e salvaguardia di un'adeguata fascia di rispetto.

Le aree a verde dovranno assumere una configurazione che attribuisca loro due funzioni:

1. di ricettore di una parte delle precipitazioni defluite lungo le aree,
2. di bacino di laminazione del sistema di smaltimento delle acque piovane.

Tali aree possibilmente dovranno:

1. essere poste ad una quota inferiore rispetto al piano stradale circostante
2. essere idraulicamente connesso tramite opportuni collegamenti con la strada,
3. la loro configurazione plano-altimetrica dovrà prevedere la realizzazione d'invasi superficiali adeguatamente disposti ed integrati con la rete di smaltimento delle acque meteorologiche in modo che i due sistemi possano interagire.

Capitolo 5

Assetto idraulico futuro

5.1 Analisi delle precipitazioni

Raccolta dei dati

Lo studio idrologico è necessario per la determinazione dei parametri da utilizzare, come punto di partenza per l'applicazione del modello di studio della risposta idrologica. Risulta necessario conoscere le precipitazioni aggiornate agli ultimi avvenimenti critici. Si sono considerate due tipologie di valutazione dei dati piogge: le serie fornite dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), in attività fino al 1994, e quelle invece fornite dallo studio delle precipitazioni massime delle stazioni di Padova Orto Botanico e Legnaro, fornite dal servizio Centro Meteo di Teolo (CMT). Le due serie ovviamente non possono essere unite in un'unica serie storica, sia per differenze di posizionamento e tipologia dei pluviografi, sia per differenza di lettura degli strumenti.

Sono state considerate dapprima le piogge rilevate alla stazione pluviografica di Padova nel periodo 1950-1994; mancano gli anni: dal 1974 al 1984, 1988 e dal 1991 al 1993 (non pubblicati). Sono reperibili i massimi annuali delle precipitazioni per le durate di 15, 30 e 45 minuti nonché della durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. La stessa cosa è stata effettuata per le stazioni Orto Botanico e Legnaro per gli anni dal 1992/1994 al 2008, considerando però che la serie è di solamente 15-17 dati per durata di pioggia, e per questa ragione molto più suscettibili di errore dovuto magari ad annate particolarmente piovose o al contrario molto secche.

5.1.1 Stazione Padova anni 1950-1994

La prima stazione pluviografica di riferimento è quella di Padova, posta ad una quota di 12 m s.m.m. La tabella 5.1 riporta gli elementi ordinati in senso

cronologico. I dati sono stati regolarizzati con il metodo di Gumbel. La tabella 5.2 riporta, per comodità, i valori dei parametri della media ridotta Y_N e dello scarto quadratico medio S_N ; essi sono funzione del numero N di osservazioni.

Precipitazioni brevi ed intense

I risultati intermedi e definitivi dell'elaborazione di calcolo sono riportati nelle Tabelle 5.3, 5.4 e 5.5. La Figura 5.1 mostra i risultati ottenuti. Per ciascun tempo di ritorno T_r si è provveduto a calcolare l'equazione di possibilità pluviometrica mediante interpolazione su carta bilogarithmica. I risultati ottenuti sono presentati nella Tabella 5.6 la quale fornisce, al variare del tempo di ritorno T_r , i valori di a e n nell'equazione $h = at^n$. La durata t è espressa come frazione di ora. L'ultima colonna dà il coefficiente di correlazione R^2 che individua la qualità dell'interpolazione. La Figura 5.2 illustra i risultati dell'elaborazione per $T_r=5, 10, 20$ e 50 anni. La dispersione dei valori di n al variare di T_r dipende, oltre che dal numero limitato di dati per ogni durata, dalla inevitabile imprecisione nelle misure, legate come sono a dispositivi di registrazione adatti per piogge di caduta ben maggiore di quelle degli scrosci.

Tabella 5.1: Precipitazioni di notevole intensità e breve durata e di massima intensità registrate nella stazione pluviografica di Padova - quota 12 m s.m.m.

anno	t=15min	t=30min	t=45min	t=1h	t=3h	t=6h	t=12h	t=24h
1950	0,0	23,6	0,0	24,4	24,6	38,0	44,0	57,0
1951	0,0	19,6	0,0	21,6	41,2	47,8	47,8	54,4
1952	0,0	22,0	0,0	23,8	31,6	49,0	60,0	73,6
1953	0,0	0,0	0,0	23,8	43,2	50,2	54,4	60,6
1954	0,0	0,0	0,0	27,0	29,2	29,6	36,8	37,4
1955	0,0	32,4	0,0	54,0	68,6	71,2	71,2	71,2
1956	0,0	0,0	0,0	19,8	27,0	29,2	39,6	68,6
1957	0,0	0,0	37,4	31,4	39,6	39,8	42,2	57,2
1958	0,0	35,0	0,0	56,0	71,8	75,0	79,6	82,8
1959	14,2	0,0	0,0	23,0	32,2	36,4	37,4	50,2
1960	18,0	0,0	0,0	25,6	31,0	36,2	50,4	52,6
1961	0,0	0,0	0,0	24,6	28,4	36,6	38,6	53,8
1962	7,8	0,0	0,0	12,0	21,8	29,2	37,8	55,4
1963	0,0	0,0	0,0	38,4	40,2	41,4	44,8	48,6
1964	0,0	0,0	0,0	26,4	27,6	41,2	42,4	42,4
1965	0,0	0,0	0,0	27,0	35,0	42,2	48,4	52,0
1966	0,0	0,0	0,0	22,8	36,5	46,4	60,0	81,5
1967	19,0	21,0	29,6	35,9	87,0	112,6	116,2	116,2
1968	19,6	23,4	26,4	30,4	48,8	73,8	77,0	77,6
1969	20,6	30,8	36,0	46,8	73,4	75,6	76,4	87,0
1970	28,6	31,6	0,0	32,8	38,8	39,0	39,2	39,2
1971	22,0	27,6	30,8	35,0	38,0	38,0	38,0	49,0
1972	10,0	15,8	22,4	29,0	43,6	47,6	48,8	48,8
1973	14,2	15,4	15,8	16,6	24,0	30,0	40,8	54,8
1985	10,4	12,8	21,2	21,2	21,2	28,0	45,0	70,0
1986	20,0	26,2	30,2	36,2	40,4	44,5	59,8	87,5
1987	34,0	0,0	0,0	37,0	50,0	70,0	86,0	96,6
1989	13,0	23,0	40,0	41,4	43,0	62,4	76,0	97,0
1990	27,4	35,6	35,8	36,2	36,4	38,0	65,0	68,0
1994	25,0	40,0	55,0	62,0	77,0	80,6	80,6	88,8

Tabella 5.2: Valori dei parametri Y_N ed S_N secondo Gumbel

Media ridotta Y_N										
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5154	0,5177	0,5198	0,5217
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5282	0,5296	0,5309	0,5321	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5403	0,5411	0,5417	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5472	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5532	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5571	0,5573	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5584
90	0,5586	0,5588	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5605	0,5606	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611
Scarto quadratico medio ridotto S_N										
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,0010	1,0148	1,0270	1,0378	1,0476	1,0564	1,0644	1,0717	1,0785	1,0847
20	1,0904	1,0958	1,1008	1,1055	1,1098	1,1140	1,1178	1,1215	1,1250	1,1283
30	1,1314	1,1344	1,1372	1,1399	1,1425	1,1449	1,1473	1,1496	1,1518	1,1538
40	1,1559	1,1578	1,1597	1,1614	1,1632	1,1649	1,1665	1,1680	1,1696	1,1710
50	1,1724	1,1738	1,1750	1,1765	1,1777	1,1789	1,1801	1,1813	1,1824	1,1835
60	1,1846	1,1856	1,1866	1,1876	1,1886	1,1895	1,1904	1,1913	1,1922	1,1931
70	1,1939	1,1947	1,1955	1,1963	1,1971	1,1978	1,1986	1,1993	1,2000	1,2007
80	1,2014	1,2020	1,2027	1,2033	1,2039	1,2045	1,2052	1,2057	1,2063	1,2069
90	1,2075	1,2080	1,2086	1,2091	1,2096	1,2101	1,2106	1,2111	1,2116	1,2121
100	1,2126	1,2130	1,2135	1,2139	1,2144	1,2148	1,2153	1,2157	1,2161	1,2165

Precipitazioni di durata oraria

I risultati intermedi e definitivi dell'elaborazione di calcolo sono riportati nelle Tabelle 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11.

La Figura 5.3 mostra i risultati ottenuti. Per ciascun tempo di ritorno T_r si è provveduto a calcolare l'equazione di possibilità pluviometrica mediante interpolazione su carta bilogarithmica.

I risultati ottenuti sono presentati nella Tabella 5.12 la quale fornisce, al variare del tempo di ritorno T_r , i valori di a e n nell'equazione $h = at^n$. La durata t è espressa come frazione di ora. L'ultima colonna dà il coefficiente di correlazione R^2 che individua la qualità dell'interpolazione.

La Figura 5.4 illustra i risultati dell'elaborazione per $T_r=5, 10, 20$ e 50 anni.

In Figura 5.5 sono rappresentate, a confronto, le equazioni di possibilità pluviometrica relative agli scrosci ed alle precipitazioni di durata oraria per un tempo di ritorno $T_r=10$ anni.

Tabella 5.3: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 15$ minuti

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	0,0	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	0,0	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	0,0	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	0,0	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	0,0	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	0,0	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	0,0	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	0,0	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	0,0	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	0,0	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	0,0	0,355	0,645	0,0	1,55
12	0,0	0,387	0,613	0,1	1,63
13	0,0	0,419	0,581	0,1	1,72
14	0,0	0,452	0,548	0,2	1,82
15	7,8	0,484	0,516	0,3	1,94
16	10,0	0,516	0,484	0,4	2,07
17	10,4	0,548	0,452	0,5	2,21
18	13,0	0,581	0,419	0,6	2,38
19	14,2	0,613	0,387	0,7	2,58
20	14,2	0,645	0,355	0,8	2,82
21	18,0	0,677	0,323	0,9	3,10
22	19,0	0,710	0,290	1,1	3,44
23	19,6	0,742	0,258	1,2	3,88
24	20,0	0,774	0,226	1,4	4,43
25	20,6	0,806	0,194	1,5	5,17
26	22,0	0,839	0,161	1,7	6,20
27	25,0	0,871	0,129	2,0	7,75
28	27,4	0,903	0,097	2,3	10,33
29	28,6	0,935	0,065	2,7	15,50
30	34,0	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	19,3
S_h	7,44
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	15,78
ALPHA	6,58

$h(T_r = 5)$	25,6
$h(T_r = 10)$	30,6
$h(T_r = 20)$	35,3
$h(T_r = 50)$	41,4

Tabella 5.4: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 30$ minuti

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	0,0	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	0,0	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	0,0	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	0,0	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	0,0	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	0,0	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	0,0	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	0,0	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	0,0	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	0,0	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	0,0	0,355	0,645	0,0	1,55
12	0,0	0,387	0,613	0,1	1,63
13	0,0	0,419	0,581	0,1	1,72
14	12,8	0,452	0,548	0,2	1,82
15	15,4	0,484	0,516	0,3	1,94
16	15,8	0,516	0,484	0,4	2,07
17	19,6	0,548	0,452	0,5	2,21
18	21,0	0,581	0,419	0,6	2,38
19	22,0	0,613	0,387	0,7	2,58
20	23,0	0,645	0,355	0,8	2,82
21	23,4	0,677	0,323	0,9	3,10
22	23,6	0,710	0,290	1,1	3,44
23	26,2	0,742	0,258	1,2	3,88
24	27,6	0,774	0,226	1,4	4,43
25	30,8	0,806	0,194	1,5	5,17
26	31,6	0,839	0,161	1,7	6,20
27	32,4	0,871	0,129	2,0	7,75
28	35,0	0,903	0,097	2,3	10,33
29	35,6	0,935	0,065	2,7	15,50
30	40,0	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	25,6
S_h	7,74
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	21,97
ALPHA	6,84

$h(T_r = 5)$	32,2
$h(T_r = 10)$	37,4
$h(T_r = 20)$	42,3
$h(T_r = 50)$	48,7

Tabella 5.5: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 45$ minuti

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	0,0	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	0,0	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	0,0	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	0,0	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	0,0	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	0,0	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	0,0	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	0,0	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	0,0	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	0,0	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	0,0	0,355	0,645	0,0	1,55
12	0,0	0,387	0,613	0,1	1,63
13	0,0	0,419	0,581	0,1	1,72
14	0,0	0,452	0,548	0,2	1,82
15	0,0	0,484	0,516	0,3	1,94
16	0,0	0,516	0,484	0,4	2,07
17	0,0	0,548	0,452	0,5	2,21
18	0,0	0,581	0,419	0,6	2,38
19	15,8	0,613	0,387	0,7	2,58
20	21,2	0,645	0,355	0,8	2,82
21	22,4	0,677	0,323	0,9	3,10
22	26,4	0,710	0,290	1,1	3,44
23	29,6	0,742	0,258	1,2	3,88
24	30,2	0,774	0,226	1,4	4,43
25	30,8	0,806	0,194	1,5	5,17
26	35,8	0,839	0,161	1,7	6,20
27	36,0	0,871	0,129	2,0	7,75
28	37,4	0,903	0,097	2,3	10,33
29	40,0	0,935	0,065	2,7	15,50
30	55,0	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	31,7
S_h	10,29
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	26,84
ALPHA	9,09

$h(T_r = 5)$	40,5
$h(T_r = 10)$	47,3
$h(T_r = 20)$	53,9
$h(T_r = 50)$	62,3

Figura 5.1: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata inferiore all'ora

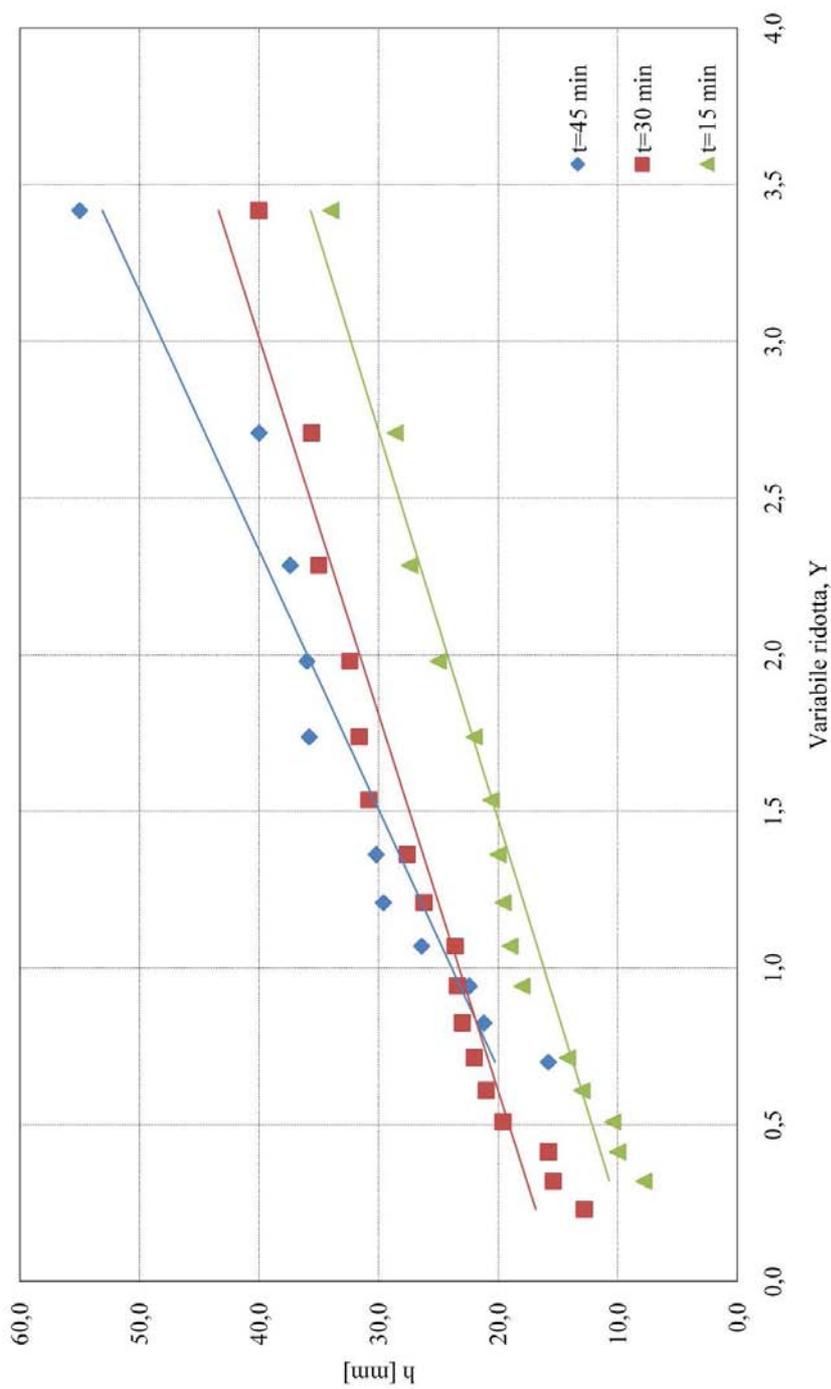


Figura 5.2: Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata inferiore all'ora



Tabella 5.6: Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate inferiori all'ora

T_r [anni]	a [mm * ore ⁻ⁿ]	n	R^2
5	44,4	0,406	0,996
10	51,2	0,385	0,988
20	57,8	0,371	0,980
50	66,4	0,356	0,969

Tabella 5.7: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 1$ ora

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	12,0	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	16,6	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	19,8	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	21,2	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	21,6	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	22,8	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	23,0	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	23,8	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	23,8	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	24,4	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	24,6	0,355	0,645	0,0	1,55
12	25,6	0,387	0,613	0,1	1,63
13	26,4	0,419	0,581	0,1	1,72
14	27,0	0,452	0,548	0,2	1,82
15	27,0	0,484	0,516	0,3	1,94
16	29,0	0,516	0,484	0,4	2,07
17	30,4	0,548	0,452	0,5	2,21
18	31,4	0,581	0,419	0,6	2,38
19	32,8	0,613	0,387	0,7	2,58
20	35,0	0,645	0,355	0,8	2,82
21	35,9	0,677	0,323	0,9	3,10
22	36,2	0,710	0,290	1,1	3,44
23	36,2	0,742	0,258	1,2	3,88
24	37,0	0,774	0,226	1,4	4,43
25	38,4	0,806	0,194	1,5	5,17
26	41,4	0,839	0,161	1,7	6,20
27	46,8	0,871	0,129	2,0	7,75
28	54,0	0,903	0,097	2,3	10,33
29	56,0	0,935	0,065	2,7	15,50
30	62,0	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	31,7
S_h	12,15
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	25,91
ALPHA	10,74

$h(T_r = 5)$	42,0
$h(T_r = 10)$	50,1
$h(T_r = 20)$	57,8
$h(T_r = 50)$	67,8

Tabella 5.8: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 3$ ore

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	21,2	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	21,8	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	24,0	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	24,6	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	27,0	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	27,6	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	28,4	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	29,2	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	31,0	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	31,6	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	32,2	0,355	0,645	0,0	1,55
12	35,0	0,387	0,613	0,1	1,63
13	36,4	0,419	0,581	0,1	1,72
14	36,5	0,452	0,548	0,2	1,82
15	38,0	0,484	0,516	0,3	1,94
16	38,8	0,516	0,484	0,4	2,07
17	39,6	0,548	0,452	0,5	2,21
18	40,2	0,581	0,419	0,6	2,38
19	40,4	0,613	0,387	0,7	2,58
20	41,2	0,645	0,355	0,8	2,82
21	43,0	0,677	0,323	0,9	3,10
22	43,2	0,710	0,290	1,1	3,44
23	43,6	0,742	0,258	1,2	3,88
24	48,8	0,774	0,226	1,4	4,43
25	50,0	0,806	0,194	1,5	5,17
26	68,6	0,839	0,161	1,7	6,20
27	71,8	0,871	0,129	2,0	7,75
28	73,4	0,903	0,097	2,3	10,33
29	77,0	0,935	0,065	2,7	15,50
30	87,0	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	41,7
S_h	17,29
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	33,51
ALPHA	15,28

$h(T_r = 5)$	56,4
$h(T_r = 10)$	67,9
$h(T_r = 20)$	78,9
$h(T_r = 50)$	93,1

Tabella 5.9: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 6$ ore

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	28,0	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	29,2	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	29,2	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	29,6	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	30,0	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	36,2	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	36,4	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	36,6	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	38,0	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	38,0	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	38,0	0,355	0,645	0,0	1,55
12	39,0	0,387	0,613	0,1	1,63
13	39,8	0,419	0,581	0,1	1,72
14	41,2	0,452	0,548	0,2	1,82
15	41,4	0,484	0,516	0,3	1,94
16	42,2	0,516	0,484	0,4	2,07
17	44,5	0,548	0,452	0,5	2,21
18	46,4	0,581	0,419	0,6	2,38
19	47,6	0,613	0,387	0,7	2,58
20	47,8	0,645	0,355	0,8	2,82
21	49,0	0,677	0,323	0,9	3,10
22	50,2	0,710	0,290	1,1	3,44
23	62,4	0,742	0,258	1,2	3,88
24	70,0	0,774	0,226	1,4	4,43
25	71,2	0,806	0,194	1,5	5,17
26	73,8	0,839	0,161	1,7	6,20
27	75,0	0,871	0,129	2,0	7,75
28	75,6	0,903	0,097	2,3	10,33
29	80,6	0,935	0,065	2,7	15,50
30	112,6	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	50,9
S_h	20,20
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	41,33
ALPHA	17,85

$h(T_r = 5)$	68,1
$h(T_r = 10)$	81,5
$h(T_r = 20)$	94,4
$h(T_r = 50)$	111,0

Tabella 5.10: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 12$ ore

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	36,8	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	37,4	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	37,8	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	38,0	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	38,6	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	39,2	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	39,6	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	40,8	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	42,2	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	42,4	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	44,0	0,355	0,645	0,0	1,55
12	44,8	0,387	0,613	0,1	1,63
13	45,0	0,419	0,581	0,1	1,72
14	47,8	0,452	0,548	0,2	1,82
15	48,4	0,484	0,516	0,3	1,94
16	48,8	0,516	0,484	0,4	2,07
17	50,4	0,548	0,452	0,5	2,21
18	54,4	0,581	0,419	0,6	2,38
19	59,8	0,613	0,387	0,7	2,58
20	60,0	0,645	0,355	0,8	2,82
21	60,0	0,677	0,323	0,9	3,10
22	65,0	0,710	0,290	1,1	3,44
23	71,2	0,742	0,258	1,2	3,88
24	76,0	0,774	0,226	1,4	4,43
25	76,4	0,806	0,194	1,5	5,17
26	77,0	0,839	0,161	1,7	6,20
27	79,6	0,871	0,129	2,0	7,75
28	80,6	0,903	0,097	2,3	10,33
29	86,0	0,935	0,065	2,7	15,50
30	116,2	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	56,0
S_h	19,56
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	46,73
ALPHA	17,29

$h(T_r = 5)$	72,7
$h(T_r = 10)$	85,6
$h(T_r = 20)$	98,1
$h(T_r = 50)$	114,2

Tabella 5.11: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 24$ ore

		CAMPIONE			
m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	37,4	0,032	0,968	-1,2	1,03
2	39,2	0,065	0,935	-1,0	1,07
3	42,4	0,097	0,903	-0,8	1,11
4	48,6	0,129	0,871	-0,7	1,15
5	48,8	0,161	0,839	-0,6	1,19
6	49,0	0,194	0,806	-0,5	1,24
7	50,2	0,226	0,774	-0,4	1,29
8	52,0	0,258	0,742	-0,3	1,35
9	52,6	0,290	0,710	-0,2	1,41
10	53,8	0,323	0,677	-0,1	1,48
11	54,4	0,355	0,645	0,0	1,55
12	54,8	0,387	0,613	0,1	1,63
13	55,4	0,419	0,581	0,1	1,72
14	57,0	0,452	0,548	0,2	1,82
15	57,2	0,484	0,516	0,3	1,94
16	60,6	0,516	0,484	0,4	2,07
17	68,0	0,548	0,452	0,5	2,21
18	68,6	0,581	0,419	0,6	2,38
19	70,0	0,613	0,387	0,7	2,58
20	71,2	0,645	0,355	0,8	2,82
21	73,6	0,677	0,323	0,9	3,10
22	77,6	0,710	0,290	1,1	3,44
23	81,5	0,742	0,258	1,2	3,88
24	82,8	0,774	0,226	1,4	4,43
25	87,0	0,806	0,194	1,5	5,17
26	87,5	0,839	0,161	1,7	6,20
27	88,8	0,871	0,129	2,0	7,75
28	96,6	0,903	0,097	2,3	10,33
29	97,0	0,935	0,065	2,7	15,50
30	116,2	0,968	0,032	3,4	31,00

N° DATI	30
h_m	66,0
S_h	19,41
Y_N	0,5362
S_N	1,1314
MODA	56,80
ALPHA	17,15

$h(T_r = 5)$	82,5
$h(T_r = 10)$	95,4
$h(T_r = 20)$	107,7
$h(T_r = 50)$	123,7

Figura 5.3: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata oraria

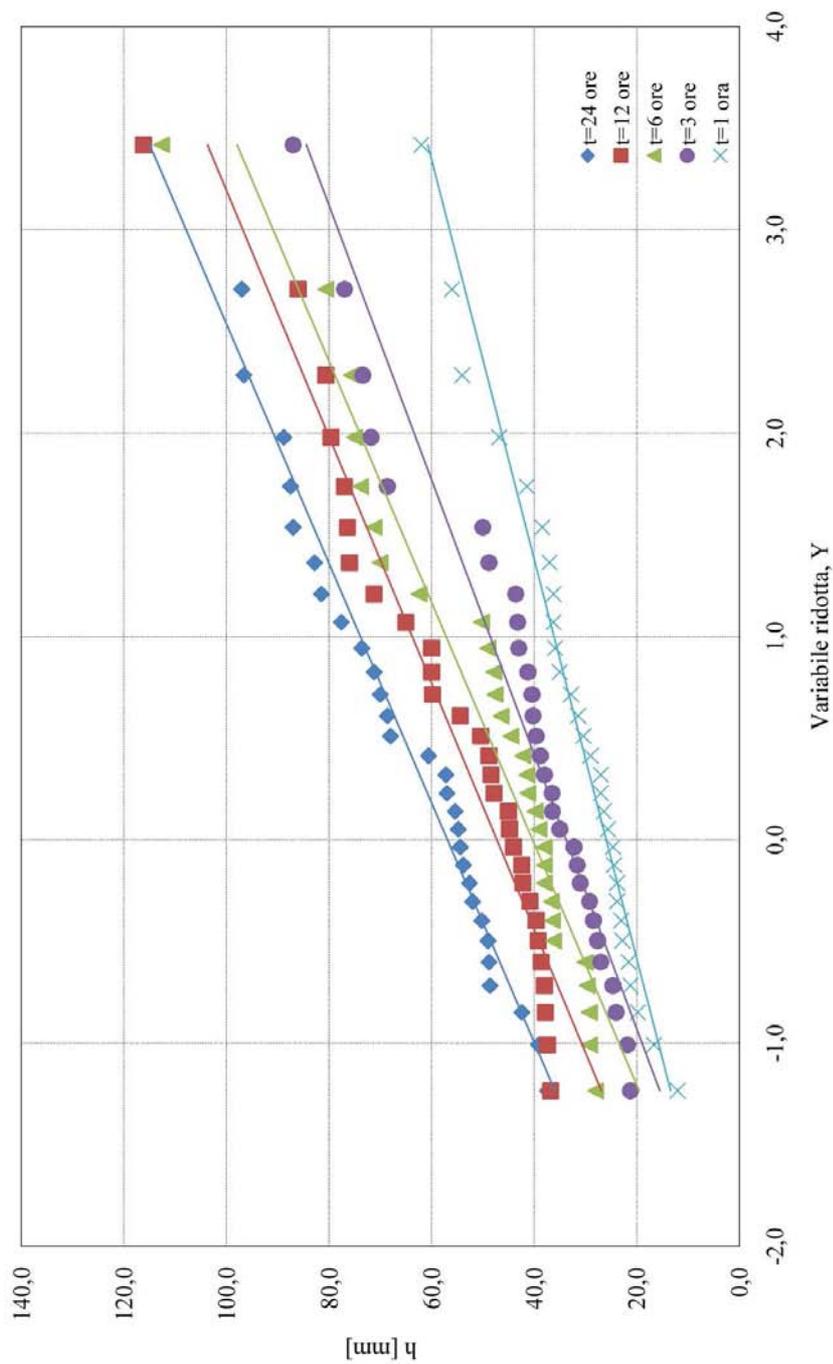


Figura 5.4: Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata oraria

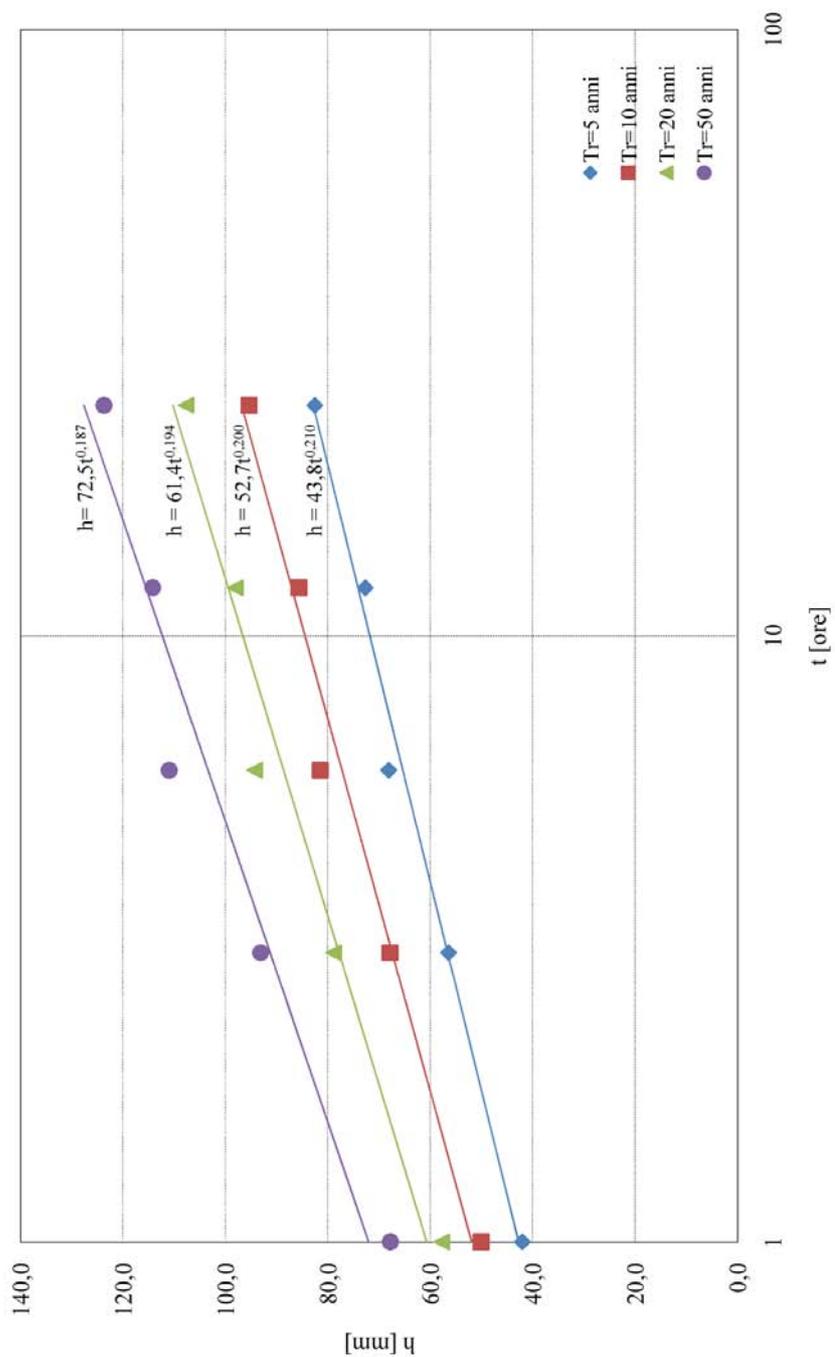


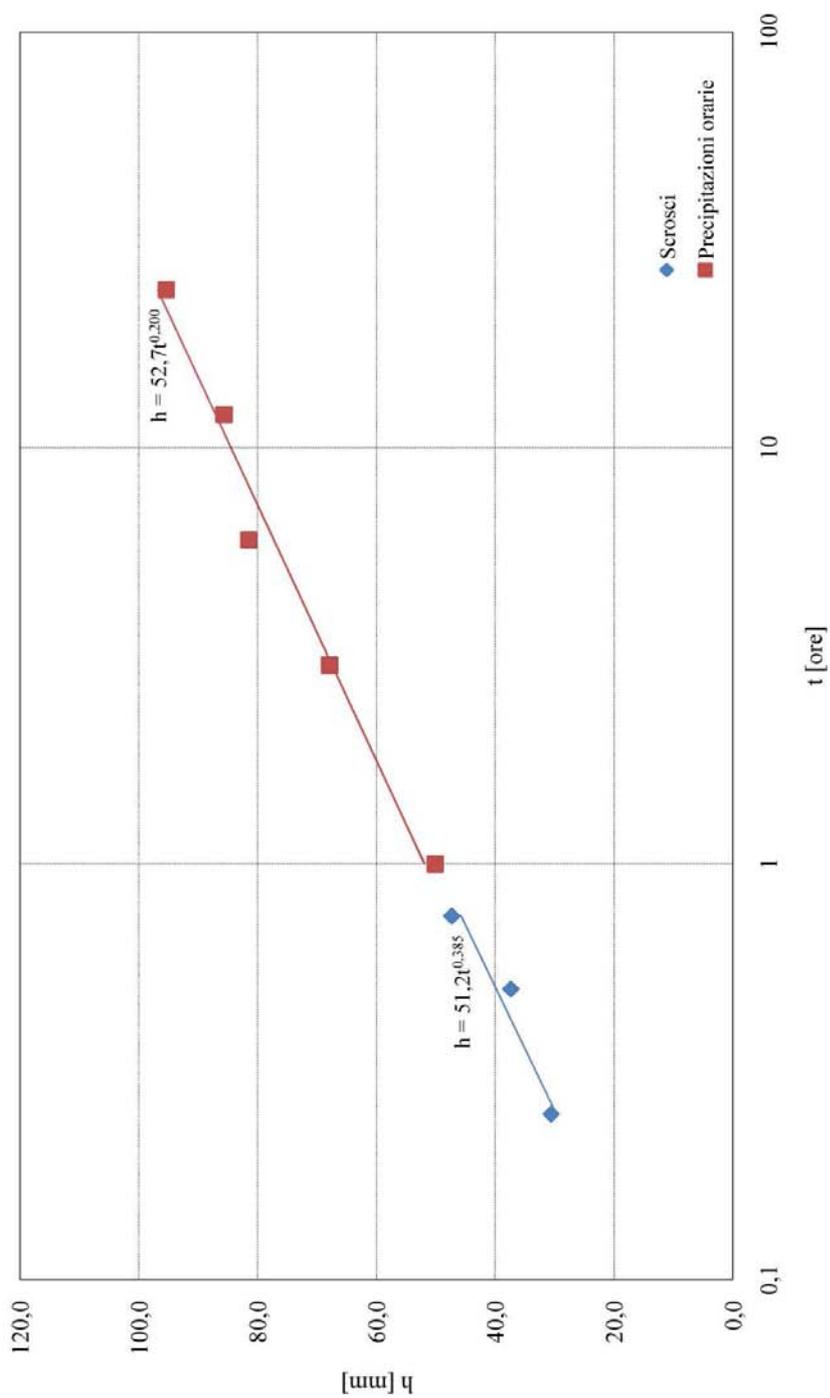
Figura 5.5: Equazione di possibilità pluviometrica - $T_r=10$ anni

Tabella 5.12: Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate dell'ordine dell'ora

T_r [anni]	a [mm * ore ⁻ⁿ]	n	R^2
5	43,8	0,210	0,990
10	52,7	0,200	0,979
20	61,4	0,194	0,967
50	72,5	0,187	0,951

5.1.2 Stazioni C.M.T. anni 1994-2008

La seconda stazione pluviografica considerata è sempre di Padova, Orto Botanico. In Tabella 5.13 sono rappresentati i valori di precipitazione per durate di scrosci (15 minuti, 30 minuti, 45 minuti), e piogge di durata oraria (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore), ordinati in ordine cronologico. I dati ancora regolarizzati con il metodo di Gumbel. Qui come sottolineato precedentemente, la serie è ridotta, sufficiente ad un'analisi, essendo più di 10 dati, ma suscettibile a forti variazioni causata da rilevazioni molto distanti dalla media di precipitazione per durata di pioggia. Si è comunque confrontato il risultato ottenuto con le curve di possibilità pluviometrica fornite dal centro studi stesso, che si discosta di poco da quelli prodotti dal presente calcolo. Nell'applicazione successiva quindi sono stati considerati validi i risultati ottenuti ed implementati per un confronto diretto con i risultati forniti dalla stazione pluviometrica di Padova.

Tabella 5.13: Precipitazioni di notevole intensità e breve durata e di massima intensità registrate nella stazione pluviografica di Padova - Orto Botanico

anno	t=15 min	t=30 min	t=45 min	t=1 ora	t=3 ore	t=6 ore	t=12 ore	t=24 ore
1994	12.9	25.8	38.7	51.6	71.6	81.8	82.2	97.4
1995	7.9	15.8	23.7	31.6	39.2	40.6	43.8	76.0
1996	5.3	10.7	16.1	21.4	34.6	43.4	69.4	81.6
1997	5.5	11.0	16.5	22.0	33.8	33.8	33.8	41.2
1998	5.0	10.0	15.0	20.0	36.6	48.8	55.2	65.0
1999	4.3	8.5	12.8	17.0	22.6	25.4	34.6	50.8
2000	23.8	31.8	34.8	35.0	36.4	44.6	54.2	77.2
2001	24.0	29.4	32.2	33.2	43.6	48.8	60.4	70.0
2002	19.8	24.8	38.8	40.4	49.8	50.2	62.0	62.6
2003	13.4	15.4	15.4	15.8	24.2	27.8	40.4	59.6
2004	24.2	30.0	30.6	31.0	44.8	49.8	53.6	73.6
2005	26.4	32.8	48.8	56.8	70.2	70.2	88.8	107.0
2006	20.4	37.5	44.0	45.8	57.4	90.2	107.8	116.8
2007	20.4	28.2	32.8	35.0	35.8	42.0	58.6	58.6
2008	21.6	25.0	27.4	40.4	50.8	50.8	67.4	85.2

Tabella 5.14: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 15$ minuti

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	4.3	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	5.0	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	5.3	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	5.5	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	7.9	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	12.9	0.375	0.625	0.02	1.60
7	13.4	0.438	0.563	0.19	1.78
8	19.8	0.500	0.500	0.37	2.00
9	20.4	0.563	0.438	0.55	2.29
10	20.4	0.625	0.375	0.76	2.67
11	21.6	0.688	0.313	0.98	3.20
12	23.8	0.750	0.250	1.25	4.00
13	24.0	0.813	0.188	1.57	5.33
14	24.2	0.875	0.125	2.01	8.00
15	26.4	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	15,4
S_h	8,23
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	11,37
ALPHA	7,73

$h(T_r = 5)$	23,0
$h(T_r = 10)$	28,8
$h(T_r = 20)$	34,3
$h(T_r = 50)$	41,5

Precipitazioni brevi ed intense - Orto Botanico

I risultati intermedi e definitivi dell'elaborazione di calcolo sono riportati nelle Tabelle 5.14, 5.15 e 5.16. La Figura 5.6 mostra i risultati ottenuti. Per ciascun tempo di ritorno T_r si è provveduto a calcolare l'equazione di possibilità pluviometrica mediante interpolazione su carta bilogarithmica. I risultati ottenuti sono presentati nella Tabella 5.17 la quale fornisce, al variare del tempo di ritorno T_r , i valori di a e n nell'equazione $h = at^n$. La durata t è espressa come frazione di ora. La Figura 5.7 illustra i risultati dell'elaborazione per $T_r=5, 10, 20$ e 50 anni.

Tabella 5.15: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 30$ minuti

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	8.5	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	10.0	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	10.7	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	11.0	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	15.4	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	15.8	0.375	0.625	0.02	1.60
7	24.8	0.438	0.563	0.19	1.78
8	25.0	0.500	0.500	0.37	2.00
9	25.8	0.563	0.438	0.55	2.29
10	28.2	0.625	0.375	0.76	2.67
11	29.4	0.688	0.313	0.98	3.20
12	30.0	0.750	0.250	1.25	4.00
13	31.8	0.813	0.188	1.57	5.33
14	32.8	0.875	0.125	2.01	8.00
15	37.5	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	23,0
S_h	9,62
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	18,34
ALPHA	9,04

$h(T_r = 5)$	31,9
$h(T_r = 10)$	38,7
$h(T_r = 20)$	45,2
$h(T_r = 50)$	53,6

Tabella 5.16: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 45$ minuti

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	12.8	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	15.0	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	15.4	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	16.1	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	16.5	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	23.7	0.375	0.625	0.02	1.60
7	27.4	0.438	0.563	0.19	1.78
8	30.6	0.500	0.500	0.37	2.00
9	32.2	0.563	0.438	0.55	2.29
10	32.8	0.625	0.375	0.76	2.67
11	34.8	0.688	0.313	0.98	3.20
12	38.7	0.750	0.250	1.25	4.00
13	38.8	0.813	0.188	1.57	5.33
14	44.0	0.875	0.125	2.01	8.00
15	48.8	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	30,8
S_h	11,53
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	25,22
ALPHA	10,83

$h(T_r = 5)$	41,5
$h(T_r = 10)$	49,6
$h(T_r = 20)$	57,4
$h(T_r = 50)$	67,5

Tabella 5.17: Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate inferiori all'ora

Tr [anni]	a	n
5	47.7	0.536
10	56.3	0.495
20	64.7	0.467
50	75.5	0.442

Figura 5.6: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata inferiore all'ora

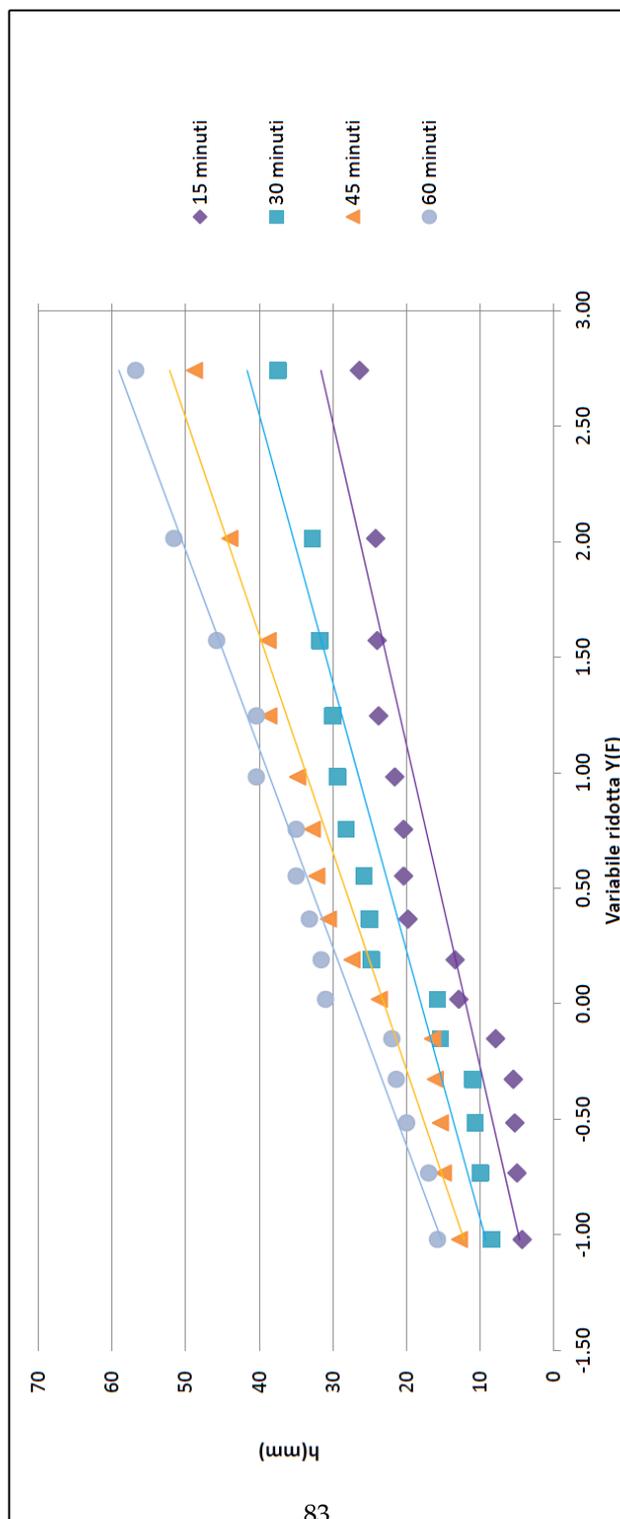


Figura 5.7: Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata inferiore all'ora

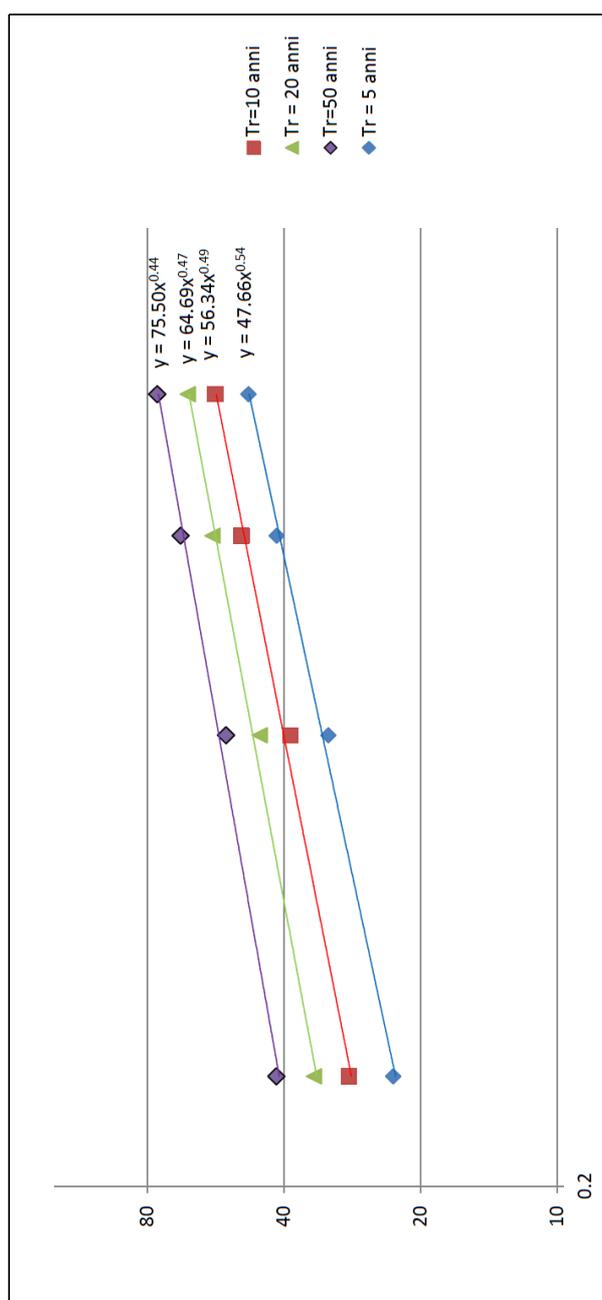


Tabella 5.18: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 1$ ora

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	15.8	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	17.0	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	20.0	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	21.4	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	22.0	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	31.0	0.375	0.625	0.02	1.60
7	31.6	0.438	0.563	0.19	1.78
8	33.2	0.500	0.500	0.37	2.00
9	35.0	0.563	0.438	0.55	2.29
10	35.0	0.625	0.375	0.76	2.67
11	40.4	0.688	0.313	0.98	3.20
12	40.4	0.750	0.250	1.25	4.00
13	45.8	0.813	0.188	1.57	5.33
14	51.6	0.875	0.125	2.01	8.00
15	56.8	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	36,3
S_h	12,47
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	30,26
ALPHA	11,71

$h(T_r = 5)$	47,8
$h(T_r = 10)$	56,6
$h(T_r = 20)$	65,1
$h(T_r = 50)$	76,0

Precipitazioni di durata oraria - Orto Botanico

I risultati intermedi e definitivi dell'elaborazione di calcolo sono riportati nelle Tabelle 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22.

La Figura 5.8 mostra i risultati ottenuti. Per ciascun tempo di ritorno T_r si è provveduto a calcolare l'equazione di possibilità pluviometrica mediante interpolazione su carta bilogaritmica. I risultati ottenuti sono presentati nella Tabella 5.23 la quale fornisce, al variare del tempo di ritorno T_r , i valori di a e n nell'equazione $h = at^n$. La durata t è espressa come frazione di ora.

La Figura 5.9 illustra i risultati dell'elaborazione per $T_r=5, 10, 20$ e 50 anni.

In Figura 5.10 sono rappresentate, a confronto, le equazioni di possibilità pluviometrica relative agli scrosci ed alle precipitazioni di durata oraria per un tempo di ritorno $T_r=10$ anni.

Tabella 5.19: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 3$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	22.6	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	24.2	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	33.8	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	34.6	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	35.8	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	36.4	0.375	0.625	0.02	1.60
7	36.6	0.438	0.563	0.19	1.78
8	39.2	0.500	0.500	0.37	2.00
9	43.6	0.563	0.438	0.55	2.29
10	44.8	0.625	0.375	0.76	2.67
11	49.8	0.688	0.313	0.98	3.20
12	50.8	0.750	0.250	1.25	4.00
13	57.4	0.813	0.188	1.57	5.33
14	70.2	0.875	0.125	2.01	8.00
15	71.6	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	47,1
S_h	14,51
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	40,07
ALPHA	13,63

$h(T_r = 5)$	60,5
$h(T_r = 10)$	70,8
$h(T_r = 20)$	80,6
$h(T_r = 50)$	93,3

Tabella 5.20: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 6$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	25.4	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	27.8	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	33.8	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	40.6	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	42.0	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	43.4	0.375	0.625	0.02	1.60
7	44.6	0.438	0.563	0.19	1.78
8	48.8	0.500	0.500	0.37	2.00
9	48.8	0.563	0.438	0.55	2.29
10	49.8	0.625	0.375	0.76	2.67
11	50.2	0.688	0.313	0.98	3.20
12	50.8	0.750	0.250	1.25	4.00
13	70.2	0.813	0.188	1.57	5.33
14	81.8	0.875	0.125	2.01	8.00
15	90.2	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	57,8
S_h	18,17
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	49,00
ALPHA	17,07

$h(T_r = 5)$	74,6
$h(T_r = 10)$	87,4
$h(T_r = 20)$	99,7
$h(T_r = 50)$	115,6

Tabella 5.21: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 12$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	33.8	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	34.6	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	40.4	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	43.8	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	53.6	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	54.2	0.375	0.625	0.02	1.60
7	55.2	0.438	0.563	0.19	1.78
8	58.6	0.500	0.500	0.37	2.00
9	60.4	0.563	0.438	0.55	2.29
10	62.0	0.625	0.375	0.76	2.67
11	67.4	0.688	0.313	0.98	3.20
12	69.4	0.750	0.250	1.25	4.00
13	82.2	0.813	0.188	1.57	5.33
14	88.8	0.875	0.125	2.01	8.00
15	107.8	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	70,8
S_h	20,39
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	60,93
ALPHA	19,16

$h(T_r = 5)$	89,7
$h(T_r = 10)$	104,0
$h(T_r = 20)$	117,8
$h(T_r = 50)$	135,7

Tabella 5.22: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 24$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	41.2	0.063	0.938	-1.02	1.07
2	50.8	0.125	0.875	-0.73	1.14
3	58.6	0.188	0.813	-0.52	1.23
4	59.6	0.250	0.750	-0.33	1.33
5	62.6	0.313	0.688	-0.15	1.45
6	65.0	0.375	0.625	0.02	1.60
7	70.0	0.438	0.563	0.19	1.78
8	73.6	0.500	0.500	0.37	2.00
9	76.0	0.563	0.438	0.55	2.29
10	77.2	0.625	0.375	0.76	2.67
11	81.6	0.688	0.313	0.98	3.20
12	85.2	0.750	0.250	1.25	4.00
13	97.4	0.813	0.188	1.57	5.33
14	107.0	0.875	0.125	2.01	8.00
15	116.8	0.938	0.063	2.74	16.00

N° DATI	15
h_m	79,0
S_h	20,26
Y_N	0,5154
S_N	1,0644
MODA	69,03
ALPHA	19,35

$h(T_r = 5)$	98,1
$h(T_r = 10)$	112,6
$h(T_r = 20)$	126,5
$h(T_r = 50)$	144,5

Figura 5.8: Stazione Orto Botanico: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata oraria

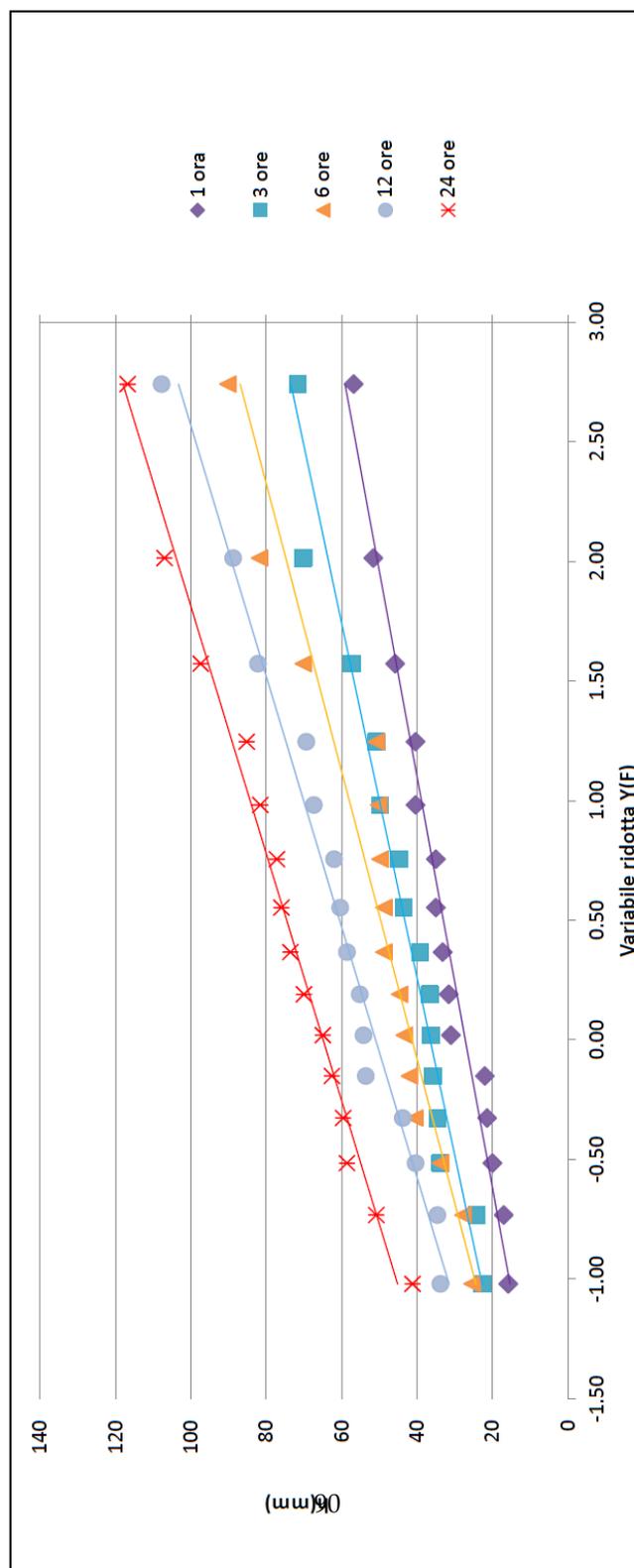


Figura 5.9: Stazione Orto Botanico: Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata oraria

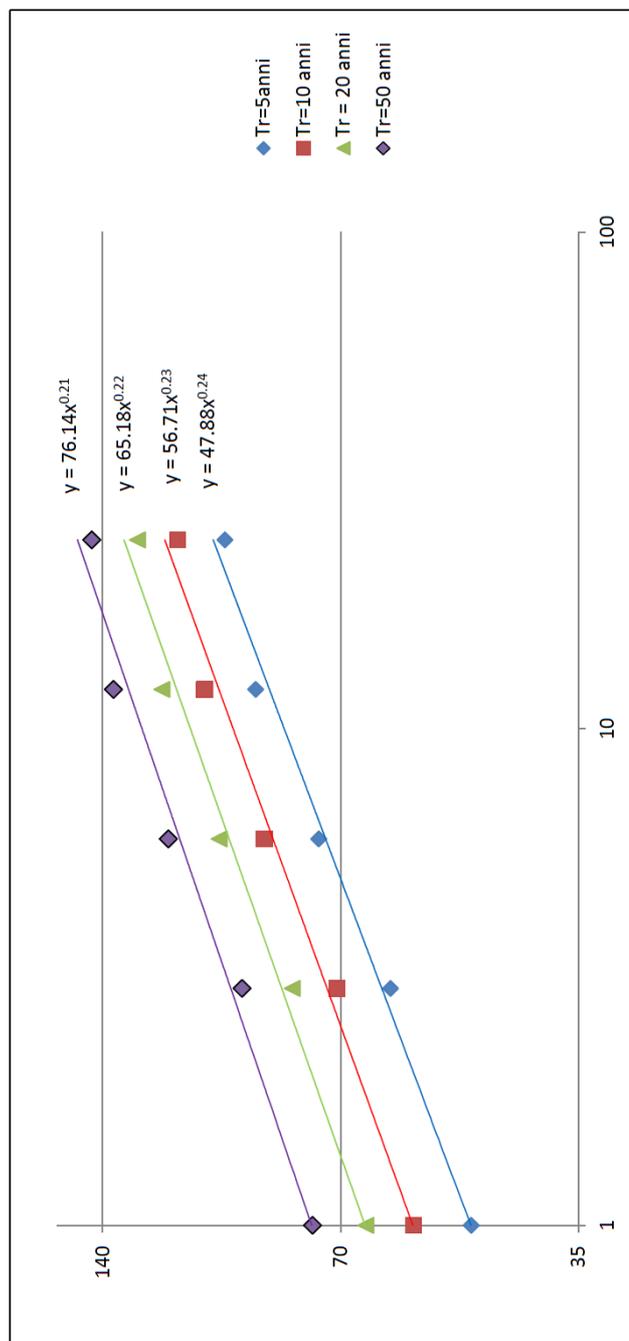
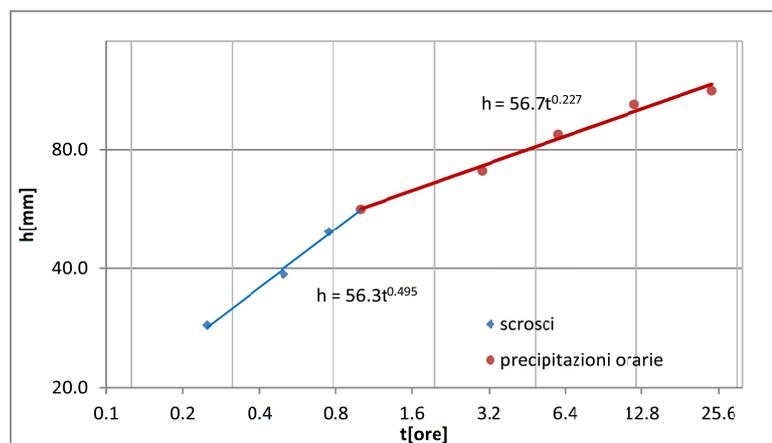


Figura 5.10: Equazione di possibilità pluviometrica - $T_r=10$ anniTabella 5.23: Stazione Orto Botanico: Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate dell'ordine dell'ora

Tr [anni]	a	n
5	47.9	0.236
10	56.7	0.227
20	65.2	0.221
50	76.1	0.214

Precipitazioni breve ed intense - Stazione Legnaro

Infine si considerano anche i risultati ottenuti con la medesima metodologia dai dati provenienti dalla stazione di Legnaro. Le differenze in questo caso sono effettivamente notevoli rispetto entrambe le analisi precedenti, date comunque da risultati molto discostanti negli anni 2006 - 2007 e da distanza geografica significativa. Si è proseguito comunque ad un'analisi come per le precedenti. I risultati però, discostandosi di molto da quelli ottenuti per Orto Botanico in primis e SMTN poi, non sono stati utilizzati per lo studio successivo.

La tabella 5.24 riporta gli elementi ordinati in senso cronologico. I dati regolarizzati con il metodo di Gumbel.

I risultati intermedi e definitivi dell'elaborazione di calcolo sono riportati nelle Tabelle 5.25, 4.26 e 4.27. La Figura 5.11 mostra i risultati ottenuti. Per ciascun tempo di ritorno T_r , si è provveduto a calcolare l'equazione di possibilità pluviometrica mediante interpolazione su carta bilogarithmica. I risultati ottenuti sono presentati nella Tabella 5.28 la quale fornisce, al variare del tempo di ritorno T_r , i valori di a e n nell'equazione $h = at^n$. La durata t è espressa come frazione di ora. La Figura 5.12 illustra i risultati dell'elaborazione per $T_r=5, 10, 20$ e 50 anni.

Tabella 5.24: Precipitazioni di notevole intensità e breve durata e di massima intensità registrate nella stazione pluviografica di Padova - Legnaro

anno	t=15 min	t=30 min	t=45 min	t=1 ora	t=3 ore	t=6 ore	t=12 ore	t=24 ore
1992	19.2	34.4	45.0	50.0	54.0	66.2	81.2	92.0
1993	21.8	30.8	33.8	35.0	38.4	38.4	38.4	52.2
1994	32.6	52.8	59.8	61.4	75.2	84.0	84.2	90.2
1995	23.4	29.8	35.4	37.4	37.8	42.2	43.6	56.8
1996	12.8	16.8	18.4	20.6	27.0	32.8	43.0	53.4
1997	15.8	22.4	25.0	25.6	27.0	30.4	30.4	33.6
1998	25.2	25.6	29.4	30.4	40.6	50.4	58.6	58.6
1999	19.4	29.8	33.8	35.0	35.2	58.8	81.6	84.0
2000	13.8	20.6	23.4	24.2	31.4	51.0	57.2	72.8
2001	15.4	24.0	29.2	31.8	46.8	51.8	67.8	83.8
2002	36.0	58.0	67.6	71.2	74.4	82.4	82.4	82.4
2003	22.6	25.2	25.4	25.6	28.0	28.0	30.6	42.0
2004	34.6	46.0	49.2	50.0	52.4	54.6	54.6	58.6
2005	35.4	45.0	46.0	46.2	51.4	61.8	82.4	85.0
2006	19.4	27.2	28.4	29.0	32.8	62.6	74.6	86.0
2007	17.6	31.6	36.2	39.2	55.6	58.2	69.0	69.0
2008	22.6	22.6	22.6	31.2	39.2	39.2	47.6	48.8

Tabella 5.25: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 15$ minuti

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	12.8	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	13.8	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	15.4	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	15.8	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	17.6	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	19.2	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	19.4	0.389	0.611	0.06	1.45
8	19.4	0.444	0.556	0.21	1.60
9	21.8	0.500	0.500	0.37	1.78
10	22.6	0.556	0.444	0.53	2.00
11	22.6	0.611	0.389	0.71	2.29
12	23.4	0.667	0.333	0.90	2.67
13	25.2	0.722	0.278	1.12	3.20
14	32.6	0.778	0.222	1.38	4.00
15	34.6	0.833	0.167	1.70	5.33
16	35.4	0.889	0.111	2.14	8.00
17	36.0	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	24,4
S_h	7,60
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	20,73
ALPHA	7,09

$h(T_r = 5)$	31,4
$h(T_r = 10)$	36,7
$h(T_r = 20)$	41,8
$h(T_r = 50)$	48,4

Tabella 5.26: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 30$ minuti

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	16.8	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	20.6	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	22.4	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	22.6	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	24.0	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	25.2	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	25.6	0.389	0.611	0.06	1.45
8	27.2	0.444	0.556	0.21	1.60
9	29.8	0.500	0.500	0.37	1.78
10	29.8	0.556	0.444	0.53	2.00
11	30.8	0.611	0.389	0.71	2.29
12	31.6	0.667	0.333	0.90	2.67
13	34.4	0.722	0.278	1.12	3.20
14	45.0	0.778	0.222	1.38	4.00
15	46.0	0.833	0.167	1.70	5.33
16	52.8	0.889	0.111	2.14	8.00
17	58.0	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	37,4
S_h	11,74
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	31,73
ALPHA	10,96

$h(T_r = 5)$	48,2
$h(T_r = 10)$	56,4
$h(T_r = 20)$	64,3
$h(T_r = 50)$	74,5

Tabella 5.27: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 45$ minuti

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	18.4	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	22.6	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	23.4	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	25.0	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	25.4	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	28.4	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	29.2	0.389	0.611	0.06	1.45
8	29.4	0.444	0.556	0.21	1.60
9	33.8	0.500	0.500	0.37	1.78
10	33.8	0.556	0.444	0.53	2.00
11	35.4	0.611	0.389	0.71	2.29
12	36.2	0.667	0.333	0.90	2.67
13	45.0	0.722	0.278	1.12	3.20
14	46.0	0.778	0.222	1.38	4.00
15	49.2	0.833	0.167	1.70	5.33
16	59.8	0.889	0.111	2.14	8.00
17	67.6	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	43,0
S_h	13,60
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	36,43
ALPHA	12,69

$h(T_r = 5)$	55,5
$h(T_r = 10)$	65
$h(T_r = 20)$	74,1
$h(T_r = 50)$	85,9

Tabella 5.28: Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate inferiori all'ora

Tr [anni]	a	n
5	61,8	0.0461
10	72,2	0.459
20	82,2	0.458
50	95,1	0.456

Figura 5.11: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata inferiore all'ora

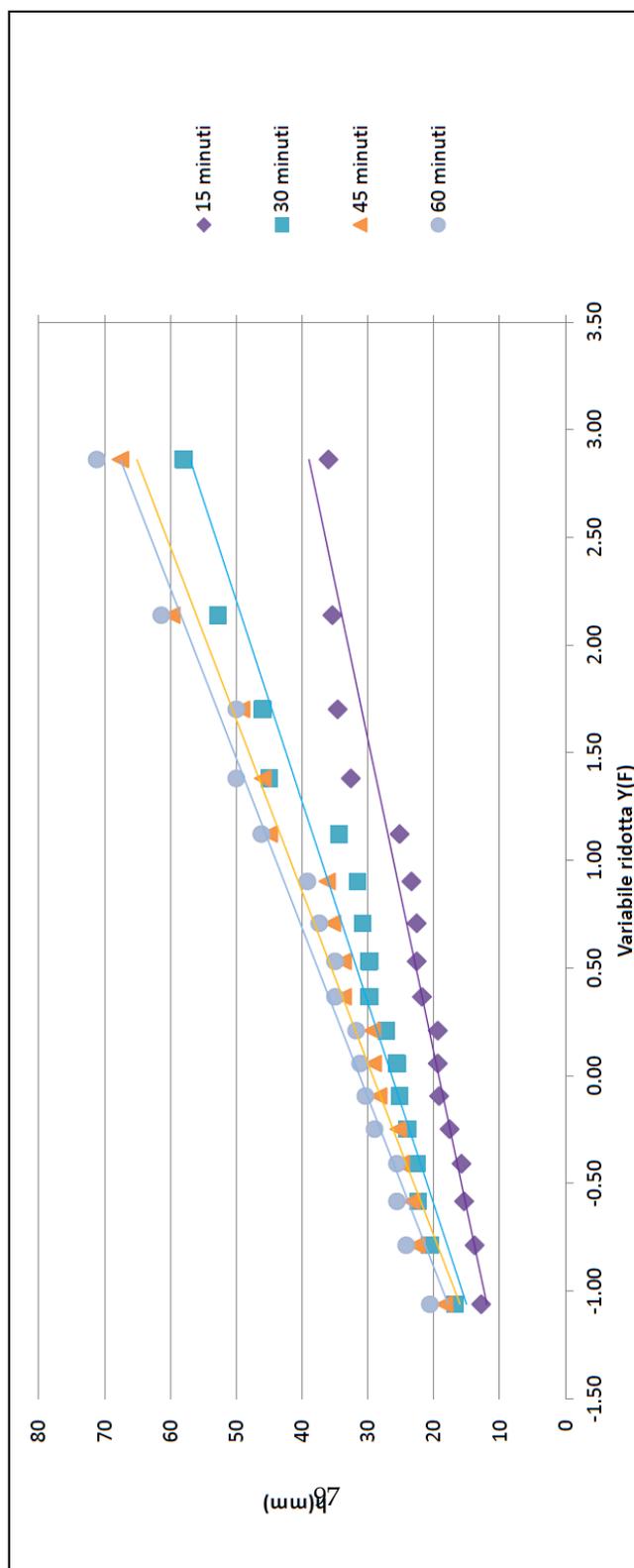
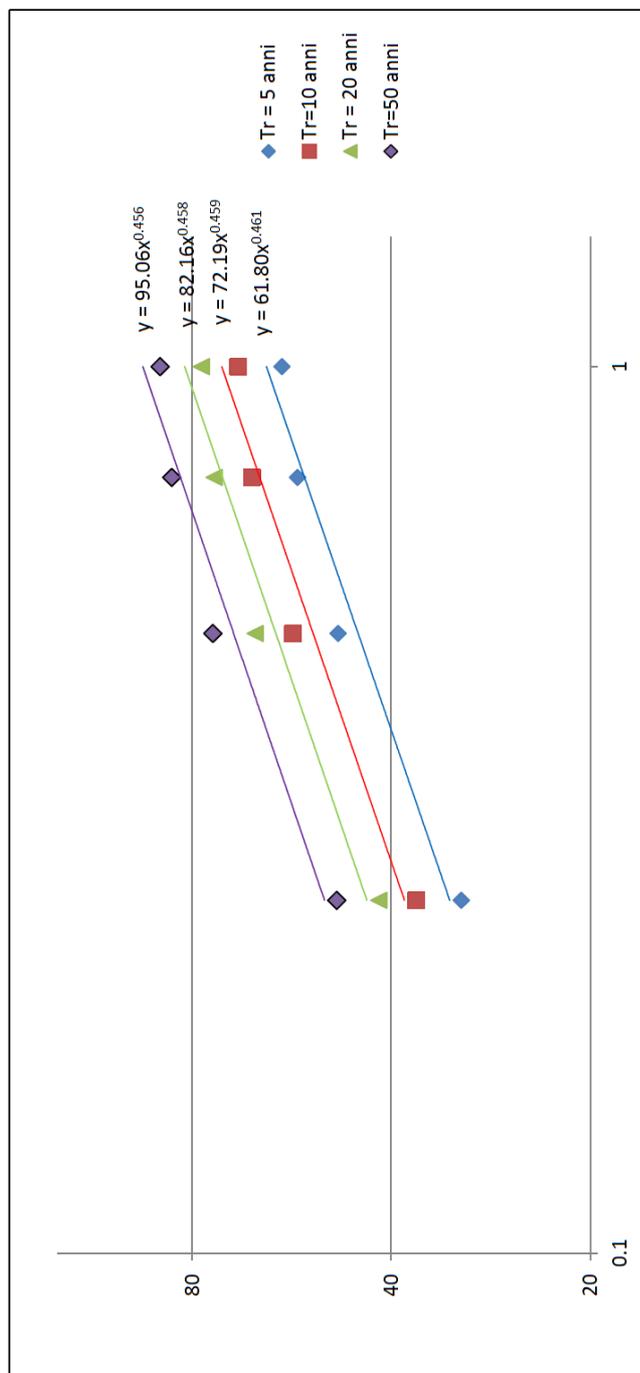


Figura 5.12: Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata inferiore all'ora



Precipitazioni di durata oraria - Legnaro

I risultati intermedi e definitivi dell'elaborazione di calcolo sono riportati nelle Tabelle 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 e 5.33.

La Figura 4.3 mostra i risultati ottenuti. Per ciascun tempo di ritorno T_r si è provveduto a calcolare l'equazione di possibilità pluviometrica mediante interpolazione su carta bilogarithmica.

I risultati ottenuti sono presentati nella Tabella 5.34 la quale fornisce, al variare del tempo di ritorno T_r , i valori di a e n nell'equazione $h = at^n$. La durata t è espressa come frazione di ora.

La Figura 5.14 illustra i risultati dell'elaborazione per $T_r=5, 10, 20$ e 50 anni.

Tabella 5.29: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 1$ ora

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	20.6	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	24.2	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	25.6	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	25.6	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	29.0	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	30.4	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	31.2	0.389	0.611	0.06	1.45
8	31.8	0.444	0.556	0.21	1.60
9	35.0	0.500	0.500	0.37	1.78
10	35.0	0.556	0.444	0.53	2.00
11	37.4	0.611	0.389	0.71	2.29
12	39.2	0.667	0.333	0.90	2.67
13	46.2	0.722	0.278	1.12	3.20
14	50.0	0.778	0.222	1.38	4.00
15	50.0	0.833	0.167	1.70	5.33
16	61.4	0.889	0.111	2.14	8.00
17	71.2	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	45,9
S_h	13,80
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	39,23
ALPHA	12,88

$h(T_r = 5)$	58,6
$h(T_r = 10)$	68,2
$h(T_r = 20)$	77,5
$h(T_r = 50)$	89,5

Tabella 5.30: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 3$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	27.0	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	27.0	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	28.0	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	31.4	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	32.8	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	35.2	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	37.8	0.389	0.611	0.06	1.45
8	38.4	0.444	0.556	0.21	1.60
9	39.2	0.500	0.500	0.37	1.78
10	40.6	0.556	0.444	0.53	2.00
11	46.8	0.611	0.389	0.71	2.29
12	51.4	0.667	0.333	0.90	2.67
13	52.4	0.722	0.278	1.12	3.20
14	54.0	0.778	0.222	1.38	4.00
15	55.6	0.833	0.167	1.70	5.33
16	74.4	0.889	0.111	2.14	8.00
17	75.2	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	51,1
S_h	14,93
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	43,89
ALPHA	13,93

$h(T_r = 5)$	64,8
$h(T_r = 10)$	75,2
$h(T_r = 20)$	85,3
$h(T_r = 50)$	98,2

Tabella 5.31: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 6$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	28.0	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	30.4	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	32.8	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	38.4	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	39.2	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	42.2	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	50.4	0.389	0.611	0.06	1.45
8	51.0	0.444	0.556	0.21	1.60
9	51.8	0.500	0.500	0.37	1.78
10	54.6	0.556	0.444	0.53	2.00
11	58.2	0.611	0.389	0.71	2.29
12	58.8	0.667	0.333	0.90	2.67
13	61.8	0.722	0.278	1.12	3.20
14	62.6	0.778	0.222	1.38	4.00
15	66.2	0.833	0.167	1.70	5.33
16	82.4	0.889	0.111	2.14	8.00
17	84.0	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	56,0
S_h	16,40,17
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	48,08
ALPHA	15,31

$h(T_r = 5)$	71,0
$h(T_r = 10)$	82,5
$h(T_r = 20)$	93,5
$h(T_r = 50)$	107,8

Tabella 5.32: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 12$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	30.4	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	30.6	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	38.4	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	43.0	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	43.6	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	47.6	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	54.6	0.389	0.611	0.06	1.45
8	57.2	0.444	0.556	0.21	1.60
9	58.6	0.500	0.500	0.37	1.78
10	67.8	0.556	0.444	0.53	2.00
11	69.0	0.611	0.389	0.71	2.29
12	74.6	0.667	0.333	0.90	2.67
13	81.2	0.722	0.278	1.12	3.20
14	81.6	0.778	0.222	1.38	4.00
15	82.4	0.833	0.167	1.70	5.33
16	82.4	0.889	0.111	2.14	8.00
17	84.2	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	57,3
S_h	19,06
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	48,09
ALPHA	17,79

$h(T_r = 5)$	74,8
$h(T_r = 10)$	88,1
$h(T_r = 20)$	100,9
$h(T_r = 50)$	117,5

Tabella 5.33: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - durata $t = 24$ ore

m	$h[mm]$	$F = m/(n + 1)$	$1 - F$	$Y(F)$	T_r
1	33.6	0.056	0.944	-1.06	0.94
2	42.0	0.111	0.889	-0.79	1.00
3	48.8	0.167	0.833	-0.58	1.07
4	52.2	0.222	0.778	-0.41	1.14
5	53.4	0.278	0.722	-0.25	1.23
6	56.8	0.333	0.667	-0.09	1.33
7	58.6	0.389	0.611	0.06	1.45
8	58.6	0.444	0.556	0.21	1.60
9	69.0	0.500	0.500	0.37	1.78
10	72.8	0.556	0.444	0.53	2.00
11	82.4	0.611	0.389	0.71	2.29
12	83.8	0.667	0.333	0.90	2.67
13	84.0	0.722	0.278	1.12	3.20
14	85.0	0.778	0.222	1.38	4.00
15	86.0	0.833	0.167	1.70	5.33
16	90.2	0.889	0.111	2.14	8.00
17	92.0	0.944	0.056	2.86	16.00

N° DATI	17
h_m	62,8
S_h	18,39
Y_N	0,5177
S_N	1,0717
MODA	53,92
ALPHA	17,16

$h(T_r = 5)$	79,7
$h(T_r = 10)$	92,5
$h(T_r = 20)$	104,9
$h(T_r = 50)$	120,9

Figura 5.13: Elaborazione delle precipitazioni con il metodo di Gumbel - eventi di durata oraria

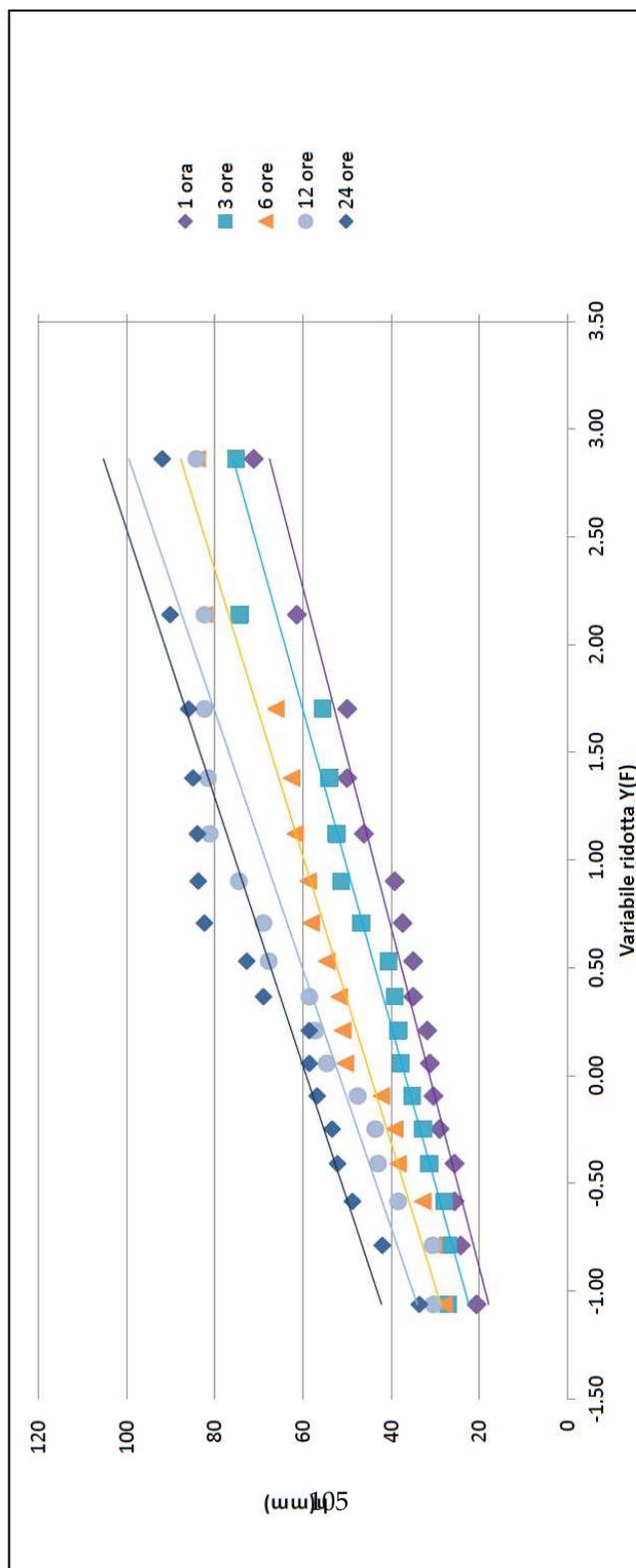


Figura 5.14: Equazione di possibilità pluviometrica - eventi di durata oraria

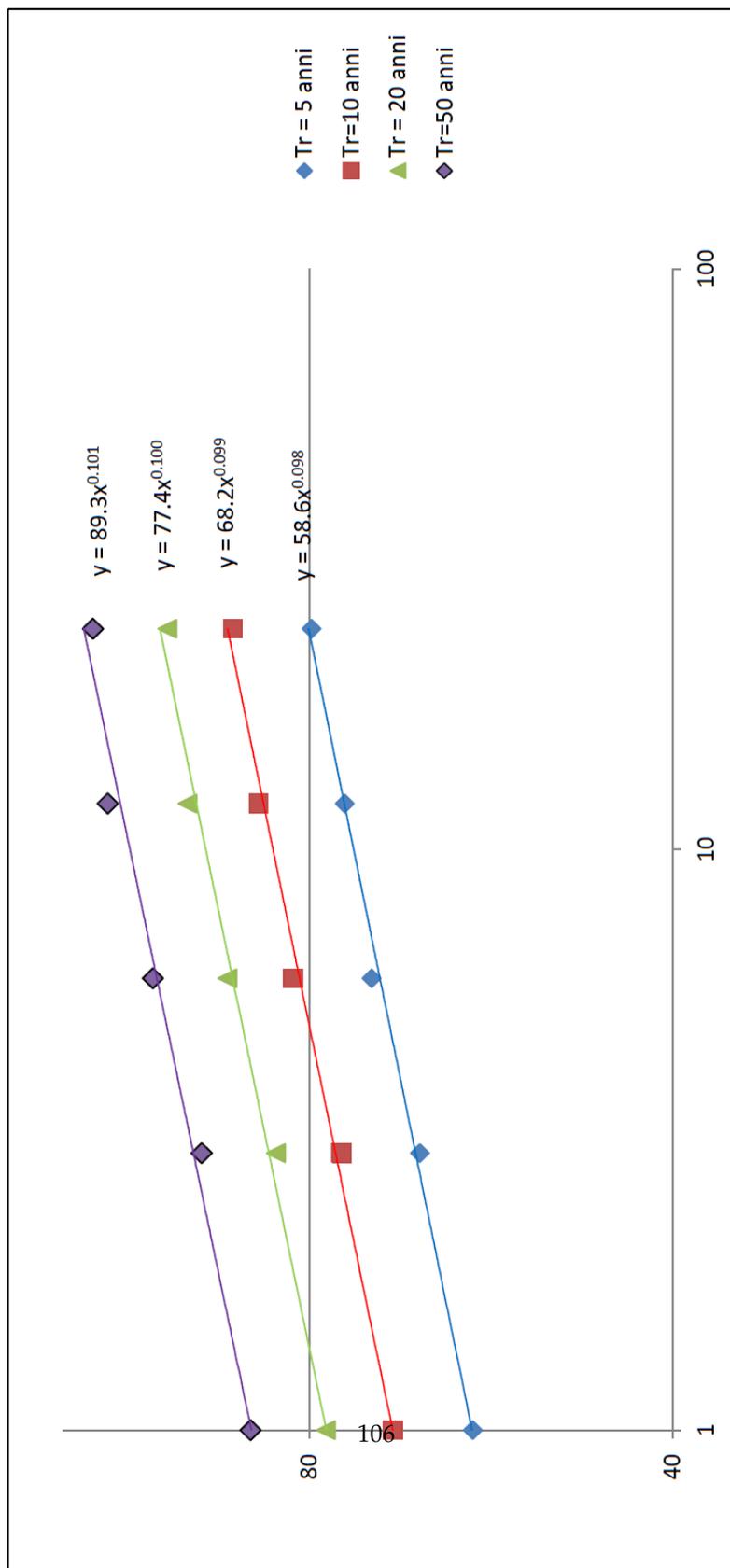


Tabella 5.34: Valori di a e di n al variare del tempo di ritorno per durate dell'ordine dell'ora

Tr [anni]	a	n
5	58.6	0.098
10	68.2	0.099
20	77.4	0.100
50	89.3	0.101

Capitolo 6

Il modello Geomorfologico

6.1 I modelli di trasformazione afflussi/deflussi

Il problema della trasformazione degli afflussi di precipitazione ad un bacino idrologico nei deflussi alla sua sezione di chiusura si traduce nella ricerca di un operatore $F(\theta, t, \tau)$ che effettui la trasformazione:[Marani, 2005]

$$Q(t = F(\theta, t, \tau))[j(\tau)]$$

Il tempo τ è calcolato rispetto all'inizio dell'evento corrente $j(\tau)$. Il tempo θ , computato da un'origine lontana del tempo, tiene conto degli eventi precedenti e quindi dello stato del bacino in conseguenza della sua "storia" precedente all'evento attuale. Il tempo t è un tempo cronologico e tiene conto della dipendenza dei processi idrologici dal periodo considerato (potendosi pensare di distinguere ad esempio la differenza tra le stagioni).

L'approccio scelto è quello che incarica il modello di separazione della precipitazione totale in precipitazione efficace e perdita, e di tenere conto della dipendenza della risposta da eventi precedenti e dal tempo cronologico. I processi di trasporto all'interno di un bacino idrologico possono essere infatti assunti sostanzialmente costanti rispetto alla "storia idrologica" del sistema e rispetto alla stagione, mentre la variabilità delle caratteristiche delle superfici in dipendenza dal loro stato di umidità risulta pesantemente influenzato da questi due fattori.

Essendosi trattato dei metodi di determinazione della precipitazione efficace, si assume qui per l'operatore di trasformazione la forma $F(\tau)$ tralasciando le altre dipendenze. Questo si esprime dicendo che il modello di trasformazione è *invariante*.

Infine si introduce spesso l'ulteriore ipotesi di *linearità* che stabilisce che, date le intensità di precipitazione efficace $j_{eff}^{(1)}(\tau)$, $j_{eff}^{(2)}(\tau)$ e le relative risposte $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, la risposta ad una precipitazione del tipo:

$$j_{eff}(\tau) = \alpha_1 j_{eff}^{(1)}(\tau) + \alpha_2 j_{eff}^{(2)}(\tau) \quad (6.1)$$

$$Q(t) = \alpha_1 Q_1(t) + \alpha_2 Q_2(t) \quad (6.2)$$

Un modo del tutto generale di rappresentare la risposta di un bacino nell'ipotesi di linearità fa capo alla definizione della risposta impulsiva del sistema. E' questa la risposta del bacino, ovvero l'idrogramma di piena, corrispondente ad un volume di pioggia unitario iniettato istantaneamente nel sistema uniformemente nello spazio. Tale risposta impulsiva $u(t)$ è detta *idrogramma unitario istantaneo* e si può mostrare che la risposta $Q(t)$ ($[L^3/T]$) prodotta da una precipitazione efficace $j(t)$ ($[L/T]$) su un bacino di superficie S ($[L^2]$) è espressa da:

$$Q(t) = S \int_0^t u(\tau) j(t - \tau) d\tau \quad (6.3)$$

$j(t)$ si intende essere un'intensità mediata sull'area del bacino assumendo che la scala caratteristica dei fronti di perturbazione sia più grande della scala del bacin.

La formulazione che si basa sull'idrogramma unitario istantaneo dà luogo ad una quantità di modelli diversi in dipendenza dal modo in cui è assegnata la funzione $u(t)$.

6.1.1 Il modello geomorfologico

Identificata una sezione di un corso d'acqua, il *bacino idrografico* da questa sotteso è la porzione di territorio tale che la pioggia caduta su di essa deve transitare, se non si infiltra raggiungendo la falda regionale e non ri-evapora, attraverso la sezione fissata, chiamata *sezione di chiusura*.

Un problema teorico e pratico di grande interesse è quello di determinare, a partire dall'intensità di precipitazione $j(t)$ che insiste sul bacino idrografico, l'idrogramma $Q(t)$ alla sua sezione di chiusura.

Il modello geomorfologico consente la determinazione della risposta idrologica di un bacino a partire unicamente dalle sue caratteristiche morfologiche. Si fonda sulla considerazione che il tempo necessario ad una goccia d'acqua, iniettata in un punto generico del bacino, per giungere alla sezione di controllo è legata al cammino percorso e quindi alla morfologia della rete di drenaggio. La molteplicità delle situazioni che caratterizzano le vicende delle gocce d'acqua all'interno del bacino rende inverosimile la trattazione deterministica del problema e si richiede invece il ricorso ad una trattazione probabilistica. Si devono perciò specificare le grandezze probabilistiche associate a ciascun cammino individuato dallo studio cartografico della morfologia del bacino in

esame.

Si immagini di depositare, al tempo $t = 0$, una goccia d'acqua di volume u_0 in un punto scelto casualmente in un generico bacino idrologico. Il volume d'acqua $V(t)$ invasato nel bacino al tempo t può essere espresso attraverso la relazione:

$$V(t) = u_0 I_t(t_R) \quad (6.4)$$

nella quale t_R è il tempo di residenza della goccia all'interno del bacino, ovvero il tempo impiegato dalla goccia per giungere alla sezione di chiusura dal punto in cui è stata depositata. La funzione indicatrice, I_t è definita come:

$$I_t(t_R) = \begin{cases} 1 & \text{se } t_R \geq t \\ 0 & \text{se } t_R < t \end{cases}$$

La 6.4 vale dunque u_0 se la particella d'acqua si trova ancora all'interno del bacino, zero viceversa. [Marani, 2005]

Se si immagina di ripetere l'esperimento numerose volte, scegliendo ogni volta in modo casuale la posizione di caduta della particella, si otterranno valori diversi del tempo di residenza che dipende, appunto, dal punto di iniezione della goccia. Il tempo di residenza è dunque una variabile casuale caratterizzabile attraverso una densità di probabilità $f(t_R)$ o una probabilità cumulata di non superamento $F(t_R) = P(T_R \leq t_R)$. Se ora si immagina di iniettare un'altezza h di precipitazione uniforme sul bacino di superficie S , questa campiona in modo esaustivo tutti i possibili punti di iniezione all'interno del bacino e quindi tutti i possibili valori del tempo di residenza T_R . Poichè il volume depositato nel generico punto del bacino è pari a $h dx$, il volume d'acqua contenuto nel bacino al tempo generico t si ottiene sommando i contributi 6.4 relativi a ciascuna particella:

$$V(t) = \int_t^\infty h I_t[t_R(x)] dx = h \int_t^\infty I_t(t_R) S f(t_R) dt_R \quad (6.5)$$

L'ultima eguaglianza essendo legata al fatto che l'area ottenuta come unione di tutti i siti di area dx caratterizzati dal medesimo valore del tempo di residenza t_R è pari a $S f(t_R)$. Poichè $I_t(t_R) = 0$ se $t_R < t$, la 6.5 diviene:

$$V(t) = Sh \int_t^\infty f(t_R) dt_R = Sh P[T_R \geq t] \quad (6.6)$$

Si scrive ora l'equazione di continuità per il bacino considerato:

$$\frac{dV}{dt} = -Q(t) \quad (6.7)$$

dove $Q(t)$ è la portata uscente attraverso la sezione di chiusura del bacino. Se il volume iniettato $V = Sh$ è unitario, la portata uscente dal bacino è, per

definizione, l'idrogramma unitario istantaneo $u(t)$ ed utilizzando la 6.6 nella 6.7 si ottiene:

$$\frac{dP[T_R \geq t]}{dt} = -\frac{dF}{dt} = -u(t) \quad (6.8)$$

che porge infine il risultato:

$$u(t) = f(t) \quad (6.9)$$

ovvero l'idrogramma unitario istantaneo coincide con la densità di probabilità associata alla distribuzione dei tempi di residenza delle particelle all'interno del bacino. [Rodriguez-Iturbe e Rinaldo, 1997]

Si è dunque ricondotto il problema della determinazione dell'idrogramma unitario istantaneo a quello della identificazione della distribuzione di probabilità relativa ai diversi percorsi disponibili alle gocce che cadono sulla superficie del bacino. Per fare questo si individuano all'interno del bacino degli stati, dalla cui composizione si ottengono tutti i percorsi possibili e attraverso i quali le particelle d'acqua devono transitare. Così sono degli stati le porzioni di bacino drenate da un canale qualsiasi e lo è il canale stesso. Con riferimento alla Figura 6.1, uno schema elementare di bacino idrografico, si individuano due stati, lo stato o , *overland* e lo stato c , *canale*.

La determinazione della distribuzione di probabilità relativa ad un percorso qualsiasi può ora avvenire a partire dalla conoscenza delle distribuzioni dei tempi di residenza relativi a ciascuno stato. Si faccia ancora riferimento all'Figura 6.1. Si indichi con t' il tempo di residenza nello stato o e con t'' il tempo di residenza all'interno dello stato c . Siano $f_1(t)$ e $f_2(t)$ le densità di probabilità associate alle distribuzioni dei tempi di residenza fuori, stato o , e dentro, stato c , la rete di drenaggio. Per determinare la densità di probabilità del tempo di residenza totale $t = t' + t''$ è necessario calcolare la probabilità associata all'evento: $\{(T', T'') : T = T' + T'' \leq t\}$ (Fig.6.2). Questa, nell'ipotesi che le variabili aleatorie t' e t'' siano indipendenti, è data da:

$$\begin{aligned} F(t) &= P[T \leq t] = \int_0^t dt' \int_0^{t-t'} f(t', t'') dt'' \\ &= \int_0^t f_1(t') dt' \int_0^{t-t'} f_2(t'') dt'' = \int_0^t f_1(t') F_2(t-t') dt' \end{aligned}$$

derivando rispetto a t secondo la regola di Leibnitz:

$$\frac{dF}{dt} = f(t) = \int_0^t f_1(t') f_2(t-t') dt' + f_1(t) F(0) \quad (6.10)$$

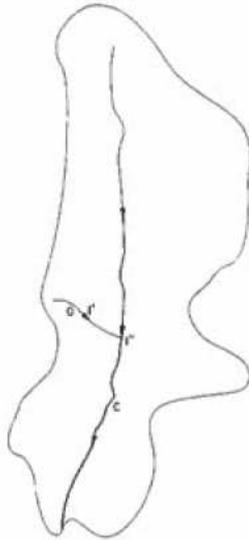


Figura 6.1: Schema elementare di bacino idrografico e degli stati in esso individuabili, [Mainardi,2010]

essendo $F(0) = 0$, la 6.10 diviene infine

$$f(t) = f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(t - \tau) f_2(\tau) d\tau \quad (6.11)$$

Si è dunque determinata la densità di probabilità associata al tempo di residenza in un possibile percorso. Nei casi reali si hanno molte diverse combinazioni di stati, quindi molti percorsi diversi. Una situazione più vicina alla realtà è quella rappresentata nella (Fig. 6.3), nella quale si possono individuare i seguenti percorsi:

- percorso 1: $O_1 \rightarrow C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3$
- percorso 2: $O_2 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3$
- percorso 3: $O_3 \rightarrow C_3$
- percorso 4: $O_1 \rightarrow C_1 \rightarrow C_3$

La densità di probabilità associata al tempo di residenza nei vari percorsi è data dalla convoluzione delle densità di probabilità associate a ciascuno degli stati interessati da tali percorsi:

$$\begin{aligned} \text{percorso 1: } f_1(t) &= f_{O_1} * f_{C_1} * f_{C_2} * f_{C_3} \\ \text{percorso 2: } f_2(t) &= f_{O_2} * f_{C_2} * f_{C_3} \end{aligned}$$

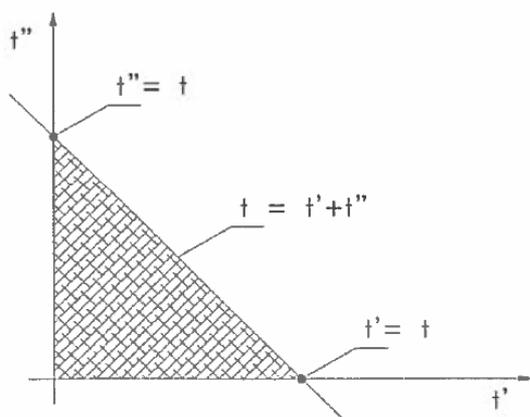


Figura 6.2: Calcolo della distribuzione di probabilità di una variabile aleatoria somma di due variabili aleatorie. L'area tratteggiata rappresenta l'evento $\{(T', T'') : T = T' + T'' \leq t\}$, [Marani,2005]

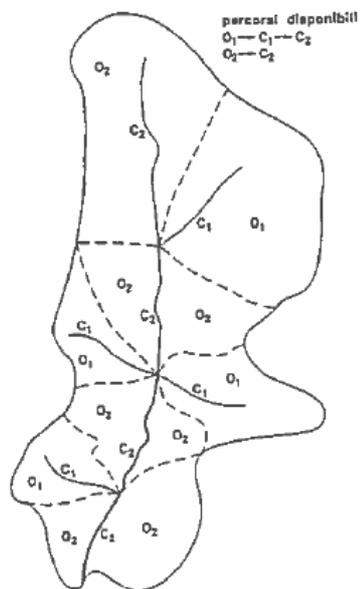


Figura 6.3: Schema di bacino idrografico ed ordinamento della struttura drenante, [Rodriguez-Itorbe e Rinaldo,1997]

$$\begin{aligned} \text{percorso 3: } f_1(t) &= f_{03} * f_{c3} \\ \text{percorso 4: } f_1(t) &= f_{01} * f_{c1} * f_{c3} \end{aligned}$$

Per ottenere la densità di probabilità del tempo di residenza si procede ora ad eseguire la somma delle densità di probabilità associate a ciascun percorso, 'pesate con la probabilità che una particella si trovi a seguire quel percorso:

$$f(t) = \sum_{i=1}^4 p(i) f_i(t) \quad (6.12)$$

In generale la densità di probabilità relativa al tempo di residenza nel bacino idrografico allo studio, che si è vista coincidere con l'idrogramma istantaneo unitario, si può esprimere nel modo seguente:

$$f(t) = \sum_{\gamma \in \Gamma} p(\gamma) (f_{x_\omega} * \dots * f_{x_\Omega})(t) \quad (6.13)$$

nella quale γ è il generico percorso, formato dalla successione di stati $x_\omega \rightarrow \dots \rightarrow x_\Omega$, Γ indica l'insieme di tutti i possibili percorsi e f_{x_i} è la densità di probabilità del tempo di residenza all'interno dello stato x_i . Per quanto riguarda l'espressione della probabilità $p(\gamma)$ essa può essere ottenuta, nell'ipotesi di precipitazione uniforme, come rapporto tra l'area afferente al percorso γ e l'area totale. [Rodriguez-Itorbe e Rinaldo, 1997]

E' interessante a questo punto notare come la formulazione generale della risposta idrologica per tempi di residenza contenga, come casi particolari schemi concettuali più semplici. Il modello di Nash, ad esempio può essere ottenuto considerando che sia possibile un singolo percorso γ e che gli n stati di cui è composto siano costituiti da serbatoi lineari, per i quali la densità di probabilità del tempo di residenza risulta dalla scrittura dell'equazione di continuità:

$$f(t) = \frac{1}{k} e^{-t/k} \quad (6.14)$$

La 6.13 mostra come un impulso iniettato istantaneamente in un bacino idrologico si presenti alla sezione di chiusura diluito nel tempo. Nel processo di trasporto dai punti di caduta l'impulso di precipitazione subisce cioè una dispersione legata all'eterogeneità dei percorsi disponibili alle particelle di acqua. La dispersione è dunque di natura geomorfologica.

6.1.2 Il trasporto di massa con dispersione

La componente geomorfologica non è l'unica sorgente di dispersione presente nel sistema. Esiste infatti una componente dispersiva idrodinamica agente nei singoli tratti del corso d'acqua legata alle fluttuazioni turbolente di velocità.

Per rendere conto di tali fenomeni e quantificarli si consideri il moto del fluido

in un generico tratto di corso d'acqua di lunghezza L . Il campo di moto $u(x; t)$ all'interno del tratto al tempo t può essere scomposta in una componente media all'interno $\langle u \rangle = E[u(x; t)]$ ed una fluttuante $u'(x; t)$:

$$u(x; t) = \langle u \rangle + u'(x; t)$$

Integrando è possibile esprimere la posizione $x(t)$ al tempo t della particella che si trova in x_0 al tempo $t = 0$:

$$x(t) = \langle x \rangle + x'(t) + x_0$$

dove:

$$\langle x \rangle = \langle u \rangle t$$

e

$$x'(t) = \int_0^t u'(x(\tau), \tau) d\tau$$

Poichè i termini fluttuanti $u'(t)$ non possono essere descritti attraverso relazioni deterministiche è necessario ricorrere ad un approccio probabilistico. Indicata con x la coordinata intrinseca, parallela in ogni sezione alla velocità media $\langle u \rangle$, sia $g(x; t)$ la probabilità che la particella rilasciata in x_0 in $t = 0$ si trovi in $(x; x + dx)$ al tempo t . La probabilità che al tempo t la particella si trovi ancora all'interno del ramo considerato è:

$$P[T \geq t] = \int_0^L g(x, t) dx$$

ovvero che:

$$P[T \leq t] = 1 - \int_0^L g(x, t) dx$$

La densità di probabilità del tempo di residenza nel tratto considerato è dunque:

$$f(t) = -\frac{d}{dt} \int_0^L g(x, t) dx \quad (6.15)$$

Ricordando che:

$$f(t) = u(t) = -\frac{dV}{dt}$$

Si ha:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} \int_0^L g(x, t) dx$$

ovvero:

$$V = \int_0^L g(x, t) dx$$

Se il canale è prismatico si ha d'altra parte:

$$V \propto \int_0^L g(x,t) dx$$

da cui:

$$y(x,t) \propto g(x,t)$$

Data questa proporzionalità si possono tradurre le equazioni, di fondamento idrodinamico, che descrivono la dipendenza spazio-temporale della profondità $y(x,t)$ del moto in equazioni che determinano la forma della densità di probabilità $g(x,t)$.

Per ottenere una tale relazione si può scrivere l'equazione di De Saint-Venant:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h \right) = -\frac{\beta}{g} \frac{\partial V}{\partial t} - j \quad (6.16)$$

dove V è la velocità media nella sezione, P la pressione in un generico punto al suo interno e h la quota di tale punto rispetto ad un riferimento. Si noti che:

$$\frac{p}{\gamma} + h = y + z$$

dove y è appunto la profondità del moto, mentre z la quota del fondo rispetto ad un piano di riferimento.

L'equazione (6.16) diviene:

$$\frac{1}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} - j \quad (6.17)$$

ovvero:

$$\frac{1}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + i_f - j \quad (6.18)$$

dove $i_f = -\partial z / \partial x$ è la pendenza del fondo. A questa equazione si aggiunge l'equazione di continuità per una corrente lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (6.19)$$

Se si considera

$$\frac{\partial y}{\partial x} \cong \frac{\partial V}{\partial x} \cong \frac{\partial V}{\partial t} = 0$$

si ottiene l'equazione dell'onda cinematica:

$$i_f = j$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (6.20)$$

che si propaga senza deformarsi.

Se invece:

$$\frac{\partial V}{\partial x} \cong \frac{\partial V}{\partial t} = 0$$

si ottiene il modello dell'onda parabolica:

$$j = i_f - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (6.21)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (6.22)$$

E' questa una buona approssimazione quando le onde non sono molto ripide e dunque ben sia adattata allo studio della propagazione di un onda di piena in un corso d'acqua. Supponiamo ora, per semplicità di calcolo, che il canale sia rettangolare: $A = By$. Le equazioni che reggono il moto sono dunque:

$$j = i_f - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (6.23)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (6.24)$$

Assumendo valide le formule di moto uniforme si ha:

$$Q = CR_H^{1/2} j^{1/2} A = CA^\gamma j^{1/2} = CA^\gamma \left(i_f - \frac{\partial y}{\partial x} \right) \quad (6.25)$$

dove $\gamma = 3/2$.

La derivata spaziale della portata è dunque:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial j} \frac{\partial j}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial A} B \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{\partial Q}{\partial j} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (6.26)$$

nella quale si è sfruttata la (6.23) per esprimere la derivata spaziale di j . Utilizzando la (6.26) la (6.24) può essere scritta:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial A} \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial j} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (6.27)$$

Si utilizza ora la (6.25) per esprimere le derivate di Q rispetto ad A e j :

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial A} &= C_\gamma A^{\gamma-1} j^{1/2} = \frac{3}{2} V = A \\ \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial j} &= \frac{A}{B_\gamma j} C_\gamma A^{\gamma-1} \frac{1}{2} j^{1/2} = \frac{Aa}{2B_\gamma j} \cong \frac{ay}{3j} = D_H \end{aligned} \quad (6.28)$$

Il parametro a è la celerità di propagazione dell'onda (velocità con cui si muove il colmo), mentre D_H è il coefficiente di dispersione idrodinamica.

La (6.27) diviene quindi:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + a \frac{\partial y}{\partial x} = D_H \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (6.29)$$

che è un'espressione del tipo dispersione-diffusione (dispersione idrodinamica espressa da D_H) con componente avvevativa (rappresentata dalla celerità a).

Senza perdita di generalità si può semplificare la (6.29) introducendo la nuova variabile indipendente $s = x - at$. La (6.29) diviene così:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = D_H \frac{\partial^2 y}{\partial s^2} \quad (6.30)$$

Moltiplicando la (6.30) per s^2 e integrando tra $-\infty$ e $+\infty$:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} s^2 \frac{\partial y}{\partial t} ds = \int_{-\infty}^{+\infty} D_H s^2 \frac{\partial^2 y}{\partial s^2} ds = D_H \left[s^2 \frac{\partial y}{\partial s} - 2sy \right]_{-\infty}^{+\infty} + 2D_H \int_{-\infty}^{+\infty} y ds \quad (6.31)$$

Se:

$$\lim_{s \rightarrow \pm\infty} s^2 \frac{\partial y}{\partial s} = 0$$

e:

$$\lim_{s \rightarrow \pm\infty} sy = 0$$

allora la (6.31) può essere riscritta:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-\infty}^{+\infty} s^2 y ds = 2D_H \int_{-\infty}^{+\infty} y ds \quad (6.32)$$

Si noti che, assumendo come riferimento di coordinate il baricentro di $y(s)$, la varianza di $y(s)$ è:

$$\sigma^2(t) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} s^2 y ds}{\int_{-\infty}^{+\infty} y ds} \quad (6.33)$$

La varianza costituisce una misura di quanto "dispersa" sia la massa rispetto al baricentro della distribuzione $y(s)$. La (6.32) fornisce allora:

$$\frac{\delta \sigma^2}{\delta t} = 2D_H \quad (6.34)$$

nella quale si è tenuto conto del fatto che

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-\infty}^{+\infty} y ds = \frac{\partial M}{\partial t} = 0$$

poichè la massa M totale deve conservarsi.

La (6.34) porge allora:

$$\sigma^2(t) \alpha 2D_H t$$

Questa relazione indica che la varianza di $y(s)$ cresce linearmente nel tempo e proporzionalmente al coefficiente di dispersione (6.28).

Si noti ora che la (6.29), tenuto conto della (6.15) fornisce formalmente:

$$\frac{\partial g(x, t)}{\partial t} + a \frac{\partial g(x, t)}{\partial x} = D_H \frac{\partial^2 g(x, t)}{\partial x^2} \quad (6.35)$$

6.1.3 L'idrogramma unitario istantaneo geomorfologico

Allo scopo di arrivare ad una soluzione in forma chiusa della (6.35) è necessario introdurre la trasformata di Laplace. Questa è definita da:

$$\widehat{f}(s) = \int_0^{+\infty} f(t) e^{-st} dt$$

Mentre la sua inversa è:

$$f(t) = \int_0^{+\infty} \widehat{f}(s) e^{st} ds$$

La trasformata di Laplace gode della seguente proprietà:

$$(\widehat{f} * \widehat{g})(s) = \widehat{f}(s) \widehat{g}(s)$$

La soluzione della (6.35) porta alla determinazione di $g(x, t)$ e, quindi, della densità di probabilità del tempo di residenza nel generico stato canale la quale, utilizzata nella (6.12) per esprimere la $f_{x_\omega}(t)$ degli stati canale che compongono i possibili percorsi permette di costruire l'idrogramma unitario istantaneo dell'intero bacino. La (6.35) soggetta a condizioni di contorno che riflettono le proprietà fisiche del sistema di drenaggio può essere risolta nel dominio della trasformata di Laplace. La soluzione di (6.35) fornisce un'espressione analitica per $f_{x_\omega}(s)$:

$$f_{x_\omega}(s) = \exp[-L_\omega \tau(s)] \quad (6.36)$$

dove L è la lunghezza media dei canali di ordine ω e:

$$\tau(s) = \frac{-a + (a^2 + 4sD_H)^{1/2}}{2D_H} \quad (6.37)$$

Si consideri ora la trasformata di Laplace della (6.12):

$$\widehat{f} = \sum_{\gamma \in \Gamma} p(\gamma) \prod_{x_\omega \in \gamma} \widehat{f}_{x_\omega}(s) \quad (6.38)$$

Utilizzando le (6.36) e (6.37) nella (6.38) si ottiene:

6. Il modello Geomorfologico 6.2. La determinazione della precipitazione efficace

$$\widehat{f} = \sum_{\gamma \in \Gamma} p(\gamma) \exp \left[- \sum_{x_\omega \in \gamma} \Gamma(s) L_\omega \right] \quad (6.39)$$

Se a e D_H sono indipendenti dall'ordine del ramo la (6.39) può essere invertita ricavando:

$$f(t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi D_H t^3}} p(\gamma) L(\gamma) \exp \left\{ \left(- \frac{(L(\gamma) - at)^2}{4 D_H t} \right) \right\} \quad (6.40)$$

dove $L(\gamma)$ è la lunghezza del percorso γ calcolato lungo la rete. La (6.40) esprime la densità di probabilità di un generico percorso canalizzato di lunghezza γ in funzione dei due parametri a e D_H . Questi hanno un significato fisico preciso e possono essere assegnati attraverso le (6.28) oppure essere determinati per taratura. Assumendo, all'inizio del generico percorso γ , uno stato versante caratterizzato, ad esempio, dalla densità di probabilità:

$$f_\gamma(t) = \frac{1}{k_\gamma} e^{-t/k_\gamma} \quad (6.41)$$

l'idrogramma unitario istantaneo dell'intero bacino può finalmente scriversi:

$$f(t) = \frac{1}{4\sqrt{\pi D_H}} \sum_{\gamma \in \Gamma} L(\gamma) f_\gamma(t) * \frac{1}{t^{3/2}} \exp \left\{ - \frac{(L(\gamma) - at)^2}{4 D_H t} \right\} \quad (6.42)$$

6.2 La determinazione della precipitazione efficace

Una volta identificate nell'idrogramma di piena le parti competenti ai deflussi superficiali e sub-superficiale, occorre effettuare la medesima scomposizione per lo ietogramma ed identificare quindi la *precipitazione efficace*. Questa è la parte di precipitazione che contribuisce a formare il deflusso superficiale. Una volta isolato il contributo superficiale nello ietogramma e nell'idrogramma sarà possibile procedere a stabilire la relazione che intercorre e formulare un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

6.2.1 Il modello SCS

Il metodo sviluppato dalla Soil Conservation Service ¹ ipotizza che all'inizio dell'evento un volume V_0 sia richiesto per saturare il terreno e che esso non partecipi dunque al deflusso superficiale. Una volta che questa capacità del terreno è stata esaurita, una parte della precipitazione seguente si infiltra,

¹Agenzia del dipartimento dell'Agricoltura (USDA) americano, che dà assistenza tecnica per la salvaguardia delle coltivazioni ad agricoltori ed altri proprietari terrieri

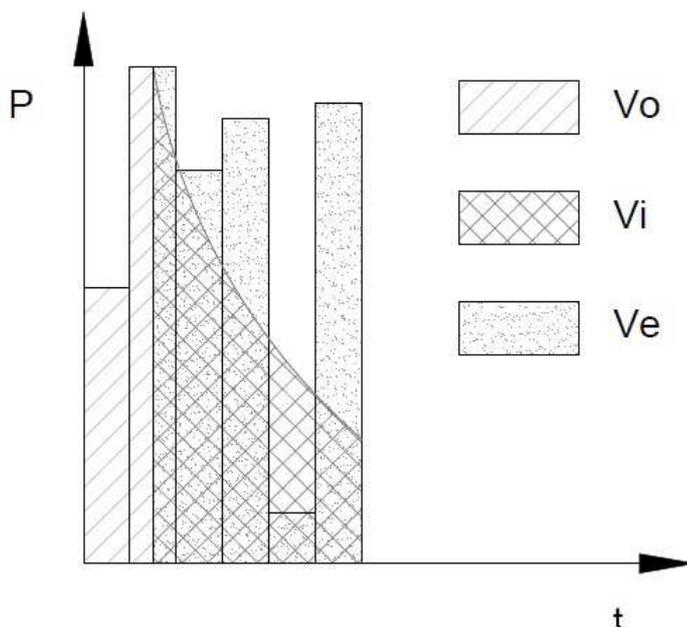


Figura 6.4: Determinazione Pioggia efficace attraverso il metodo SCS

secondo il paradigma hortoniano ², mentre la restante contribuisce al deflusso superficiale (Fig. 6.4). Detto V_i il volume che si infiltra dal raggiungimento della saturazione sino all'istante generico considerato, si suppone che il rapporto tra V_i ed il volume massimo S che, in dipendenza dalle caratteristiche fisiche e geologiche del bacino, può infiltrarsi sia uguale al rapporto tra il volume di pioggia efficace (P_e) ed il volume massimo che potenzialmente può defluire ($P - V_0$):

$$\frac{V_i}{S} = \frac{P_e}{P - V_0} \quad (6.43)$$

Utilizzando l'equazione di continuità:

$$P = P_e + V_0 + V_i \quad (6.44)$$

per esprimere V_i e sostituendolo nella (6.43) si ottiene la relazione di deflusso del metodo SCS:

²La legge di Horton definisce che il tasso di infiltrazione segue una legge di tipo esponenziale:

$$f = f_\infty + (f_0 - f_\infty)e^{-t/k}$$

6. Il modello Geomorfologico 6.2. La determinazione della precipitazione efficace

Tabella 6.1: Valori di CN per diversi usi del suolo e diversi tipologie di suolo

Uso del suolo	A	B	C	D
Terreno a riposo	77	86	91	94
Coltivazione a filari	70	80	85	90
Fruento, Mais, Riso, Orzo	63	75	83	87
Legumi	58	72	81	85
Pascoli	49	69	79	84
Boschi	36	60	73	79
Strada sterrata	72	82	87	89
Strada rivestita	74	84	90	92

$$P_e = \frac{(P - V_0)^2}{P - V_0 + S} \quad (6.45)$$

Il parametro V_0 rappresenta le condizioni del bacino all'inizio dell'evento ed è identificato considerando l'altezza di precipitazione nei cinque giorni precedenti classificando lo stato del bacino come inizialmente secco (*condizione I*), mediamente umido (*condizione II*), o saturo (*condizione III*). Nelle applicazioni si fa spesso riferimento alla condizione media o *condizione II*. In tal caso si assume:

$$V_0 = 0,2S$$

e la (6.45) si riscrive:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (6.46)$$

Il volume di precipitazione efficace P_e dipende dunque, in queste ipotesi, unicamente dalla massima capacità di infiltrazione S . Questa a sua volta viene valutata in mm con la relazione empirica:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6.47)$$

nella quale CN è un parametro detto *Curve Number* fissato in base alle caratteristiche geopedologiche del bacino, dalla destinazione d'uso dei terreni e alle loro condizioni iniziali di umidità.

Il Soil Conservation Service ed altri autori forniscono valori empirici di CN a seconda del tipo di suolo e della condizione di umidità iniziale. La tabella 6.1 riporta alcuni valori di CN per la condizione II, diversi usi del suolo e diverse caratteristiche idrogeologiche dei terreni stessi. Queste ultime sono specificate suddividendo i terreni in quattro gruppi (A, B, C, e D) in dipendenza

Tabella 6.2: Classificazione dei suoli dell SCS

Gruppo di suolo	Caratteristiche
A	Capacità di infiltrazione: $\geq 7.5 \text{ cmh}^{-1}$ Ghiaie e Sabbie ben drenate
B	Capacità di infiltrazione: $3,8 \text{ cmh}^{-1} - 7,5 \text{ cmh}^{-1}$ Sabbie da moderatamente a ben drenate
C	Capacità di infiltrazione: $0,13 \text{ cmh}^{-1} - 3,8 \text{ cmh}^{-1}$ Terreno fine con strato impermeabile
D	Capacità di infiltrazione: $\leq 0,13 \text{ cmh}^{-1}$ Argille

dalla loro capacità di infiltrazione. La tabella 6.2 riporta la descrizione di tale classificazione.

Nel caso quindi della condizione II, le (6.46) e (6.47) consentono il calcolo della comulata della precipitazione effettiva P_e in funzione della precipitazione totale cumulata P e, per differenza, la stima della pioggia effettiva caduta ad ogni passo temporale.

Il metodo SCS può anche applicarsi trattando CN come un parametro di taratura, ovvero determinando, solitamente per tentativi, quale valore di CN dia luogo ad una migliore corrispondenza tra i deflussi osservati e quelli calcolati per alcuni eventi di taratura misurati.

E' interessante notare infine come il metodo SCS abbia un carattere misto, dunniano/hortoniano, considerando sia un volume iniziale di saturazione sia un limite alla capacità di infiltrazione del suolo.

Capitolo 7

Risultati

7.1 La zona in esame

Considerato lo sviluppo economico e sociale del Comune di Padova, e analizzate le previsioni urbanistiche del PRG si è individuata la zona che sarà oggetto di una probabile futura urbanizzazione e si è esaminata la relazione che sussiste tra la pianificazione territoriale e le relative infrastrutture idrauliche. L'area in questione (Figura 7.1) è situata a Nord-Ovest nei pressi di San Bellino all'interno del Quartiere 6 Ovest, delimitata a ovest da Corso Australia, a nord da via Due Palazzi, a est da via Sacro Cuore, Cavalcavia Camerini e dalla linea ferroviaria Padova-Castelfranco Veneto, infine a sud è delimitata dalla linea ferroviaria Padova-Vicenza. Il territorio in esame si estende per una dimensione di 102 ettari, rientra nel sottobacino Fossetta, il quale, come già accennato nel capitolo 2, rappresenta la situazione idraulicamente più critica a causa dell'insufficienza del suo collettore principale (il Fossetta appunto), causa dell'allagamento di molte zone, particolarmente del Quartiere 2 Nord, durante eventi anche particolarmente critici di precipitazione.



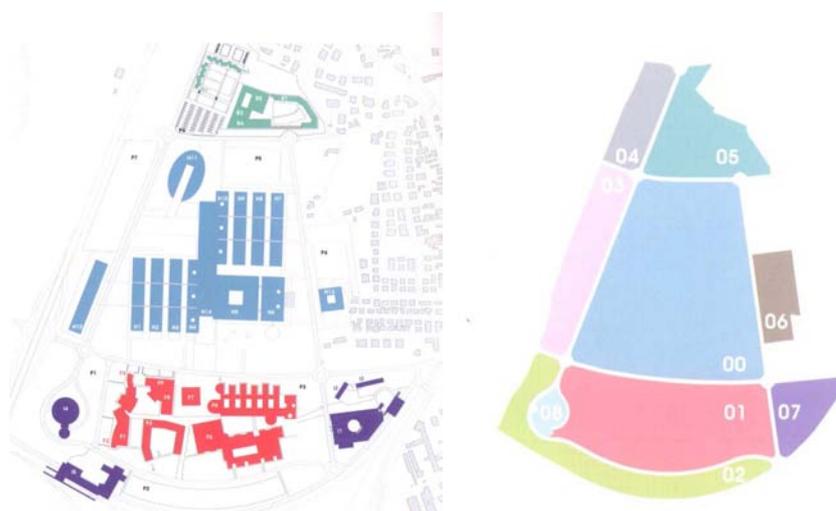
Figura 7.1: Ortofoto area in esame



Figura 7.2: Estratto di mappa area in esame

La zona non presenta una grande variabilità altimetrica, passando da un massimo di 13,00 m.s.l.m. nella parte Nord ad una minima di 10,50 m.s.l.m. nella parte Est con pendenze medie superficiali valutabili sul 0,3 % circa.

Interessante risulta l'attuale destinazione, prevalentemente agricola e con insediamenti abitativi sparsi. E' quindi una zona particolarmente poco produttiva di deflussi dal punto di vista idrologico, nella quale si prevede un cambiamento di destinazione d'uso, destinandone la quasi totalità all'edificazione del nuovo polo ospedaliero e alla clinica universitaria. In quest'ottica si riportano i dati progettuali di massima previsti, con gli indici di copertura e cementificazione che poi verranno utilizzati nell'applicazione del metodo Geomorfologico.



Divisione edifici - progetto di Aree di massima previsti per il polo ospedaliero

SUPERFICIE DEI SINGOLI LOTTI, SUPERFICIE COPERTA E RAPPORTO DI COPERTURA						
tipologia	sigla	dettaglio	superficie lotti (mq)	superficie totale (mq)	superficie coperta (mq)	% coperta
lotti	00	ospedale	190.200	529.650	62.300	32,75
	01	campus univ.	111.100		33.030	29,73
	02	intermodale 1	53.700		3.000	5,59
	03	servizi	46.900		4.600	9,81
	04	non edificato	25.500		-	-
	05	riabilitazione	50.800		8.160	16,06
	06	obitorio	21.000		2.100	10
	07	intermodale 2	23.000		8.270	35,96
viabilità	-	strade	55.350	55.350	-	-
				585.000	124.860	21,34

Tabella 7.1: superficie singoli lotti

Il polo ospedaliero, così come concepito, è stato posizionato in un'area di facile accesso, considerando anche l'espansione dei capoluoghi di provincia del Veneto verso una sorta di città continua, ponendosi quindi in zona centrale, come fulcro per gli altri centri medici del Veneto. Si è reso necessario infatti

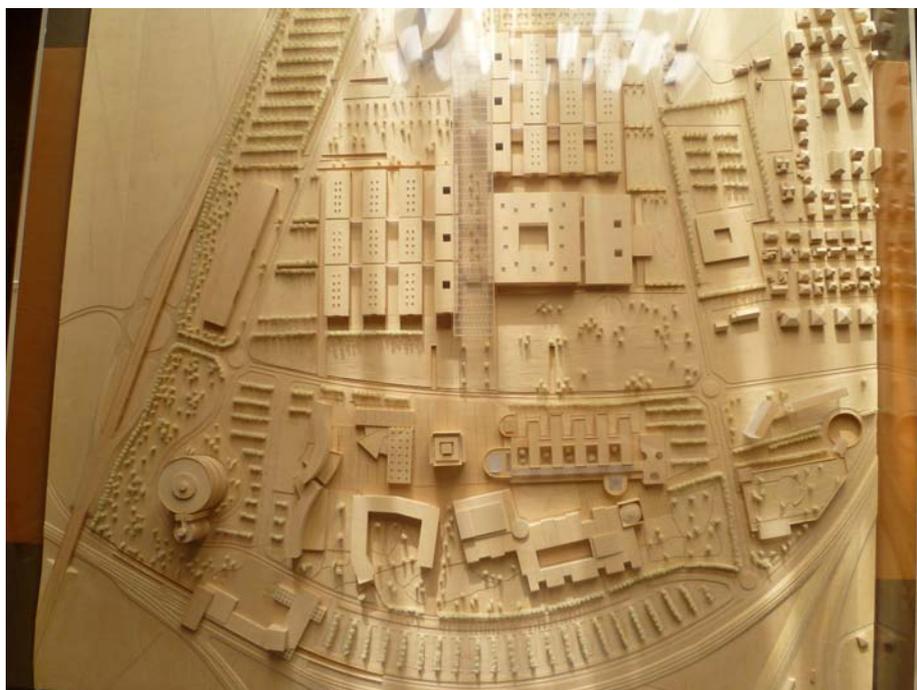


Figura 7.3: Plastico ospedale progetto di massima

spostarsi verso un nuovo modello di efficiente sfruttamento delle risorse, massima accessibilità, ampi spazi e dall'altro lato, grande sinergia con la città, come già definito nei capitoli precedenti. Il rovescio della medaglia si presenta, come si vedrà, nell'adeguare la rete di smaltimento acque, che non potrà rimanere tale visto l'imponente urbanizzazione prevista.

L'area in esame nella situazione odierna si può dividere in due sottobacini, considerando l'attuale uso del suolo e le maggiori canalizzazioni presenti: una zona agricola di estensione pari a 64 ettari e una zona residenziale di estensione pari a 38 ettari. (Figura 7.5). All'interno della porzione di territorio analizzata si possono identificare 3 scoli principali del Consorzio: lo scolo Limenella, proveniente da Nord, lo scolo delle Basse, proveniente da Ovest ed un piccolo tratto dello scolo Borgherini da sud. Questi si intercettano nella parte più a est per poi snodarsi attraverso il collettore Fossetta. (Figura 7.6)

Nell'analisi verranno solo considerati i due scoli principali, delle Basse ed il Limenella, che servono per la maggior parte l'area esaminata. Più precisamente si è assunto che lo scolo delle Basse serva la parte ad uso agricolo mentre la parte residenziale sia servita dallo scolo Limenella.

7.2 Costruzione della rete drenante

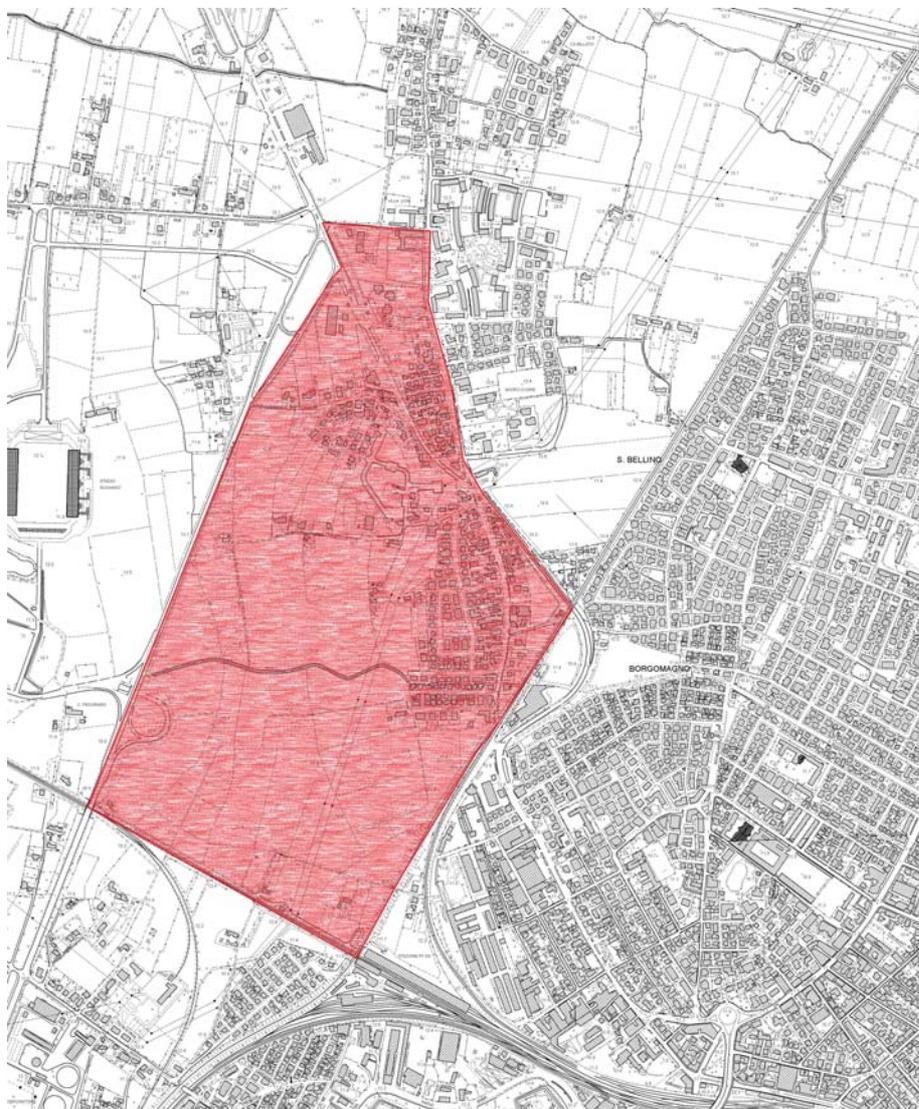


Figura 7.4: Area zona in esame

Trattando l'area in esame come un bacino, dopo aver individuato all'interno i due sottobacini principali, si passa alla costruzione della rete drenante di ciascuno di essi, tenendo conto di:

- i rami in cui è suddivisa la rete
- la numerazione dei nodi
- la numerazione dei singoli tronchi

- le aree scolanti in ciascun tronco di rete
- l'individuazione dei percorsi fino alla sezione di chiusura del bacino.

Entrambi i sottobacini così individuati sono a loro volta suddivisi ulteriormente in sottobacini minori, ciascuno facente capo ad un tratto di rete idrografica, in base ai profili altimetrici del bacino sperimentale e quindi alle direzioni del deflusso della rete.

La zona agricola ricopre una superficie piuttosto vasta rispetto all'intero bacino, per questo motivo è stata individuata una rete scolante composta da scoline defluenti nello scolo delle Basse; la zona residenziale invece, occupando un'area minore e presentando un deflusso più rapido è stata suddivisa unicamente in base allo scolo Limenella. Il bacino così suddiviso è rappresentato in figura. La tabella invece mostra in dettaglio le caratteristiche geometriche del bacino.

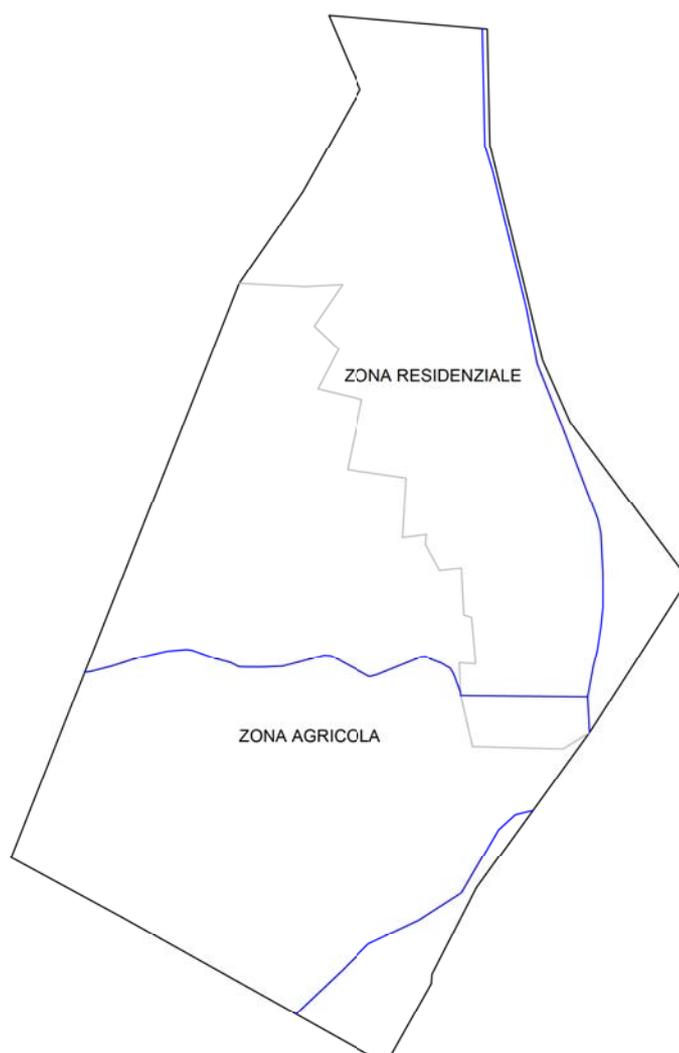


Figura 7.5: Il bacino in esame e i due sottobacini principali

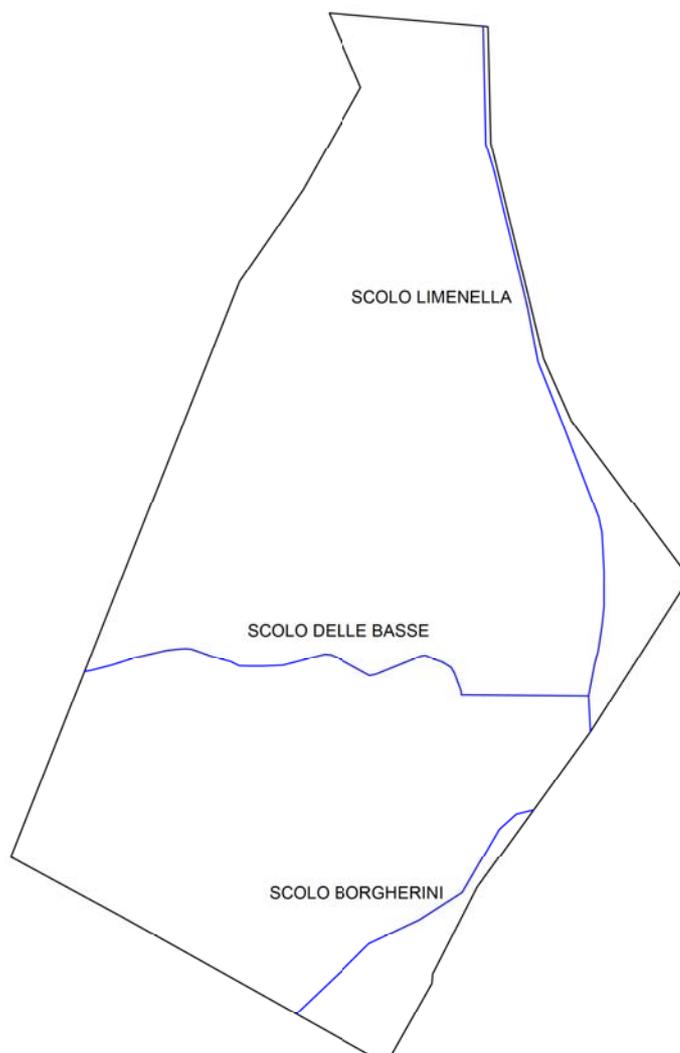


Figura 7.6: Indicazione degli scoli del bacino esaminato

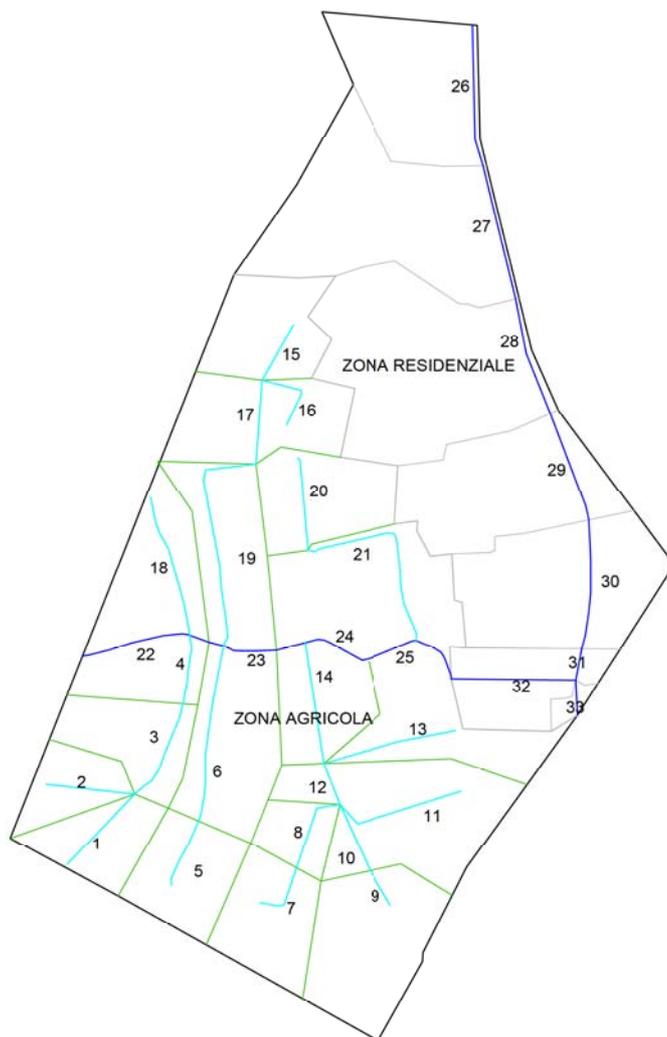


Figura 7.7: Costruzione della rete drenante nel bacino in esame

Tabella 7.2: Caratteristiche geometriche del bacino

Tronco	h iniziale (m.s.m)	h finale (m.s.m)	lunghezza (m)	area scolante (Km ²)
1	12,00	11,60	168,00	0,0229
2	12,00	11,70	151,00	0,0181
3	11,70	11,60	182,00	0,0289
4	11,60	11,50	112,00	0,0213
5	12,00	11,60	184,00	0,0300
6	11,60	11,30	298,00	0,0447
7	12,00	11,95	106,00	0,0310
8	11,95	11,80	149,00	0,0139
9	12,60	12,40	72,00	0,0485
10	12,40	11,80	125,00	0,0053
11	11,90	11,80	231,00	0,0497
12	11,80	11,60	76,00	0,0064
13	12,10	11,60	237,00	0,0410
14	11,60	11,30	204,00	0,0287
15	12,80	12,50	118,00	0,0318
16	12,60	12,50	135,00	0,0186
17	12,50	12,10	147,00	0,0213
18	12,00	11,50	259,00	0,0372
19	12,10	11,50	389,00	0,0393
20	12,00	11,40	164,00	0,0337
21	11,40	10,80	340,00	0,0593
22	12,00	11,50	226,00	0,0467
23	11,50	11,30	119,00	0,0342
24	11,30	11,00	167,00	0,0436
25	11,00	10,50	183,00	0,0367
26	13,00	12,70	241,00	0,0495
27	12,70	12,40	232,00	0,0881
28	12,40	12,30	209,00	0,0967
29	12,30	12,20	194,00	0,0597
30	12,20	12,00	223,00	0,0665
31	12,00	11,60	51,00	0,0030
32	12,20	11,60	209,00	0,0259
33	11,60	11,40	63,00	0,0032

7.3 Portate di piena

Il programma utilizzato per l'implementazione del modello di calcolo è *Geomorf*, per valutare la risposta idrologica di un bacino idrografico mediante il modello geomorfologico.

Vengono eseguite diverse simulazioni, volendo simulare il problema dell'aumento di portata di picco dovuto al futuro sviluppo di quest'area, con conseguente diminuzione dei tempi di corrivazione alla rete scolante e variazione dei coefficienti idrometrici. Le simulazioni vengono eseguite, sulla base dello studio idrologico, per precipitazioni con un Tempo di ritorno di 10 anni per un tempo di pioggia di 1 e 3 ore, dapprima considerando i dati di pioggia fino al 1994, e poi con l'ultima serie fornita dalla valutazione idrologica delle precipitazioni segnalate dalla stazione Orto Botanico dal 1994 ad oggi.

La seguente tabella mostra i valori delle precipitazioni considerati:

Stazione	Durata di pioggia (ore)	Altezza di pioggia ($T_r=10$ anni)
Padova	1 ora	52,7
Padova	3 ore	65,7
Orto Botanico	1 ora	56,7
Orto Botanico	3 ore	72,5

Risulta evidente di come, espandendosi l'area urbanizzata, deve aumentare la frazione di pioggia P_e che contribuisce ai deflussi. Questa, nello schema proposto, dipende unicamente dalla massima capacità di infiltrazione S :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

nella quale CN è un parametro, detto *Curve Number*, fissato in base alle caratteristiche geopedologiche del bacino e alla destinazione d'uso dei terreni. Allo scopo di valutare la sufficienza della rete rispetto all'inevitabile sviluppo urbano si è proceduto ad effettuare delle simulazioni variando i valori di CN . Partendo dalla situazione attuale nella quale si è assunto che la zona agricola abbia $CN = 60$ mentre per la zona residenziale $CN = 70$, si è arrivati alla simulazione futura in cui le zone agricole passino ad un $CN = 80$ in quanto da progetto diverrà densamente urbanizzata, mentre le zone attualmente residenziali aumenteranno la loro densità abitativa portandolo anch'esse ad un $CN = 80$. In aggiunta si è provata una simulazione intermedia, con la zona agricola che diverrà residenziale, aumentando il proprio CN a 70.

Il codice di calcolo *Geomorf* richiede, inoltre, la valutazione di altri parametri non meno importanti, quali il tempo medio di residenza fuori dalla rete del deflusso superficiale (t_0) e ipodermico (t'_0), la celerità dell'onda di piena (a), il coefficiente di dispersione idrodinamica (D_H) e il coefficiente di Gauckler-Strickler (K_s) dei singoli tronchi. I tempi medi di residenza fuori rete del

deflusso superficiale e ipodermico sono stati rispettivamente valutati attraverso le seguenti:

$$t_0 = k_s A_i^{0.38}$$

$$t_0 = k_p A_i^{0.38}$$

dove A_i è l'area scolante di ogni tronco di rete, mentre K_s e K_p sono dei parametri corrispondenti al tempo di residenza medio per unità di area rispettivamente pari ad 1 e a 25 per i due tipi di deflusso.

La celerità di propagazione dell'onda di piena è stata calcolata considerando la rete naturale tramite:

$$a = \alpha_1 A^{-0.15}$$

dove α_1 è un coefficiente valutato pari a 5 e A è tutta l'area drenata dalla sezione di chiusura del tratto drenato. [Mainardi, 2010]

Per il coefficiente di dispersione idrodinamica (D_H) e il coefficiente di Gauckler-Strickler (K_s) dei singoli tronchi sono stati assunti per semplicità valori costanti visibili in tabella, dove sono riassunte le caratteristiche del bacino. È stato infatti osservato che il campo delle loro possibili variazioni non influenza in modo apprezzabile i risultati delle simulazioni, come riscontrato in diverse simulazioni.

Tabella 7.3: Caratteristiche geometriche del bacino

Tronco	t_0 (ore)	t'_0 (ore)	D_H	a (m/s)	K_s
1	0,2381	5.9522	100,00	1.1092	40
2	0,2177	5.4432	100,00	1.1490	40
3	0,2601	6.5025	100,00	1.0711	40
4	0,2316	5.7906	100,00	1.1213	40
5	0,2638	6.5955	100,00	1.0651	40
6	0,3070	7.6746	100,00	1.0033	40
7	0,2671	6.6782	100,00	1.0599	40
8	0,1969	4.9236	100,00	1.1954	40
9	0,3167	7.9163	100,00	0.9911	40
10	0,1365	3.4132	100,00	1.3814	40
11	0,3196	7.9902	100,00	0.9875	40
12	0,1467	3.6668	100,00	1.3429	40
13	0,2971	7.4267	100,00	1.0164	40
14	0,2594	6.4854	100,00	1.0722	40
15	0,2697	6.7431	100,00	1.0559	40
16	0,2200	5.4999	100,00	1.1443	40
17	0,2316	5.7906	100,00	1.1213	40
18	0,2863	7.1573	100,00	1.0313	40
19	0,2923	7.3082	100,00	1.0228	40
20	0,2757	6.8935	100,00	1.0467	40
21	0,3418	8.5448	100,00	0.9616	40
22	0,3124	9.6795	100,00	1.1213	40
23	0,2987	6.6784	100,00	1.0986	40
24	0,4034	7.4578	100,00	1.0923	40
25	0,3624	8.9812	100,00	1.2411	70
26	0,3191	7.9779	100,00	0.9881	70
27	0,3973	9.9319	100,00	0.9062	70
28	0,4116	10.2897	100,00	0.8936	70
29	0,3427	8.5666	100,00	0.9607	70
30	0,3570	8.9251	100,00	0.9453	70
31	0,1100	2.7495	100,00	1.5045	70
32	0,2495	6.2373	100,00	1.0889	70
33	0,1127	2.8177	100,00	1.4900	70

7.4 I risultati del modello

Di seguito vengono riportati gli idrogrammi delle piene ottenuti variando i valori del CN: partendo infatti da una situazione attuale ($CN_{attuali}$) si arriva a prevedere due possibili condizioni future che vedono il bacino con destinazione d'uso del suolo di carattere medio (CN_{futuri}) o altamente urbanizzato ($CN_{futuri2}$).

E' evidente che all'espandersi dell'area urbanizzata aumenti la frazione di pioggia che contribuisce ai deflussi, con conseguente aumento delle portate al colmo. Si nota infatti, al variare dei valori di *Curve Number*, come la portata di picco nella sezione ultima di chiusura (relativa ad una pioggia di durata = 1ora e $T_r = 10anni$) subisca un notevole aumento, compreso tra il 40% per la prima variazione di destinazione d'uso (CN_{futuri}) e addirittura l'80% per la seconda variazione ($CN_{futuri2}$).

Lo stesso procedimento è stato effettuato con i risultati delle precipitazioni raccolte dalla stazione di Orto Botanico. I risultati, descritti dalle figure 7.12 e successive, determinano una variazione di picco attorno al 20 %. Le seguenti figure riportano i valori delle portate.

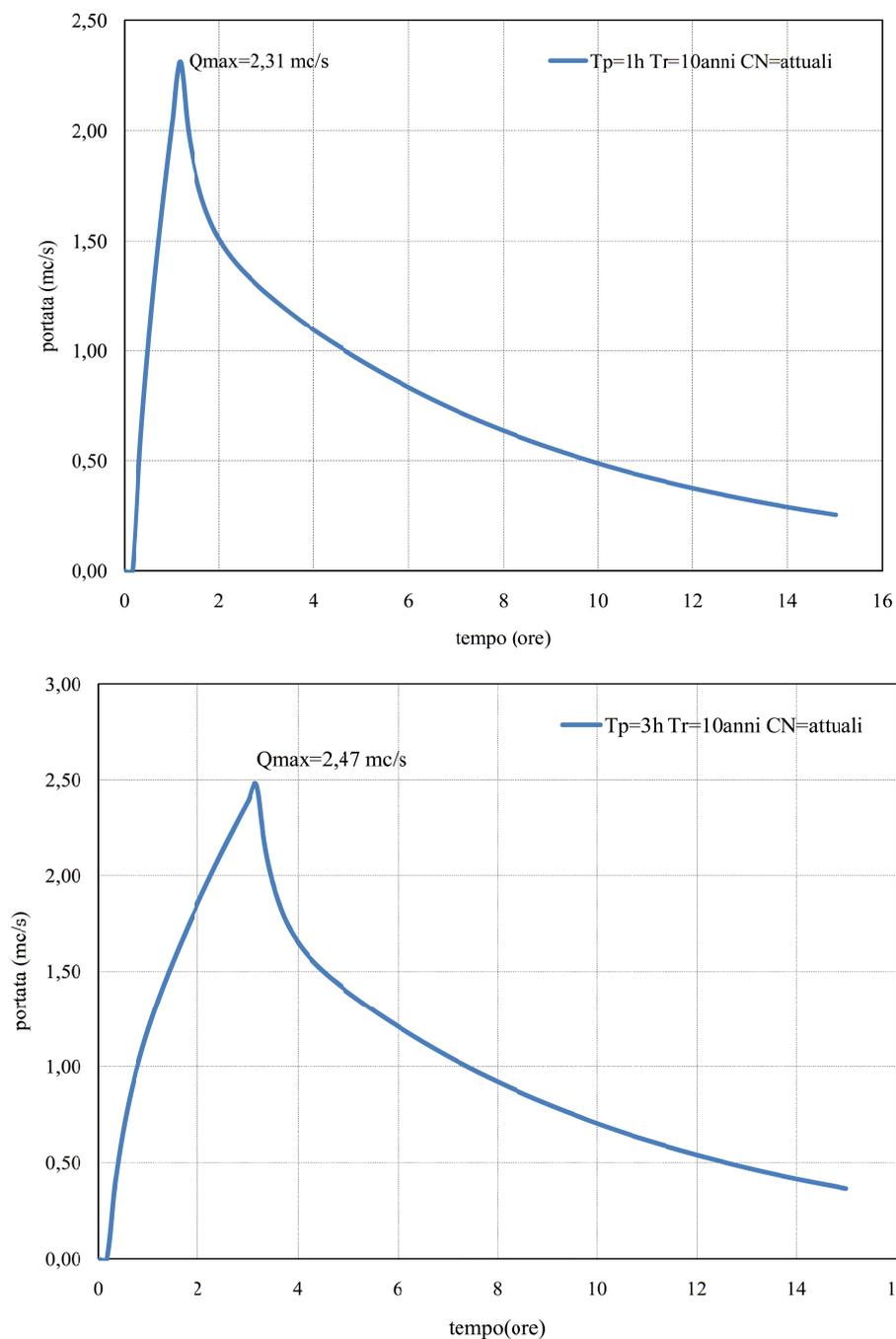


Figura 7.8: Curve Number attuali - stazione di Padova - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore

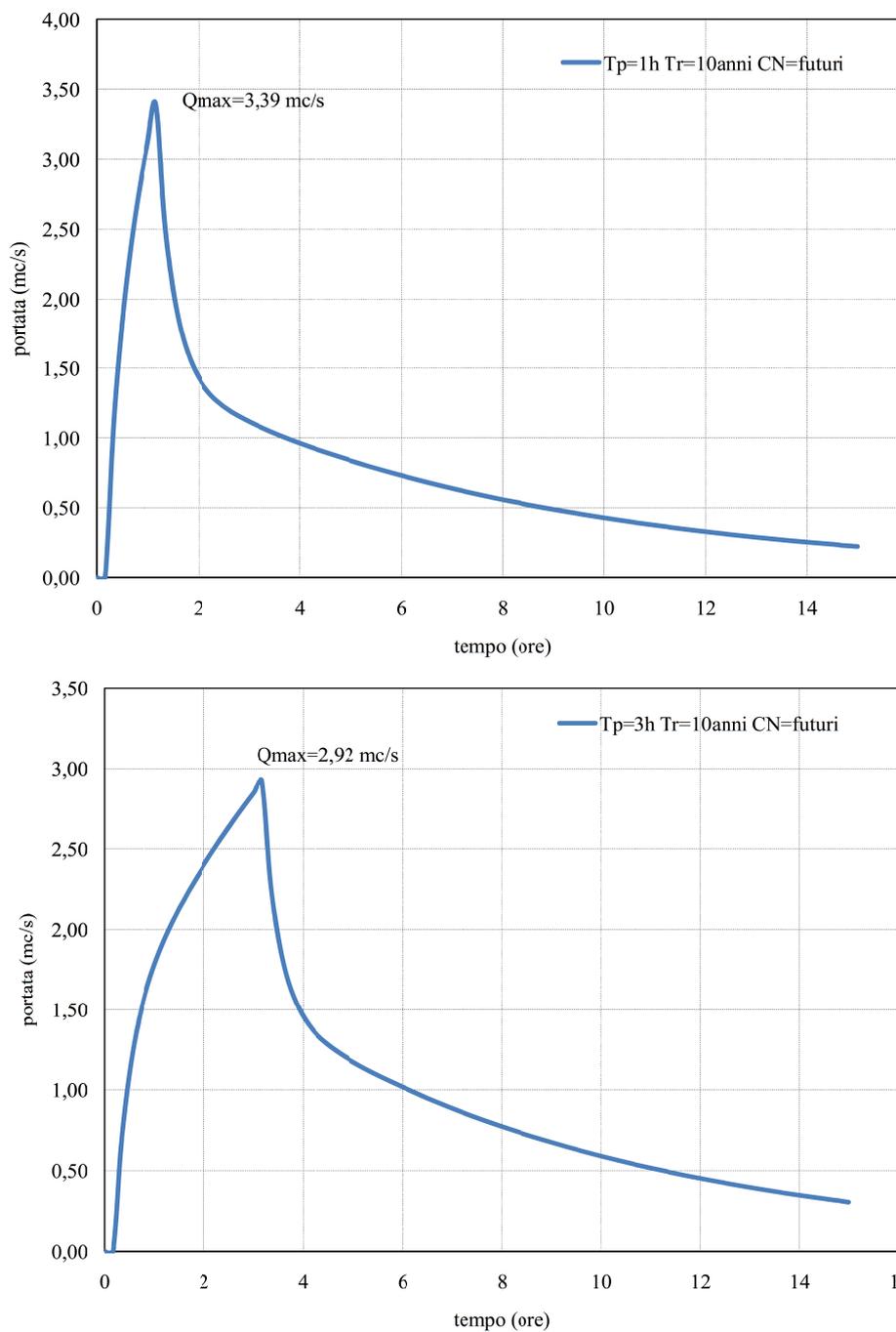


Figura 7.9: Curve Number futuri - stazione di Padova- grafico per piogge di 1 ora e 3 ore

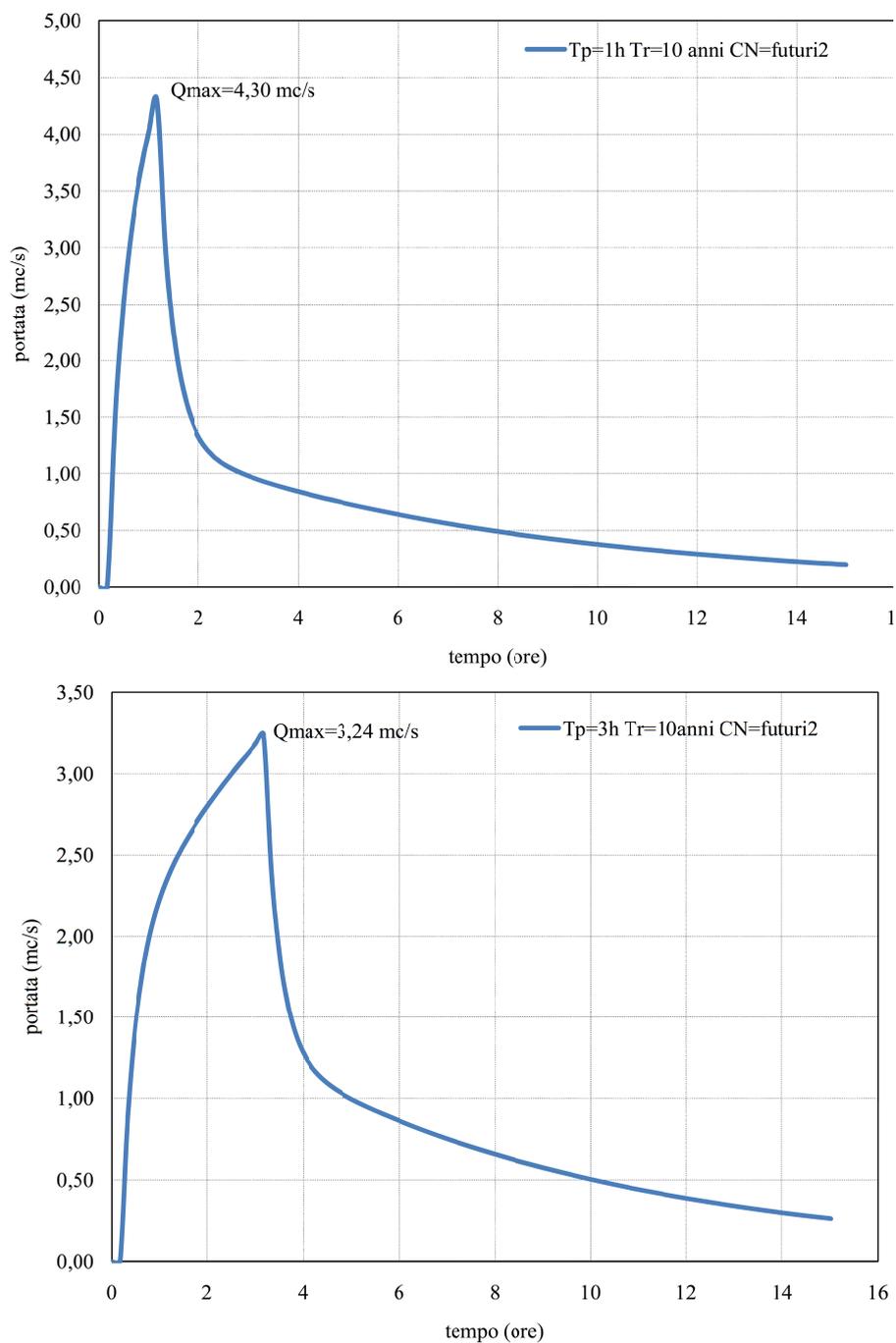


Figura 7.10: Curve Number futuri 2 - stazione di Padova- grafico per piogge di 1 ora e 3 ore

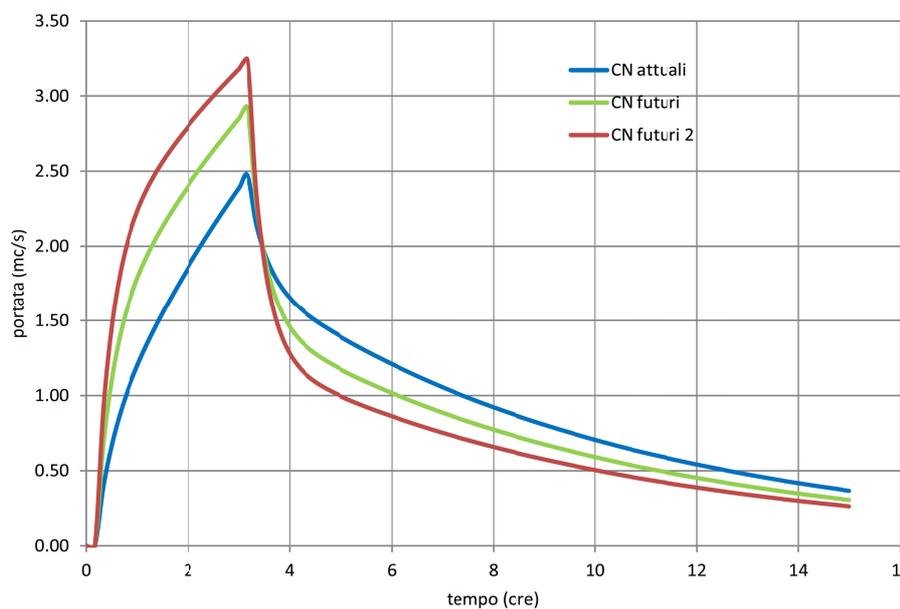
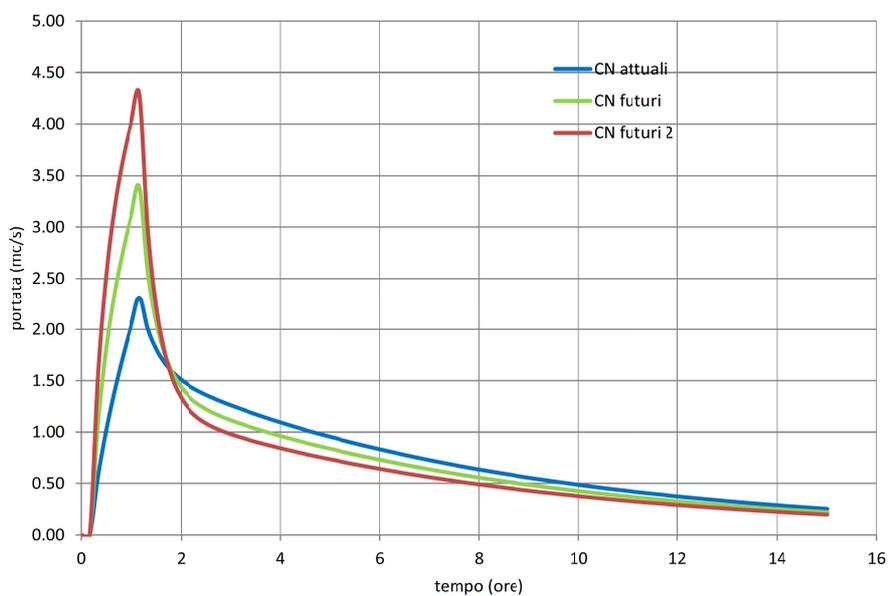


Figura 7.11: Stazione di Padova- sintesi risultati per piogge di 1 ora e 3 ore

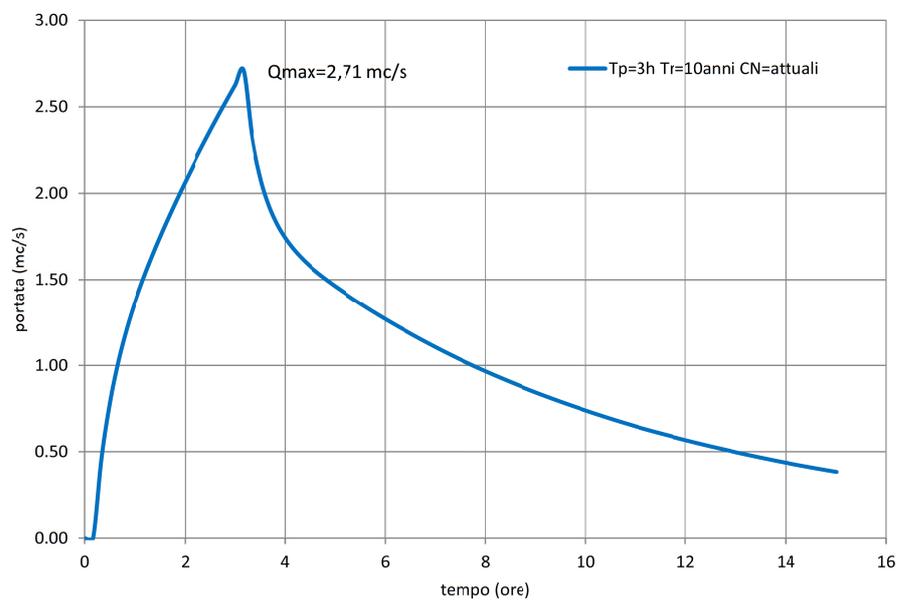
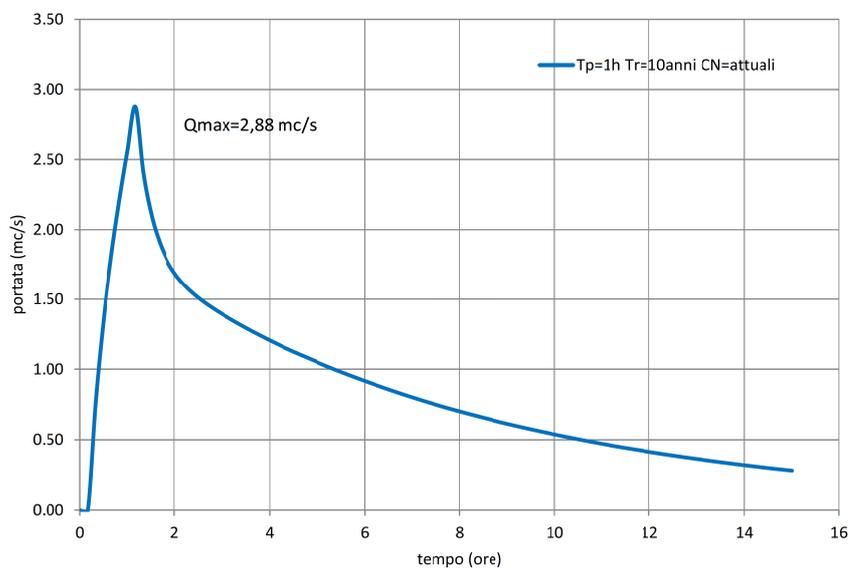


Figura 7.12: *Curve Number* attuali - stazione di Orto Botanico - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore

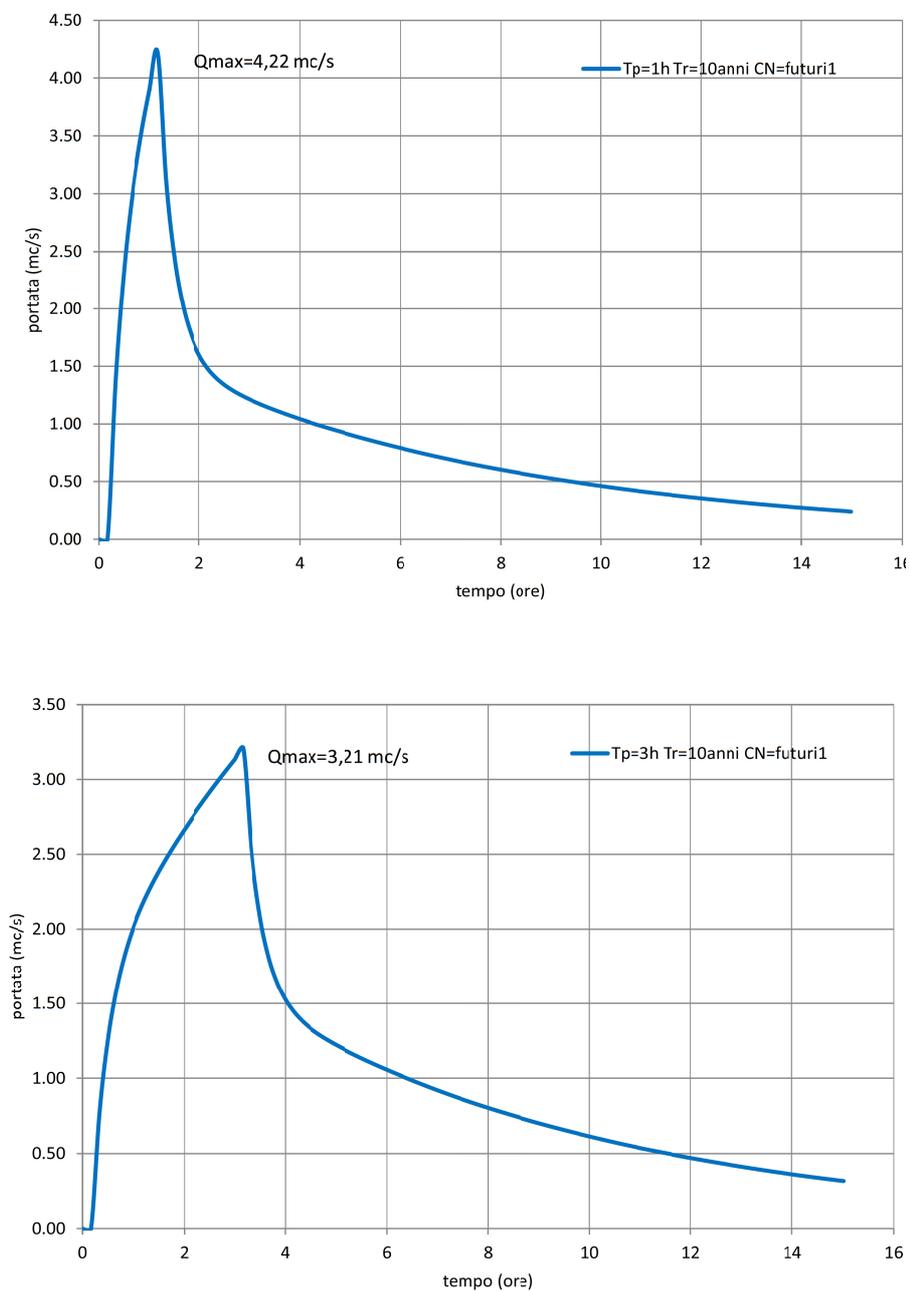


Figura 7.13: Curve Number futuri - stazione di Orto Botanico - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore

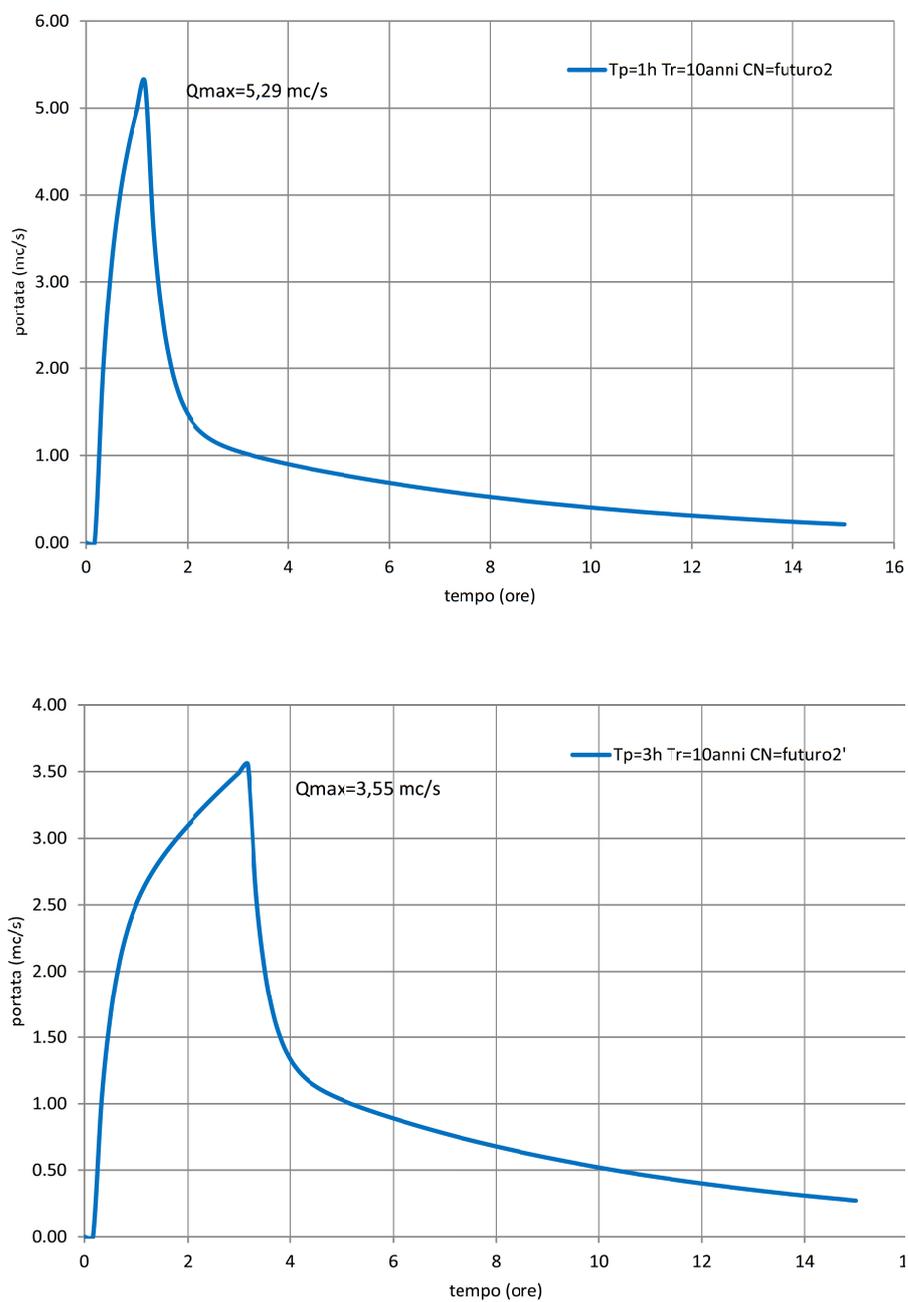


Figura 7.14: Curve Number futuri 2 - stazione di Orto Botanico - grafico per piogge di 1 ora e 3 ore

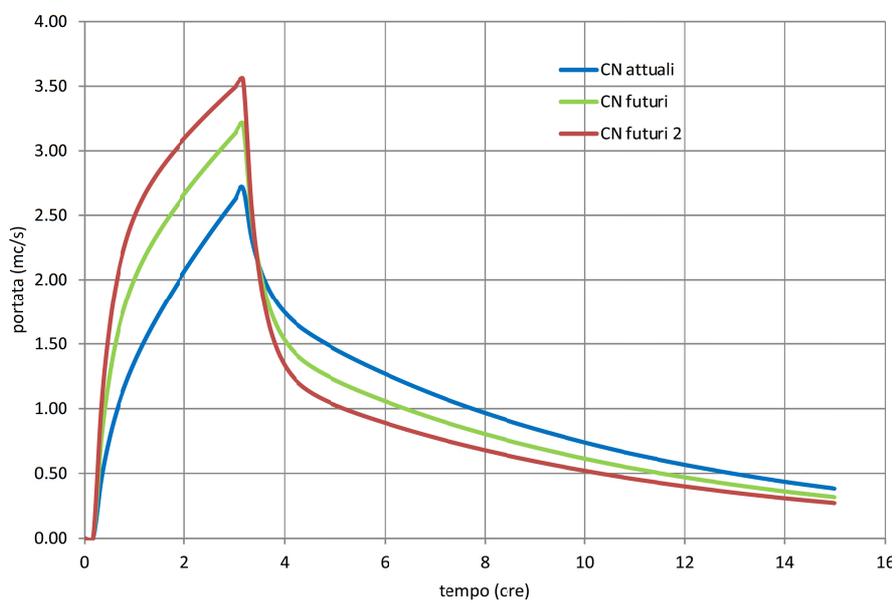
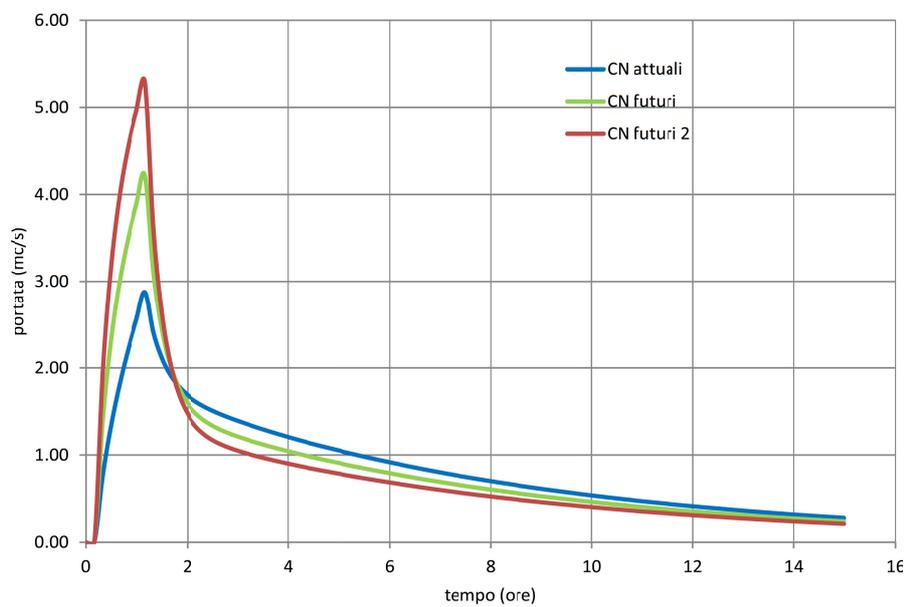


Figura 7.15: Stazione di Orto Botanico- sintesi risultati per piogge di 1 ora e 3 ore

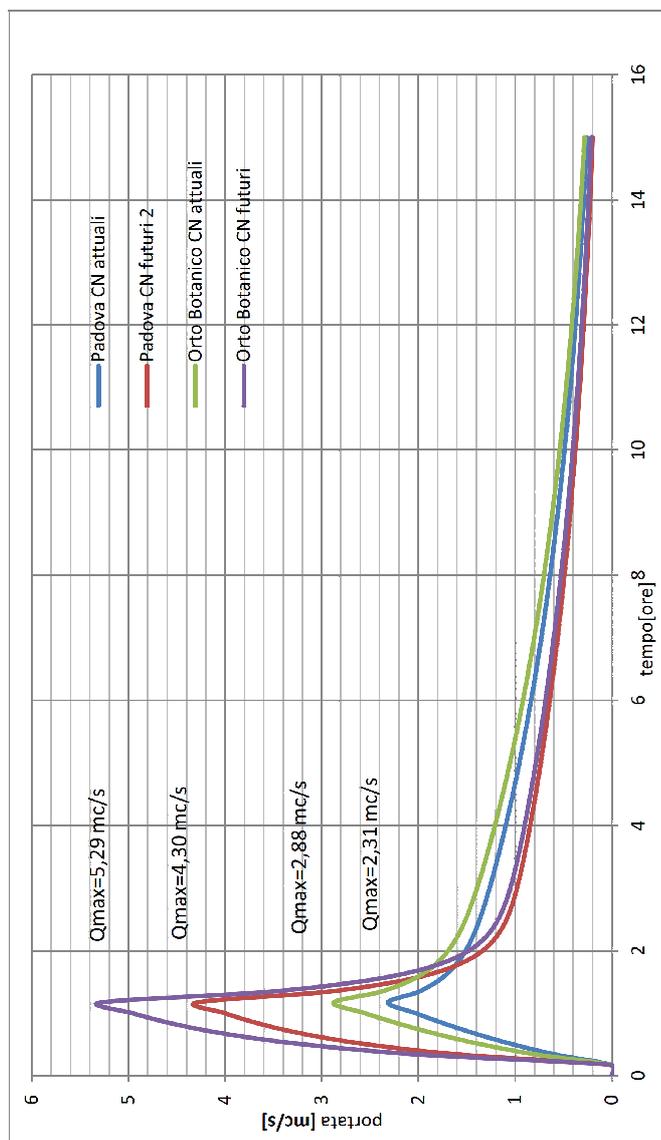


Figura 7.16: Confronto dei i valori di picco 1 ora nelle conformazioni *attuali* e *futuri2* tra i dati pioggia Padova ed Orto Botanico

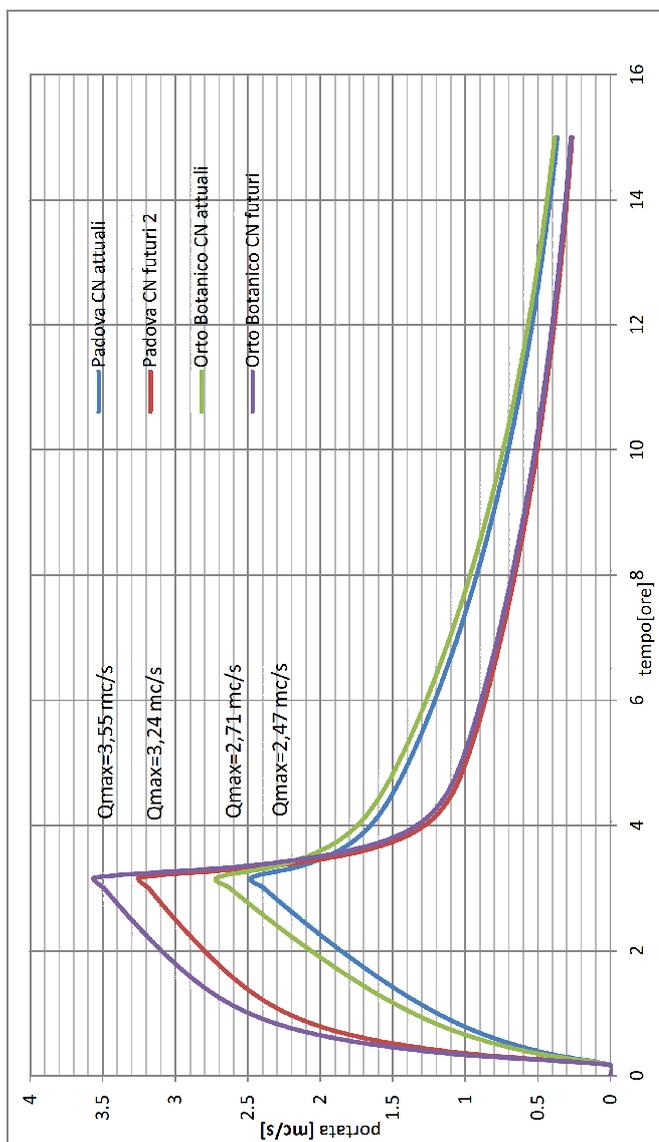


Figura 7.17: Confronto dei i valori di picco 3 ore nelle conformazioni *attuali* e *futuri2* tra i dati pioggia Padova ed Orto Botanico

Capitolo 8

Conclusioni

La presente tesi si è incentrata sullo studio di un bacino inserito nel Comune di Padova di particolare interesse per lo sviluppo economico e sociale del territorio padovano. Lo studio redatto ha posto l'attenzione su alcune problematiche legate alla pianificazione territoriale, all'uso del suolo, alle relative trasformazioni e alle difficoltà di adeguare le infrastrutture idrauliche.

Non si sono approfonditi tutti gli aspetti idraulici, ma ci si è limitati ad analizzare il territorio e le presenti infrastrutture idrauliche, per poi descrivere i cambiamenti nel caso specifico della nuova destinazione d'uso.

Quando infatti aree verdi ad uso agricolo o boschivo vengono trasformate in aree edificate ad uso urbano, si modificano sostanzialmente molte delle caratteristiche idrologiche ed idrauliche, per cui la pianificazione urbanistica non può assolutamente prescindere da esse. Le conseguenze, in caso contrario, possono essere molto negative per l'intero sistema, comportando lavori di adeguamento successivi molto onerosi.

Risulta poi necessario sottolineare l'importanza da porre nella previsione delle precipitazioni, da svolgersi preventivamente: essa deve essere accurata ed aggiornata ai casi critici più recenti; una sottostima dei valori di pioggia può portare, come visto, a differenze sostanziali sui volumi d'acqua affluenti alla sezione di chiusura anche in un bacino di modeste dimensioni. Nel caso in esame difatti si sono presentati valori differenti anche del 20% sul picco di portata a parità di tempo di corrivazione.

Si è analizzato infine quale differenza di volume invasato porti un'urbanizzazione, dapprima lieve, compatibile con l'effettiva previsione urbanistica per l'area in esame, ed una seconda, nettamente più intensa e prevedibile per un futuro un po' più lontano. I risultati parlano chiaramente di una difficoltà per l'attuale impianto idraulico di sopperire a tale crescita senza un consapevole adeguamento.

In base a queste analisi si riscontra una volta in più l'importanza del legame

8. Conclusioni

tra le trasformazioni del territorio, la protezione idraulica e gli strumenti urbanistici che devono operare in simbiosi tenendo conto di tutte le problematiche ad esse legate.

Si è dimostrato quindi l'attualità della tesi nella rilevanza di ogni trasformazione dell'uso del suolo per gli adeguamenti delle infrastrutture idrauliche.

Appendice

Si riporta in Appendice una documentazione fotografica dell'area in esame, dove si è posta l'attenzione sullo scolo Delle Basse e delle aree ad oggi non ancora urbanizzate, dove è prevista l'edificazione del nuovo centro ospedaliero. In aggiunta si sono considerati tutte le opere idrauliche già presenti, dai sottopassi alle stazioni di sollevamento.



Figura 1: Vista Aerea della zona considerata



Figura 2: Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo



Figura 3: Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo

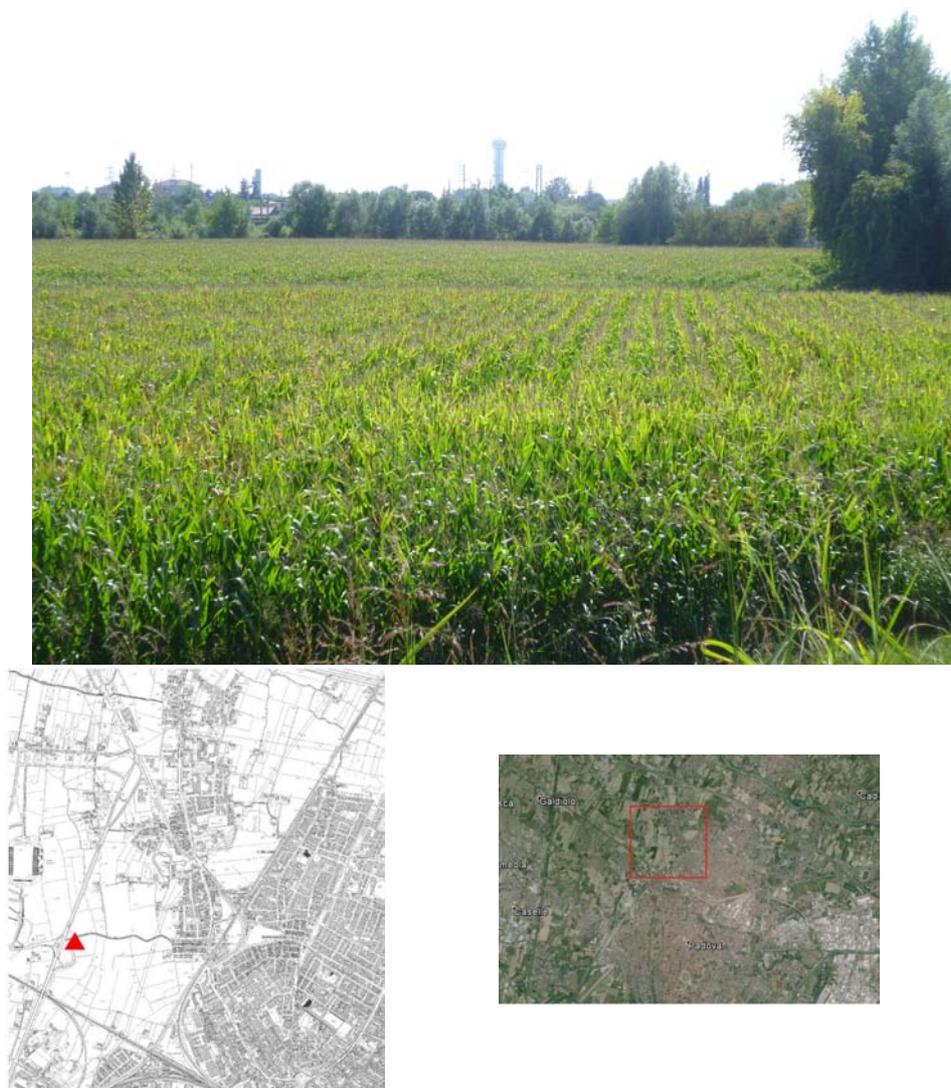


Figura 4: Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo



Figura 5: Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo



Figura 6: Vista dalla tangenziale uscita numero 2 - stadio Euganeo



Figura 7: Stazione di sollevamento in prossimità del sottopasso Stadio Euganeo



Figura 8: Stazione di sollevamento in prossimità del sottopasso Stadio Euganeo



Figura 9: Vista dello scolo Delle Basse - tangenziale



Figura 10: stazione di sollevamento di via Cignaroli - tangenziale

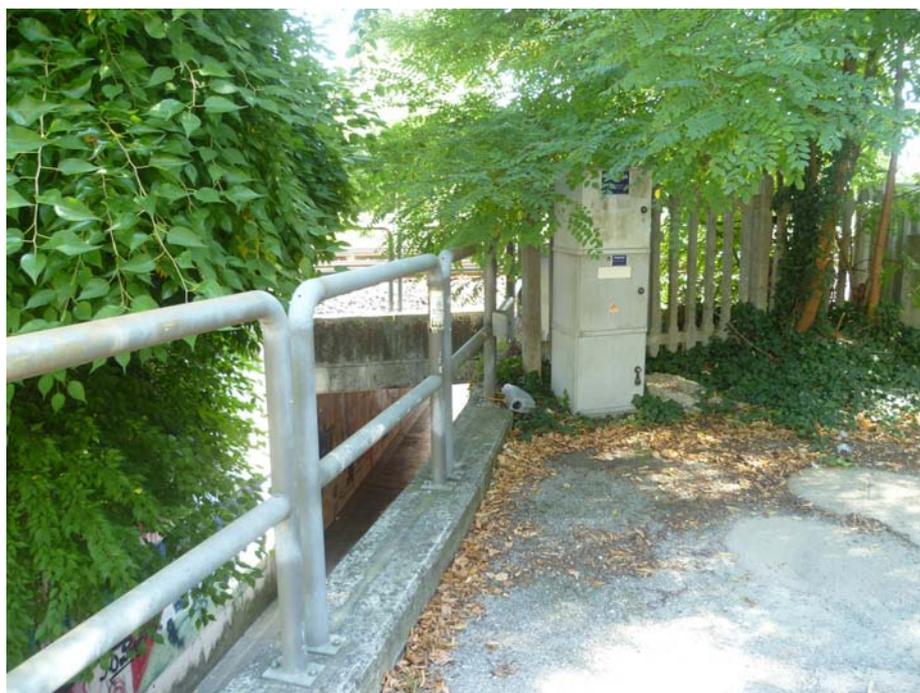


Figura 11: stazione di sollevamento di via Istria



Figura 12: Zona agricola in area d'esame



Figura 13: Scolo Limenella nell'area in esame



Figura 14: Nuovo cavalcavia Sarpi-Dalmazia

Bibliografia

- [1] Luigi Da Deppo, Claudio Datei : *Fognature*, Quarta Edizione. Ed.Libreria Internazionale Cortina Padova. 2004.
- [2] Luigi Da Deppo, Claudio Datei, Paolo Salandin : *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Ed. Libreria Internazionale Cortina. 2010
- [3] Rodriguez-Itorbe Ignacio, Andrea Rinaldo : *Fractal river basin. Chance and self organization*, Cambridge Unipress, 1997
- [4] Marco Marani: *Processi e modelli dell'idrometeorologia - Un'introduzione*, Marzo 2005
- [5] Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta: *Indirizzi per mitigare l'impatto idraulico delle trasformazioni del territorio*.
- [6] Umberto Trame : *I luoghi della cura. Studi e progetti per il nuovo ospedale e la facoltà di medicina della città di Padova*, Ed. Il Poligrafo, 2010
- [7] Giulio Veronese: *Acque di Padova*, Consorzio di Bonifica Bacchiglione
- [8] Luciano Gavin: *Misure di salvaguardia idraulica*, Quaderni del piano territoriale n2
- [9] Tesi di laurea di Pietro Gusella "Progetto di risistemazione della rete di drenaggio di parte del bacino Fossetta, nel comune di Padova" anno accademico 2004-2005
- [10] AA.VV: *I numeri di Padova 2009*, a cura del Comune di Padova
- [11] Luigi D'Alpaos: *I rischi di inondazione nella provincia di Padova*, Febbraio 2009
- [12] AA.VV: *Città di Padova-città di sinergie per il futuro*
Siti internet:
- [13] Sito della regione Veneto: www.regione.veneto.it
- [14] Sito del comune di Padova: www.padovanet.it

[15] Sito del dipartimento di idraulica dell'università di Padova:
www.image.unipd.it/didattica

[16] Sito del Consorzio di Bonifica Bacchiglione: *www.consorziobacchiglione.it*

