



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI FERRARA



Analisi e procedure idrologiche di riferimento

Marco Franchini
Università degli Studi di Ferrara

MODERNI SVILUPPI APPLICATIVI NEL CAMPO DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA
DEL RETICOLO DI BONIFICA
Ferrara 18 Ottobre 2013

Il problema

- Costruzione dell'onda di piena conseguente ad un evento pluviometrico di assegnato tempo di ritorno su di un assegnato bacino (comparto agricolo);
- Quantificazione del picco di piena;
- Confronto fra il picco di piena e la capacità di sollevamento dell'impianto posto a chiusura del bacino oppure fra il picco di piena e l'officiosità della sezione terminale.

La metodologia

Nel bacino si identifica una rete idraulica alimentata dall'apporto di sottobacini.

Mentre l'onda di piena alla chiusura dei sottobacini viene ricostruita mediante una modellistica idrologica, la propagazione della piena nella rete di canali avviene mediante modellistica idraulica.

La modellistica Idrologica

Consente di trasformare l'evento di pioggia areale nell'onda di portata alla sezione di chiusura del bacino tenendo conto del tipo di suolo, dell'uso del suolo e dello stato di imbibizione del suolo.

La modellistica idraulica

Consente di propagare nello spazio e nel tempo del portate che si immettono nella rete e di calcolare i corrispondenti livelli idrici.

Passi per l'applicazione della modellistica idrologica

Definizione dello ietogramma areale

Calcolo della pioggia netta

Convoluzione alla sezione di chiusura del (sotto)bacino.

Lo ietogramma areale

Zone agricole: rettangolare, ovvero ad intensità costante nel tempo;

Zone urbane: a blocchi alternati.

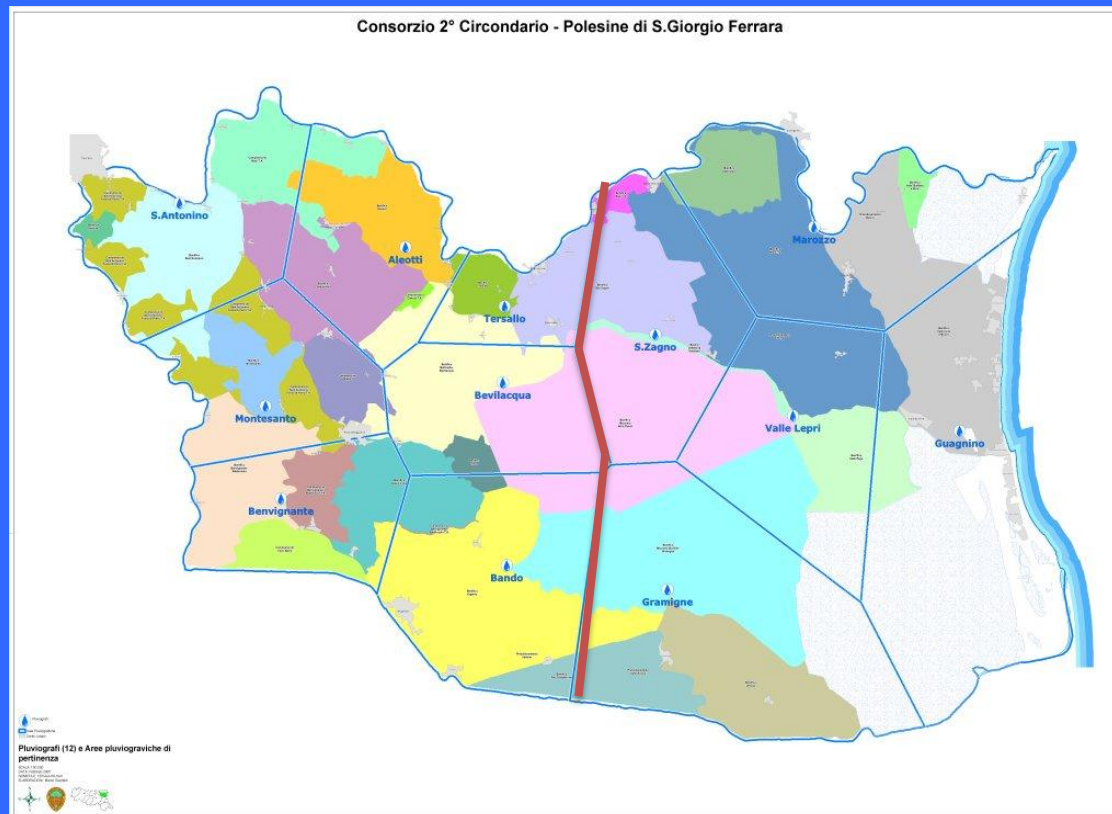
Ietogramma in zone agricole

Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale per assegnata durata e assegnato tempo di ritorno;

Ragguaglio all'area dell'altezza di pioggia.

Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale per assegnata durata e assegnato tempo di ritorno

L'analisi idrologica riferita ai 120.000 ha di superficie territoriale ha permesso di individuare 2 zone EST ed OVEST con ideale linea di separazione nord-sud nella parte mediana. Ciò in quanto sussiste una sostanziale omogeneità del regime pluviometrico imputabile ragionevolmente alla vicinanza o meno al mare Adriatico o ai grandi specchi vallivi presenti nella fascia costiera.



Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale per assegnata durata e assegnato tempo di ritorno

Divisione dell'anno in due periodi: "Umido" e "Secco"

Lo studio delle precipitazioni è avvenuto previa suddivisione dell'anno solare in due periodi denominati "Stagione SECCA" (Aprile - Settembre) e "Stagione UMIDA" (Ottobre - Marzo) ciascuno contrassegnato da diverse condizioni di regime pluviometrico, di umidità del suolo e di gestione dei canali di bonifica.

stagione SECCA: piogge tendenzialmente brevi ed intense, scarsa umidità del suolo, attività irrigua in corso;

stagione UMIDA: piogge di durata significativa ma di modesta intensità, sensibile umidità del suolo, assenza di attività irrigua

Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale per assegnata durata e assegnato tempo di ritorno

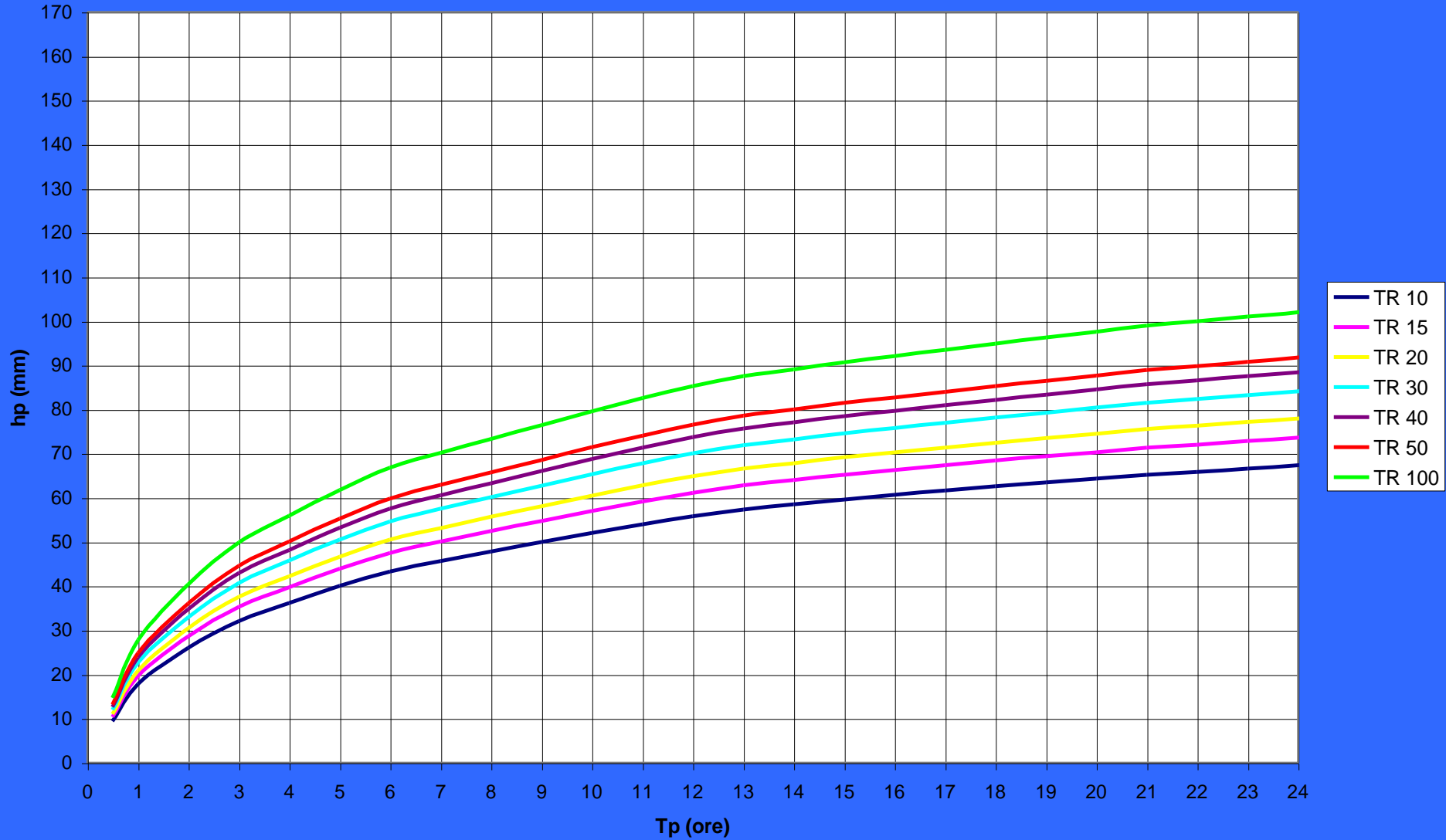
Curve di possibilità climatica puntuali «Regionalizzate»

Tenendo conto della suddivisione in due zone e in due periodi dell'anno, si è proceduto nel seguente modo:

1. Per ogni pluviometro: ricerca dei massimi di pioggia annuali per diverse durate con il metodo della finestra mobile;
2. Per ogni pluviometro: calcolo della media dei massimi annui per le relative durate e adimensionalizzazione delle altezze di pioggia massime annue;
3. Creazione di un unico campione di massimi adimensionalizzati per ogni zona (EST, OVEST) per ogni periodo (UMIDO, SECCO) e per ogni durata.
4. Applicazione del modello probabilistico di Gumbel sul campione di dati di pioggia adimensionalizzata.
5. Stima dell'altezza di pioggia media **di assegnata durata** (media pesata delle medie di ciascuna stazione).
6. Costruzione della curva di possibilità climatica moltiplicando i valori adimensionali di assegnato tempo di ritorno per la media associata a ciascuna durata.

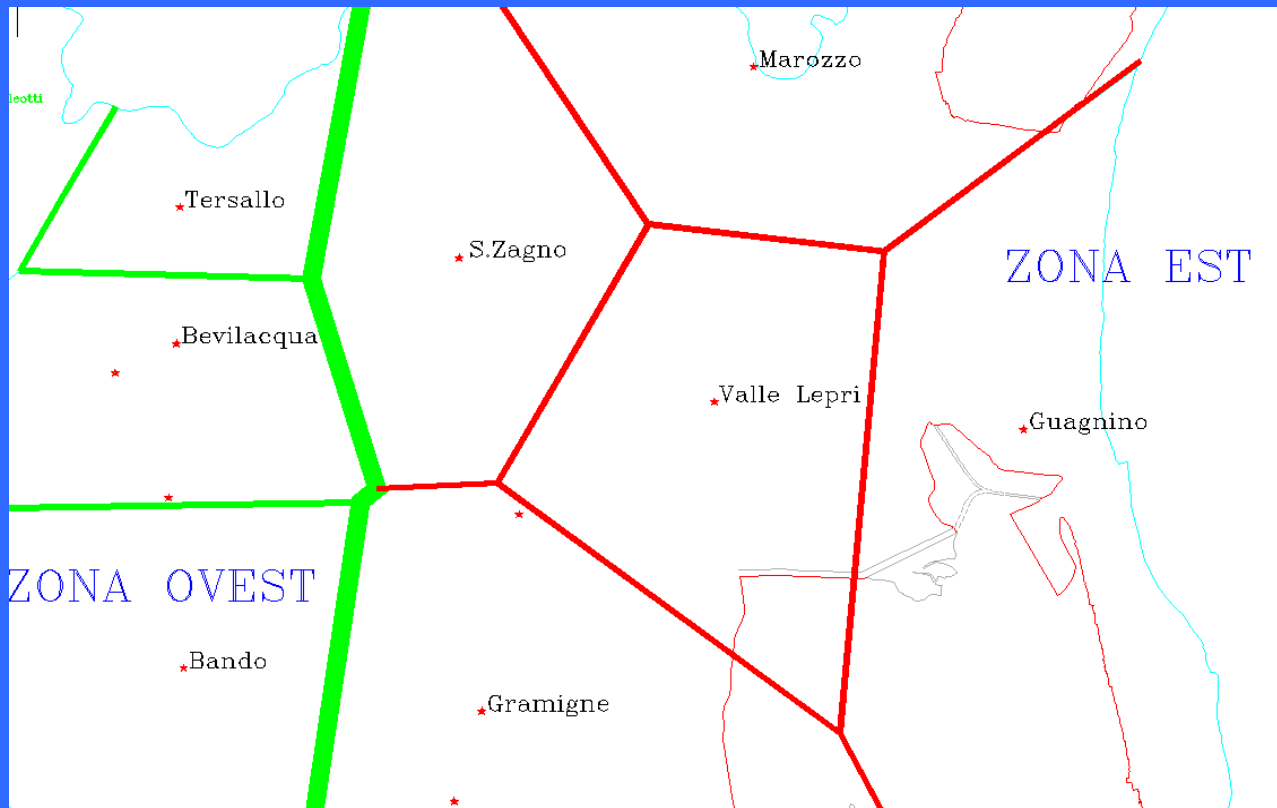
Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale per assegnata durata e assegnato tempo di ritorno

ZONA EST - PERIODO UMIDO - CURVA POSS. CLIMATICA



Ragguaglio all'area dell'altezza di pioggia

Di ogni pluviometro si sono individuati i pluviometri limitrofi rispettando i limiti di zona.
es. Pluviometro Valle Lepri: Marozzo; Guagnino; Gramigne; S.Zagno

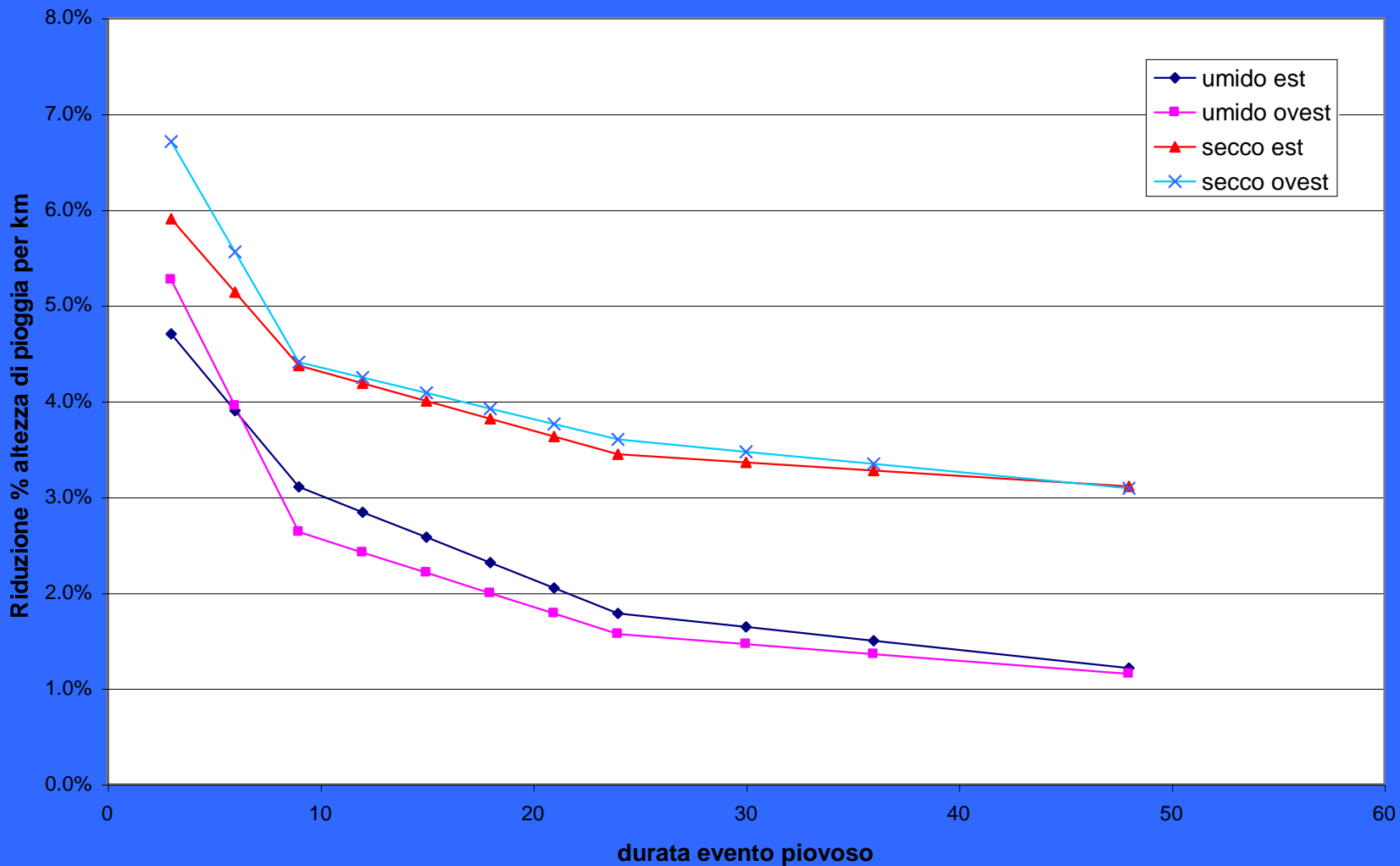


Ragguaglio all'area dell'altezza di pioggia

STAGIONE SECCA					
PLUVIOGRAFI ZONA EST		riduzione per km			
PLUVIOGRAFO MASTER	PLUVIOGRAFI	3h	9h	24h	48h
S. ZAGNO	Marozzo	4.5%	3.8%	2.7%	2.5%
	Valle Lepri	8.5%	7.1%	5.0%	4.6%
	Gramigne	5.6%	4.6%	3.5%	3.1%
MAROZZO	San Zagno	4.0%	2.4%	2.1%	2.3%
	Valle Lepri	6.2%	4.9%	5.0%	4.5%
	Guagnino	4.9%	3.9%	3.2%	2.8%
VALLE LEPRI	Gramigne	6.9%	5.7%	4.6%	4.4%
	San Zagno	8.4%	5.5%	4.0%	3.4%
	Guagnino	7.9%	5.9%	5.1%	4.3%
	Marozzo	6.5%	5.4%	3.8%	3.2%
GUAGNINO	Marozzo	3.7%	2.2%	1.0%	1.1%
	Valle Lepri	6.7%	4.5%	3.8%	4.3%
	Gramigne	4.2%	3.1%	2.5%	2.5%
GRAMIGNE	San Zagno	5.3%	2.7%	2.4%	1.8%
	Valle Lepri	7.1%	4.7%	3.9%	3.2%
	Guagnino	4.1%	3.5%	2.7%	1.9%
	media	5.9%	4.4%	3.4%	3.1%

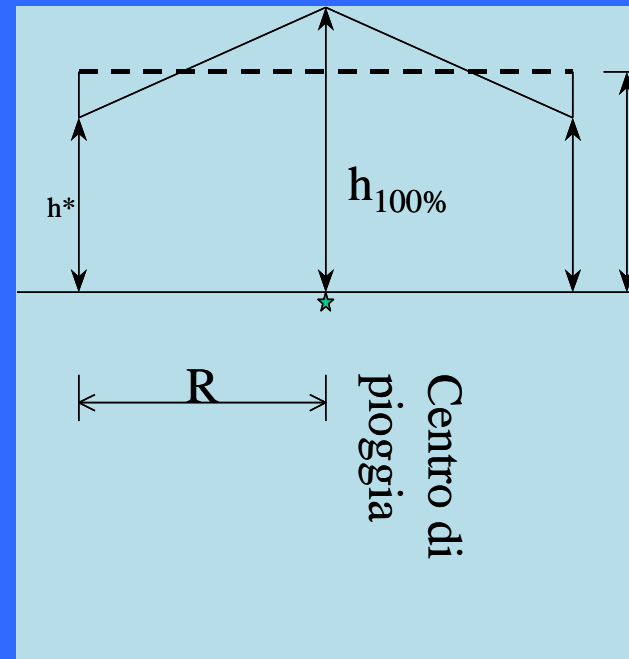
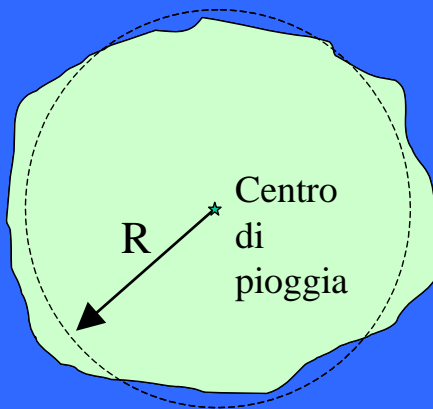
riduzioni per km relative ai pluviometri della zona Est nel periodo secco

Ragguaglio all'area dell'altezza di pioggia



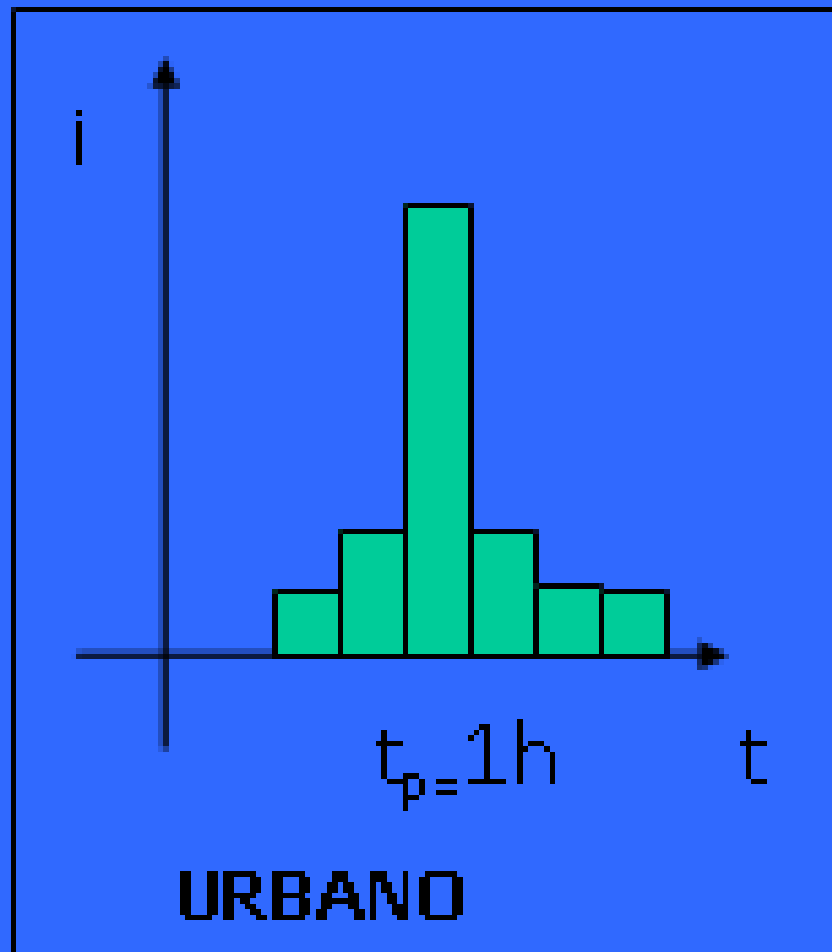
Ragguaglio all'area dell'altezza di pioggia

- Si fissa la durata della precipitazione;
- Si calcola dalla curva di possibilità climatica regionale per il periodo considerato l'altezza di precipitazione ($h_{100\%}$).
- Si pone il centro di scroscio baricentrico rispetto al bacino considerato.
- Si considera un solido di pioggia avente $h_{100\%}$ al centro del bacino con decremento verso la zona periferica pari al decremento medio di Zona (per la durata considerata).
- Si ricava così h_{med} da applicare all'intero bacino con intensità costante.



Ietogramma per le zone urbane

Ietogramma a blocchi alternati basato sull'altezza di precipitazione dedotta dalla curva di possibilità climatica regionale per assegnato tempo di ritorno sulla durata di 1 ora. Suddivisione in intervalli di 10 minuti.



Calcolo della pioggia netta e convoluzione Terreno Agricolo

La procedura per il calcolo della pioggia netta è quella del "Curve Number" CN del Soil Conservation Service che si basa sulle seguenti correlazioni:

$$S = (25400 / CN) - 254$$
$$P_n(t) = \frac{[P(t) - I_a]^2}{[P(t) - I_a + S]}$$

Dove:

S [mm] capacità di ritenzione del suolo;

I_a [mm] valore delle perdite iniziali (è solitamente indicato pari a $0.2 * S$, ma sulla base di stime di campo si è assunto cautelativamente $I_a = 0.1 * S$);

$P_n(t)$ [mm] altezza di pioggia netta che concorre alla formazione del deflusso fino all'istante t ;

$P(t)$ [mm] altezza di pioggia precipitata fino all'istante t .

Calcolo della pioggia netta e convoluzione Terreno Agricolo

L'applicazione del metodo CN è subordinata alla determinazione:

- del numero di curva "CN";
- della condizione di umidità al suolo antecedente l'evento piovoso AMC «Antecedent Moisture Condition».

Il numero CN dipende dal:

- Tipo di suolo;
- Uso del suolo.

Con riferimento alle condizioni medie di imbibizione del suolo (CNII)

Calcolo della pioggia netta e convoluzione

Terreno Agricolo

Per la relazione fra CN e uso del suolo si è fatto riferimento a quanto determinato nello studio “Una sentinella per il territorio “ Consorzio di Bonifica Burana Leo Scoltenna Panaro – D.I.S.T.A.R.T., Università degli Studi di Bologna) e da quanto riportato nel testo «Idrologia Tecnica - La Goliardica Pavese», di Ugo Moisello

Descrizione dell'uso del Terreno ¹		Gruppi di terreno			
		A	B	C	D
Terreno a maggese:	suolo nudo	77	86	91	94
	Presenza di residui ²	74-76	83-85	88-90	90-93
Colture in filare ³ :	lavorata lungo massima pendenza (P)	67-72	78-81	85-88	89-91
	P con presenza di residui (R)	64-71	75-80	82-87	85-90
	Lavorata lungo le linee di livello (G)	65-70	75-79	82-84	86-88
	G+R	64-69	74-78	81-83	85-87
	Terrazzato (T)	62-66	71-74	78-80	81-82
	T+R	61-65	70-73	77-79	80-81
Granaglie ⁴ :	P	63-65	75-76	83-84	87-88
	P+R	60-64	72-75	80-83	84-86
	G	61-63	73-74	81-82	84-85
	G+R	60-62	72-73	80-81	83-84
	T	59-61	70-72	78-79	81-82
	T+R	58-60	69-71	77-78	80-81
Verdure o colture a rotazione ⁵ :	P	58-66	72-77	81-85	85-89
	G	55-64	69-75	78-83	83-85
	T	51-63	67-73	76-80	80-83
Pascolo o terreno brado: cattive-buone condizioni		39-68	61-79	74-86	80-89
Prato: buone condizioni		30	58	71	78
Bosco o foresta:	strato di copertura sottile, nessun paccame	45	66	77	83
	Copertura ricca ⁶	25	55	70	77
Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri a prato, etc: Buone condizioni: copertura in erba per almeno il 75% Discrete condizioni: copertura dal 50% al 75%		39 49	61 69	74 79	80 84
Aree per il commercio o di vendita (85% impermeabile)		89	92	94	95
Distretti industriali (72% impermeabile)		81	88	91	93
Residenziale ⁴ Dimensione media lotti: Percentuale media impermeabile ⁷ :					
1/20 ettaro o meno 65%		77	85	90	92
1/10 ettaro 38%		61	75	83	87
1/6-1/7 ettaro 30%		57	72	81	86
1/5 ettaro 25%		54	70	80	85
1/2 ettaro 20%		51	68	79	84
Lotti a parcheggio pavimentati, tetti, vie di accesso, etc. ⁸		98	98	98	98
Strade e vie Pavimentate con cordolo e scolo ⁶		98	98	98	98
Ciottolate		76	85	89	91
Sterrate		72	82	87	89

¹ Tabella riassuntiva dell'uso del curve number desunta da SCS, 1972, capitolo 9.

² È fornito un range di valori da cui scegliere quello idoneo sulla base dello stato idrologico; valori più alti sono associati a condizioni idrologiche tali da facilitare il deflusso superficiale. Fattori che influenzano il run-off (deflusso) sono la densità, frequenza nell'anno e frazione della copertura vegetativa (frazione >20% ostacola significativamente il run-off), dimensioni dell'erba e grado di rugosità della superficie.

³ La copertura si intende ricca se è anche protetta da usi pascolo, discarica, disboscamento.

⁴ Il CN è valutato assumendo che il deflusso dalla casa e dalle vie d'accesso sia diretto verso la strada e pertanto un minimo di strato d'acqua sia diretto verso prati (per i quali un'infiltrazione aggiuntiva è possibile). La suddivisione in dimensione media dei lotti rispecchia l'uso costruttivo degli Stati Uniti, caratterizzato da spazi verdi spesso decisamente maggiori che in Italia.

⁵ La rimanente area permeabile (prati) è supposta in buone condizioni da pascolo per questi CN.

⁶ In alcune zone a clima molto caldo un CN pari a 95 può essere preferito

Calcolo della pioggia netta e convoluzione

Per la determinazione dell'effettivo utilizzo del suolo (sia nel periodo secco sia nel periodo umido) si è fatto riferimento al Censimento 2000-2001 delle coltivazioni pubblicato nella sezione statistica del sito internet della Regione Emilia Romagna.

	Periodo Secco		Ovest		Est		Periodo Umido		Ovest		Est	
	Colture	CN	%	CN	%	Colture	CN	%	CN	%		
1	frumento orzo	73	20.00	69	21.0	nudo pastorizia	74	20.00	69	21.0		
2	riso bacini	100	0.00	100	3.0	nudo	86	0.00	83	3.0		
3	Mais girasole vivai bietole pomodori ortaggi	74	43.50	70	50.5	nudo	86	43.50	83	50.5		
4	soia piselli	72	9.00	67	6.5	nudo	86	9.00	83	6.5		
5	frutteti	66	16.50	55	5.5	frutteti	66	16.50	55	5.5		
6	set aside	86	3.00	83	3.0	set aside	86	3.00	83	3.0		
7	medica foraggi	65	8.00	58	10.5	medica foraggi	65	8.00	58	10.5		
Media pesata sul CN		72		68.8			79		75.9			

Infine, applicando le opportune medie pesate si sono ottenuti 4 valori di riferimento (CNII).

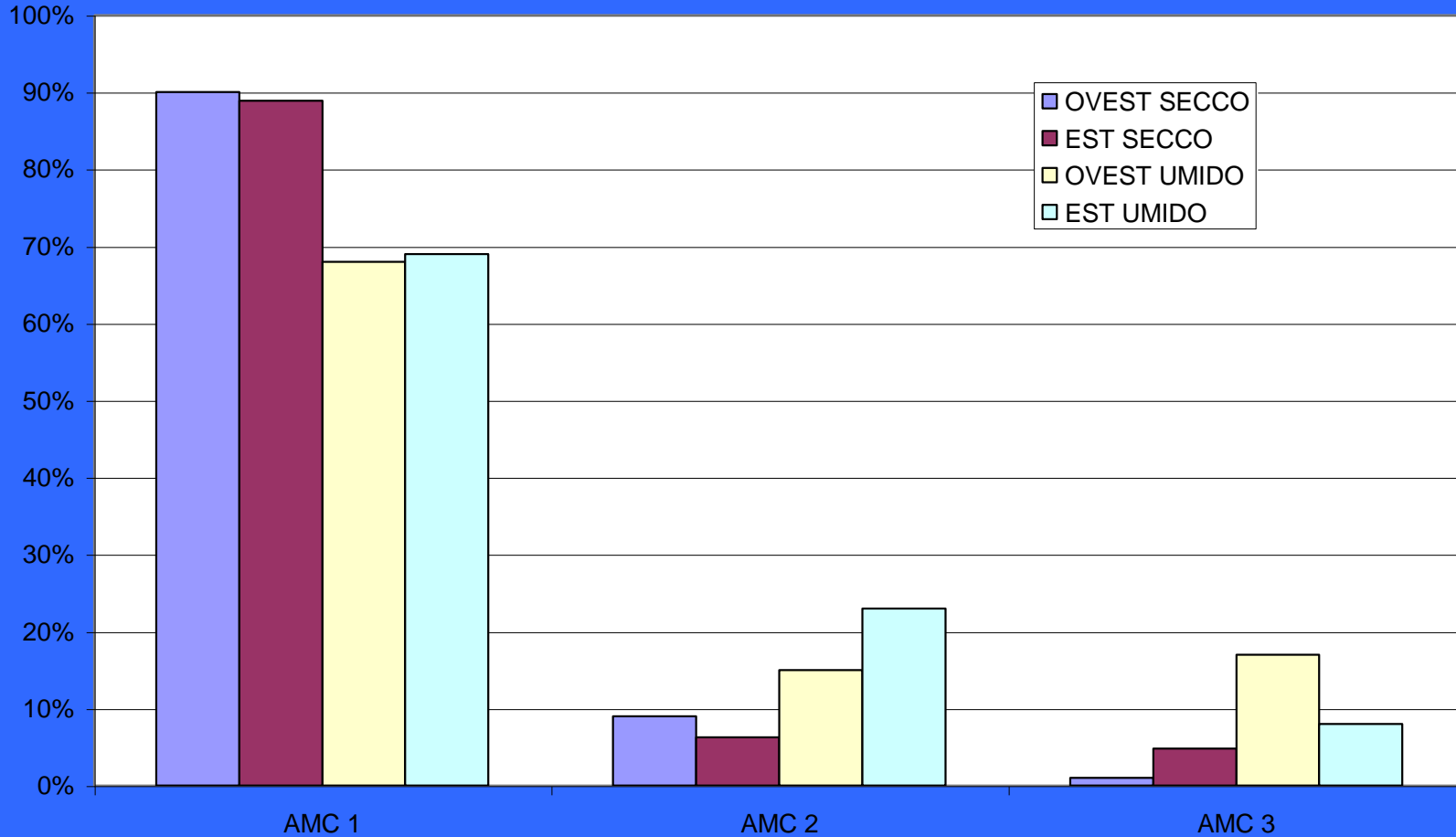
Calcolo della pioggia netta e convoluzione

Il metodo CN definisce tre classi di grado di imbibizione dei suoli "Antecedent Moisture Condition" (AMC) a seconda della stagione in cui ci si trova e a seconda di quanto è piovuto nei 5 giorni precedenti l'evento

Classe AMC	Precipitazione totale nei 5 giorni precedenti l'evento [mm]	
	Stagione di riposo (stagione umida)	Stagione di crescita (stagione secca)
I	< 13	< 36
II	13-28	36-53
III	> 28	> 53

Calcolo della pioggia netta e convoluzione Terreno Agricolo

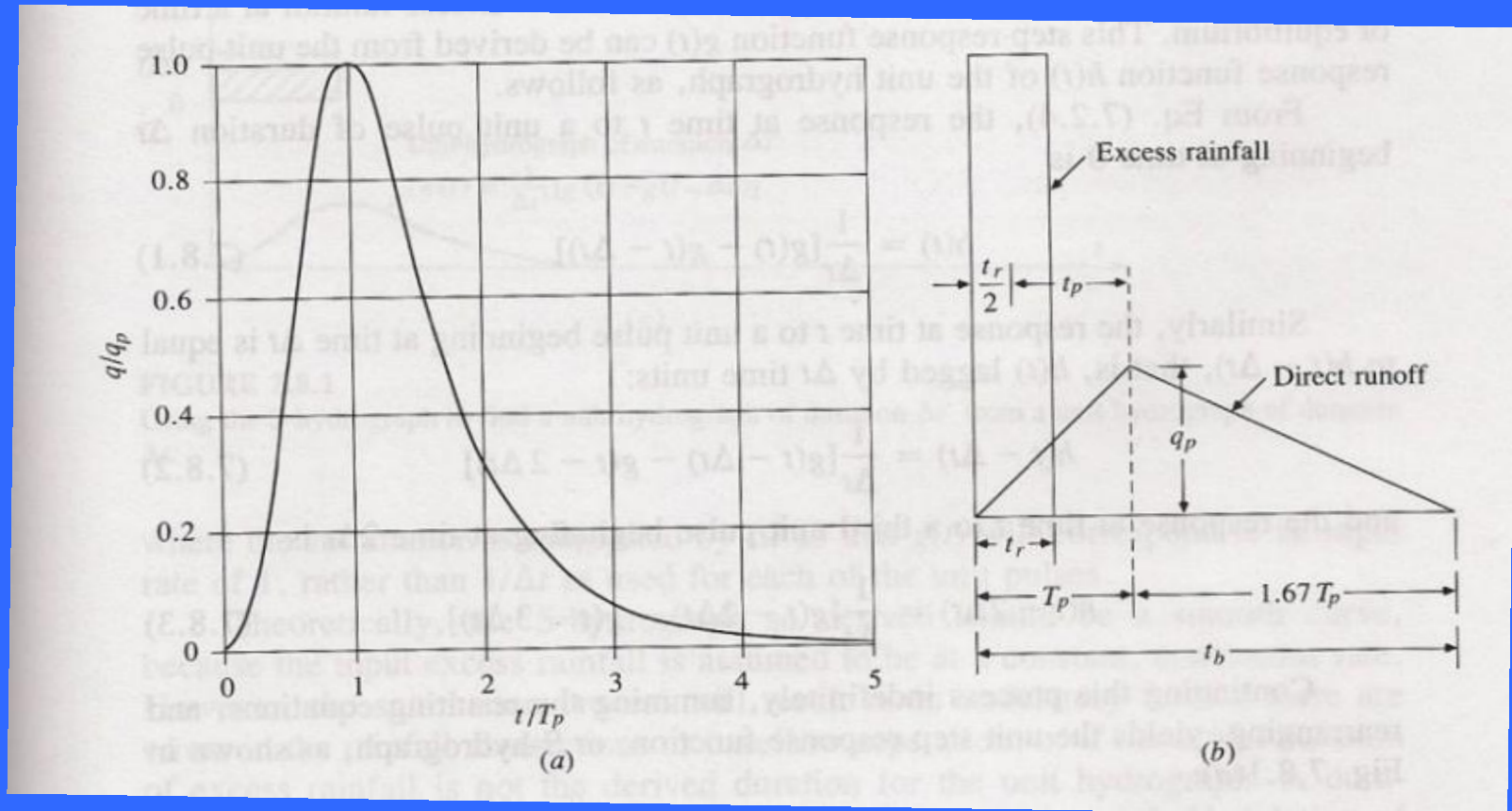
Andamento del parametro AMC per zone e per periodi



Percentuale di rappresentatività della variabile AMC per zone e per periodi.

Calcolo della pioggia netta e convoluzione Terreno Agricolo

IUH: metodo SCS basato solo sul tempo di ritardo.

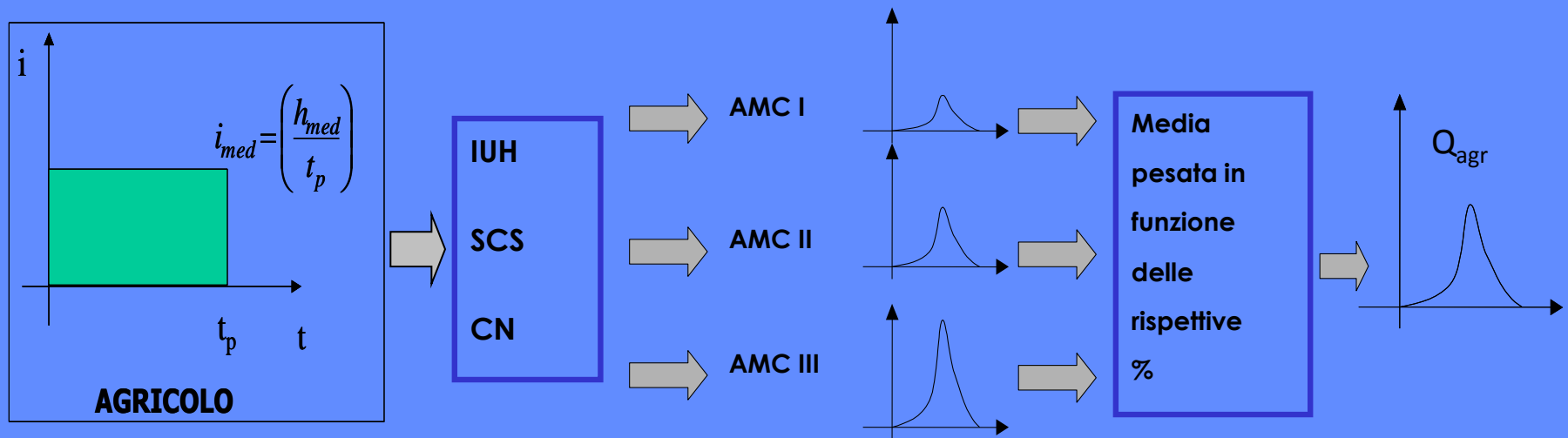


$$q_p = \frac{CA}{T_p}; \quad T_p = \frac{t_r}{2} + t_p; \quad t_p = 0.6T_c$$

Calcolo della pioggia netta e convoluzione Terreno Agricolo

Calcolo dell'onda di piena nella sezione di chiusura del sotto bacino modellato per via idrologica.

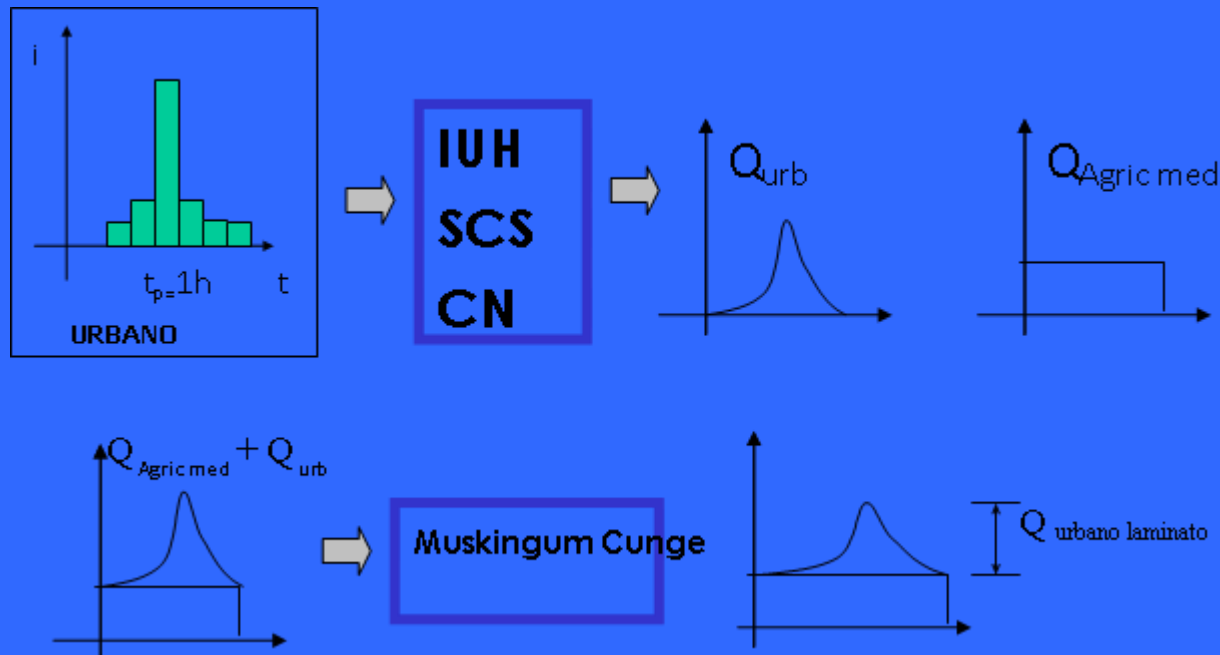
L'onda di piena si ottiene, per assegnata durata dello ietogramma areale, mediando i singoli idrogrammi di piena ottenuti con riferimento alle tre diverse condizioni di AMC. Le media è di tipo pesato dove i pesi sono le frequenze delle condizioni di AMC.



Calcolo della pioggia netta e convoluzione Terreno Urbano

Calcolo dell'onda di piena nella sezione di chiusura del sotto bacino modellato per via idrologica

- Si considera la pioggia di 1h e la si applica con il metodo dei blocchi alternati;
- Si calcola l'onda di piena nella sezione di chiusura del bacino urbano con $CN=88$ e $Ia=0$
- Si propaga l'onda di piena "urbana" fino alla sezione di chiusura del (sotto)bacino tramite il metodo di Muskingum Cunge tenendo conto della presenza della portata del comparto agricolo;
- Estrapolazione dell'effettiva portata dovuta all'area urbana sottraendo dall'onda ricavata tramite la propagazione con Muskingum Cunge la portata agricola media di base.



Calcolo della pioggia netta e convoluzione Terreno Agricolo + Urbano

Calcolo dell'onda di piena nella sezione di chiusura del sotto bacino modellato per via idrologica

Il calcolo della portata di riferimento alla sezione di chiusura del bacino diviene quindi la somma della portata agricola e della portata urbana propagata fino alla sezione stessa.

$$Q_{\text{bacino}} = Q_{\text{agr}} + Q_{\text{urb}} \text{ (propagata)}$$

Propagazione idraulica nel sistema idrico per la verifica delle opere di sollevamento e/o regolazione

Le onde di portata ricostruite con modellistica idrologica sono poste nelle sezioni di testa del reticolo di canali opportunamente rilevati e quindi propagate con modellistica di tipo idraulico basata sull'integrazione delle equazioni di de Saint Venant.



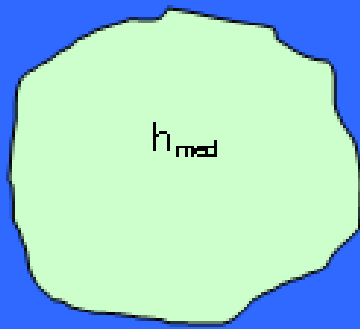


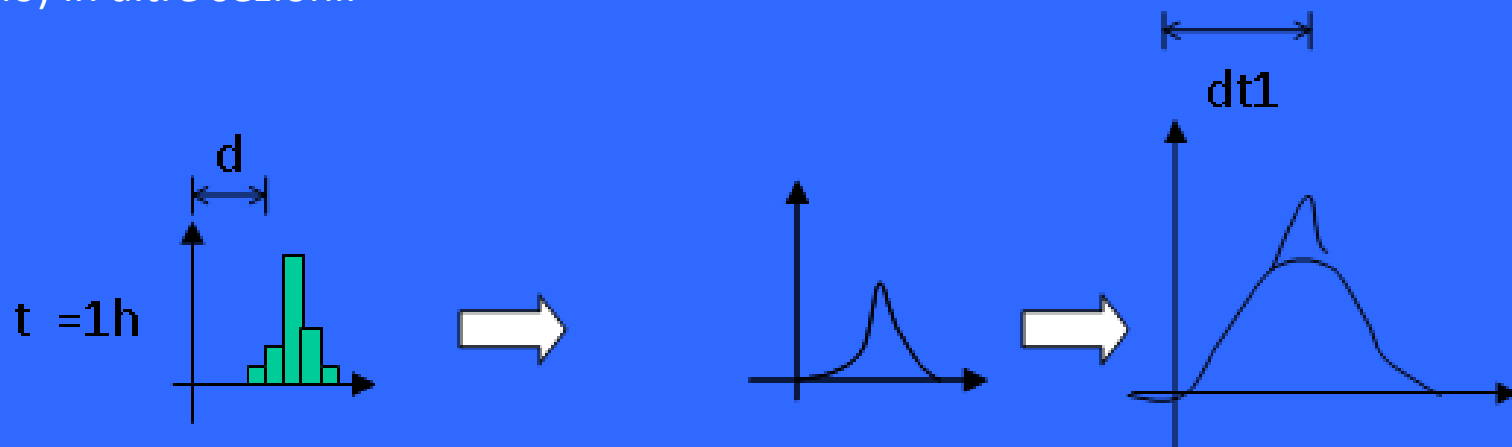
Fig. 16 simulazione1

VERIFICA DELLE OPERE IDRAULICHE – IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO

Si eseguono 4 simulazioni di diverso tipo

Simulazione 1. Per il comparto agricolo si determina la pioggia media ragguagliata all'area secondo le modalità prima descritte. Per i (sotto)bacini interni al comparto si calcola l'onda (attesa) allo sbocco con le modalità prima descritte.

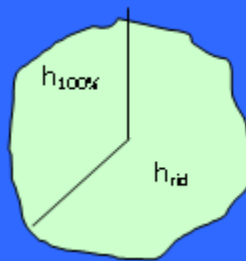
Per le superfici urbane si considera la pioggia di 1 ora con ietogramma a blocchi alternati e si calcola l'onda di piena alla sezione di chiusura del bacino urbano e quindi si propaga fino alla sezione di testa del relativo canale. Lo sfasamento temporale dt rispetto l'inizio della pioggia costante sull'agricolo sarà calcolato a seconda se si vuole ottenere la concomitanza dei picchi all'idrovoro oppure la concomitanza delle piene (urbano e agricolo) in altre sezioni.



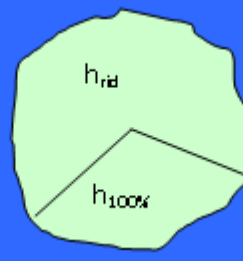
VERIFICA DELLE OPERE IDRAULICHE – IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO

La procedura si esegue sia per piogge “stagione umida” sia per piogge “stagione secca” variando conseguentemente le condizioni iniziali della rete (canali vuoti o canali con quota idrica a livello irriguo) per diverse durate della pioggia “tp”.

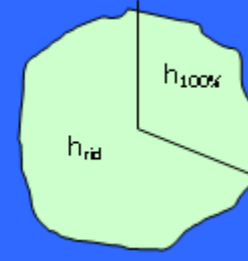
ULTERIORI 3 SIMULAZIONI



(a)



(b)



(c)

In ordine al comparto agricolo per una più corretta stima dell'efficienza dei canali secondari e dei manufatti su di essi esistenti si procede all'analisi degli effetti dell'applicazione di una precipitazione non ridotta ($h_{100\%}$) su una parte del bacino (pari a circa 1/3 della superficie totale) e di una precipitazione ridotta (h_{rid}) sull'area rimanente.

Così facendo si verificano in maniera adeguata i canali e le opere idrauliche presenti sui microbacini interessati dalla pioggia non ridotta e si evita una non giustificata sollecitazione non ridotta per dell'intera bonifica.

VERIFICA DELLE OPERE IDRAULICHE – IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO

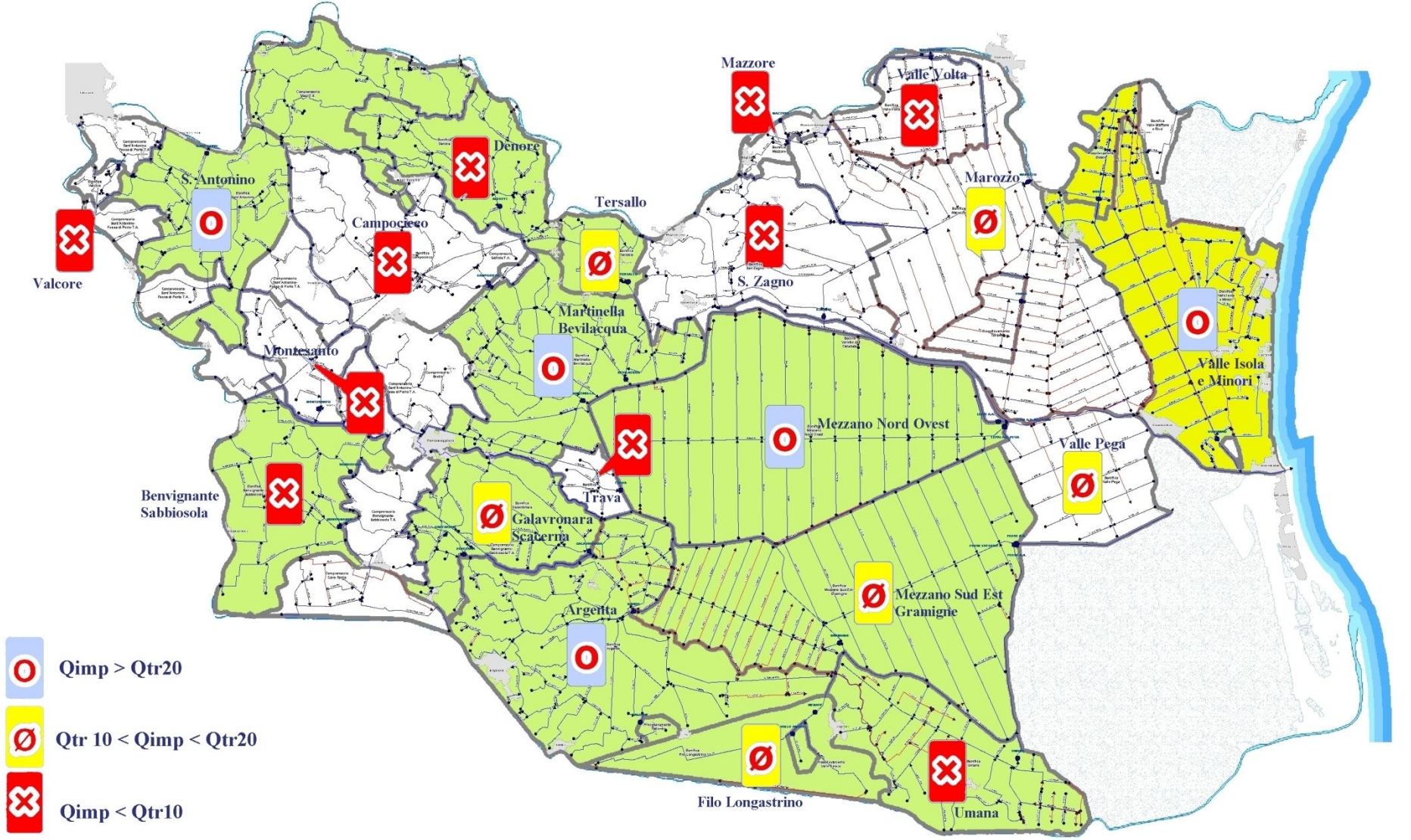
Per quanto attiene il contributo delle superfici urbanizzate nonché le modalità di collocazione nel tempo degli stessi, vale quanto già osservato in riferimento alla simulazione 1.

La verifica idraulica delle varie opere si esegue facendo riferimento alla situazione più gravosa fra quelle prodotte dalle 4 simulazioni.

■ Aree interessate da "recenti" lavori di adeguamento a finanziamento pubblico

□ Aree non interessate da "recenti" lavori di adeguamento a finanziamento pubblico

■ Aree interessate dal solo potenziamento dell'impianto idrovoro senza escavo canali



Consorzio 2° Circondario - Polesine di S.Giorgio Ferrara

Grazie
per
l'attenzione