

Il problema della determinazione delle perdite nella pratica ingegneristica

Con il nome di *perdite del bacino* si indicano le diverse componenti della frazione della pioggia lorda che viene a mancare rispetto al deflusso superficiale alla sezione di chiusura. Poichè il deflusso superficiale si può definire in modi diversi, anche le perdite risultano definite in modo non univoco. Ovviamente, i fenomeni fisici di cui le perdite sono il risultato avvengono in ogni caso, indipendentemente dal modo in cui si definisce il deflusso superficiale; dai fenomeni fisici quindi non si può prescindere, se si vuole rappresentare la trasformazione afflussi-deflussi (cioè la trasformazione della pioggia lorda in deflusso totale del corso d'acqua alla sezione di chiusura del bacino). Si può dunque dire che il problema non è tanto di rappresentare le perdite (che in quanto tali sono il frutto di una definizione convenzionale), quanto di rappresentare correttamente i fenomeni fisici (intercettazione, evaporazione, immagazzinamento nelle depressioni superficiali, infiltrazione, traspirazione, immagazzinamento nel suolo e nel sottosuolo) da cui le perdite sono provocate.

Lo studio della trasformazione afflussi-deflussi si affronta per risolvere due distinte categorie di problemi: quello della *disponibilità d'acqua* e quello delle *piene*. Alle due diverse categorie di problemi si possono fare corrispondere due diverse rappresentazioni del bacino, che utilizzano ciascuna un particolare volume di controllo.

Nella prima rappresentazione il volume di controllo è delimitato da una base nel sottosuolo coincidente con la superficie dello strato di fondo impermeabile, da un tetto piano orizzontale in aria, ad altezza tale da includere tutta la copertura vegetale, e da un contorno cilindrico a generatrici verticali che appoggia sullo spartiacque superficiale. Nella seconda è delimitato da una base coincidente con la superficie del suolo (e con il fondo dei corsi e degli specchi d'acqua), e per il resto ancora da un tetto piano orizzontale in aria e da un contorno cilindrico a generatrici verticali che appoggia sullo spartiacque superficiale. Quando si adotta la prima rappresentazione, generalmente si definisce come deflusso superficiale il deflusso totale del corso d'acqua (dovuto sia a scorrimento veloce sia a scorrimento lento) alla sezione di chiusura del bacino (definizione larghissima di deflusso superficiale). Quando si adotta la seconda rappresentazione, invece, si definisce come deflusso superficiale quello dovuto a scorrimento veloce, che sostanzialmente coincide con il deflusso di pioggia (definizione larga di deflusso superficiale). Nel primo caso le perdite sono essenzialmente dovute (trascurando l'eventuale flusso sotterraneo in uscita dal bacino) ai diversi fenomeni che insieme costituiscono l'evapotraspirazione. Nel secondo le perdite del bacino sono costituite dall'insieme delle perdite per ritenzione superficiale (dovute ai fenomeni dell'intercettazione, dell'evaporazione dagli specchi d'acqua, dell'immagazzinamento nelle depressioni superficiali) e dalla maggior parte delle perdite per infiltrazione. (La sola quantità d'acqua che si infiltra nel suolo a cui non corrisponda una perdita agli effetti del deflusso superficiale è quella che alimenta lo scorrimento ipodermico.)

La prima rappresentazione del bacino (volume di controllo maggiore) risulta appropriata allo studio della disponibilità d'acqua, la seconda (volume di controllo minore) allo studio delle piene. In entrambi i casi per applicare l'equazione di continuità e più in generale per simulare la trasformazione afflussi-deflussi occorre discretizzare il tempo.

Nello studio della disponibilità d'acqua si considerano generalmente intervalli di tempo prolungati (dieci giorni, un mese, una stagione, un anno). In questo caso i periodi durante i quali hanno luogo precipitazioni consistenti costituiscono solo una parte piccola o piccolissima dell'intero intervallo di tempo considerato. (In un anno le ore di pioggia non sono mai, in qualunque punto della Terra, più di 1000, e in Italia non sono mai più di 500.) Agli effetti del deflusso superficiale definito come prodotto dello scorrimento veloce, le precipitazioni meno intense - che pur tuttavia costituiscono una frazione considerevole della precipitazione totale del periodo - vanno perdute completamente, o in gran parte, per ritenzione superficiale e per infiltrazione. Agli effetti del deflusso superficiale definito come deflusso totale del corso d'acqua alla sezione di chiusura, invece, solo l'acqua che alimenta l'evaporazione e la traspirazione delle piante va effettivamente perduta. In occasione delle precipitazioni più intense, le perdite rappresentano solo una frazione della pioggia lorda (comunque si definisca il deflusso superficiale), e sono dovute per lo più al fenomeno dell'infiltrazione, essendo le perdite per

ritenzione superficiale necessariamente limitate. Tra una precipitazione e l'altra assume grande importanza il fenomeno dell'evapotraspirazione (generalmente trascurabile nel corso delle precipitazioni), che causa il recupero della capacità di infiltrazione del suolo, da cui dipende in larga misura l'infiltrazione effettiva durante e immediatamente dopo le precipitazioni.

Nello studio di questa categoria di problemi non importa conoscere con precisione la distribuzione delle perdite all'interno di ciascuno degli intervalli in cui si suddivide l'intero periodo considerato; e poichè i periodi presi in considerazione sono piuttosto lunghi (in genere dieci giorni come minimo), ne consegue che non risulta affatto necessario conoscere con esattezza la distribuzione delle perdite nel tempo. Anche quando si considerano intervalli abbastanza brevi (di un giorno, per esempio) importa poco stabilire con esattezza la distribuzione delle perdite nel tempo, poichè i risultati che interessano si ottengono effettuando un'analisi statistica dei deflussi, nella quale si può avere una compensazione degli errori. E' invece sempre molto importante, come è ovvio, conoscere con buona precisione l'ammontare totale delle perdite.

Nello studio delle piene si considerano intervalli di tempo brevi (dell'ordine delle ore o al massimo dei giorni, a seconda delle dimensioni del bacino), corrispondenti a singoli eventi meteorici. In questo caso il deflusso che si osserva alla sezione di chiusura è prodotto in buona parte dallo scorrimento superficiale (nel quale si include l'eventuale scorrimento ipodermico), purchè la precipitazione sia di entità sufficiente. Lo scorrimento sotterraneo, alimentato dall'infiltrazione, avviene in tempi molto più lunghi, che eccedono di molto la durata della piena. Le perdite, dovute sopra tutto all'infiltrazione, sono tanto meno importanti quanto maggiore è la pioggia totale. E comunque l'esperienza mostra che una determinazione precisa dell'andamento delle perdite nel tempo, per quanto sia ovviamente sempre bene accetta, non è necessaria per dar conto dell'idrogramma di piena.

Nella grande maggioranza delle applicazioni effettuate nello studio delle piene risulta dunque sostanzialmente inutile definire con esattezza l'andamento temporale delle perdite del bacino. Si fa quindi ricorso a metodi largamente approssimati, che non fanno distinzione tra perdite per ritenzione superficiale e perdite per infiltrazione.

Generalmente, quando il problema da risolvere è la determinazione delle risorse idriche disponibili, la rappresentazione dei fenomeni da cui dipendono le perdite è demandata a una parte del modello della trasformazione afflussi-deflussi, che dall'intero modello risulta difficilmente separabile. La separazione si può effettuare solo in casi particolari, in cui il modello della trasformazione afflussi-deflussi è estremamente semplice, così semplice da risultare utile per valutazioni generali più che per la stesura di progetti. E' questo il caso, per esempio, del metodo proposto da Coutagne per la determinazione delle perdite su base annua.

La separazione è invece solitamente piuttosto facile quando il problema è la determinazione dell'idrogramma di piena corrispondente a uno ietogramma assegnato (realmente osservato oppure ipotetico). In questo caso per determinare la pioggia netta, alla quale corrispondono lo scorrimento veloce e il deflusso superficiale, si possono adoperare con profitto dei metodi approssimati particolarmente semplici.

Caratteristica comune alla maggior parte di questi metodi è di consistere, essenzialmente, di due elementi: il *coefficiente di afflusso* (che si definirà più avanti), attraverso il quale si determina globalmente la quantità di pioggia perduta ai fini dello scorrimento superficiale, e la *funzione di distribuzione*, attraverso la quale si ripartisce la somma delle perdite nel tempo.

E' anche il caso di osservare, a proposito di questi metodi, che il problema della definizione dell'andamento delle perdite in occasione di un evento di pioggia si pone in due diverse circostanze: quando, a partire dallo ietogramma e dall'idrogramma registrati in occasione di uno o più eventi, si vuole definire un modello della trasformazione afflussi-deflussi e quando si vuole ricavare da uno ietogramma assegnato (registrato o ipotetico) il corrispondente idrogramma (incognito). I parametri che descrivono l'entità e la distribuzione temporale delle perdite del bacino costituiscono dei parametri di taratura nel primo caso, dei parametri da stimare a priori, sulla base di considerazioni teoriche e di criteri derivati dall'esperienza, nel secondo.

Ricordiamo infine che nella determinazione delle perdite la precipitazione che si considera è sempre una precipitazione ragguagliata all'area del bacino.

Determinazione pratica delle perdite

Dipendono dalla definizione di deflusso superficiale. Due categorie di problemi: disponibilità di acqua e piene

Generalità

Disponibilità di acqua:

deflusso superficiale = deflusso totale misurato;
volume di controllo maggiore: perdite per evapotraspirazione
[l'infiltrazione è un fenomeno interno al volume, a cui solo in parte corrispondono delle perdite].

Pienu:

deflusso superficiale = deflusso di pioggia;
volume di controllo minore: perdite per ritenzione superficiale e per infiltrazione.

Discretizzazione temporale:

per disponibilità d'acqua periodi prolungati (giorni, mesi);
per le pienu periodi brevi (ore, frazioni di ora).

Non risulta mai necessario determinare con esattezza l'andamento temporale delle perdite. Si usano quindi metodi approssimati, che non distinguono tra ritenzione superficiale e infiltrazione.

Disponibilità d'acqua: la rappresentazione delle perdite è generalmente parte dei modelli della trasformazione afflussi-deflussi. Come esempio di rappresentazione semplice solo il metodo di Coutagne.

Pienu: le perdite sono determinate assegnando il coefficiente di deflusso e la funzione di distribuzione.

Il problema della determinazione delle perdite si può configurare come un problema di taratura oppure di stima a priori.

Formula di Coutagne

Equazione di continuità: $P \cong ET + Q + \Delta V$ (trasparenti).

Espressione approssimata: $P \cong ET + Q$ (a livello annuale).

Formula di Coutagne (trasparente): $D = f(P, T)$.

Descrizione della formula:

$$D = P - \lambda P^2;$$

per $P < 1/8\lambda$ si pone $D = P$;

per $P = 1/4\lambda$ si ha il valore massimo: $D_{max} = 200 + 35T$;

per P compreso tra $1/8\lambda$ e $1/4\lambda$ si usa l'espressione parabolica;

per $P > 1/4\lambda$ si assume $P = D_{max}$.

La media del deficit di scorrimento annuale varia poco: 400÷600 mm nelle zone temperate (tabella).

Coefficiente di deflusso

È il rapporto tra il deflusso superficiale misurato alla sezione di chiusura (quindi comprensivo dell'apporto delle acque sotterranee) e l'afflusso lordo al bacino, relativi a uno stesso intervallo di tempo.

Il coefficiente di deflusso può assumere qualunque valore non negativo.

Il coefficiente di deflusso annuo è più variabile ($CV = 0,30 \div 0,45$) del deficit di scorrimento ($CV = 0,05 \div 0,25$) perchè risente anche della variabilità dell'afflusso totale annuo.

Coefficiente di afflusso

È il rapporto tra la pioggia netta corrispondente al deflusso di pioggia e l'afflusso lordo al bacino, relativi a uno stesso evento di pioggia:

$$\psi = P_n/P.$$

Poichè la pioggia netta è un sottoinsieme di quella lorda, il coefficiente di afflusso può assumere qualunque valore compreso tra zero e uno (inclusi).

Cause: le stesse che influenzano F ed R_s ;
importanti entità della precipitazione e condizioni del bacino.
 ψ tende a crescere al crescere di P .

Esistono tavole che danno ψ in funzione del tipo di bacino (approssimazione grossolana).

Formule del NERC: ψ è funzione di
indice umidità del suolo,
natura del bacino,
precipitazione totale,
frazione urbanizzata area bacino.

Formula di Ciaponi e Papiri: $\psi = 0,25A_{imp}^{0,68}P^{0,34}$ (P in millimetri).

Risultati di Fantoli (trasparenti): $\psi = kP^{1/3}$.

Sono tabulati i valori di ψ_1 . Da $\psi_1 = k(P_1)^{1/3}$ si ricava
 $\psi = \psi_1(P/P_1)^{1/3}$.
 P/P_1 si può assumere indipendente dalla rarità dell'evento;
 ψ_1 costante è un'assunzione arbitraria.

Formula del gruppo studi deflussi urbani (trasparente)

Metodo del CN del Soil Conservation Service (trasparenti)

Funzioni di distribuzione delle perdite (trasparenti)

Schematizzazioni elementari

sottrazione iniziale,
indice ϕ ,
sottrazione proporzionale.

Schematizzazioni composte

indice ϕ modificato,
tre componenti.

Il metodo del CN modificato $Q = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S)$

Le perdite del bacino si definiscono facendo riferimento al deflusso superficiale.

Due problemi: disponibilità d'acqua e piene

Disponibilità d'acqua

Volume di controllo maggiore (base coincidente con la superficie dello strato impermeabile del sottosuolo):

si considera perduta tutta la pioggia che non passa attraverso la sezione di chiusura (*deflusso lordo*, somma del deflusso di pioggia e del deflusso di base).

Le perdite sono dovute essenzialmente all'**evapotraspirazione**.

Piene

Volume di controllo minore (base coincidente con la superficie del suolo):
si considera perduta tutta la pioggia che non arriva alla sezione di chiusura attraverso lo scorrimento veloce (*deflusso di pioggia*).

Le perdite sono la somma di

perdite per ritenzione superficiale, dovute a

- intercettazione
- immagazzinamento nelle depressioni superficiali
- evaporazione dalle superfici liquide

perdite per infiltrazione

Prevalgono le perdite per **infiltrazione**.

Discretizzazione temporale

Disponibilità d'acqua: intervalli di tempo lunghi (giorni, mesi)

Le variazioni delle perdite all'interno dell'intervallo non si considerano.
Basta conoscere l'entità delle perdite.

Piene: intervalli brevi (ore, frazioni di ora)

Le perdite sono poco importanti rispetto al deflusso di pioggia.

Non è mai necessario rappresentare con precisione la distribuzione temporale delle perdite.

Rappresentazione pratica delle perdite

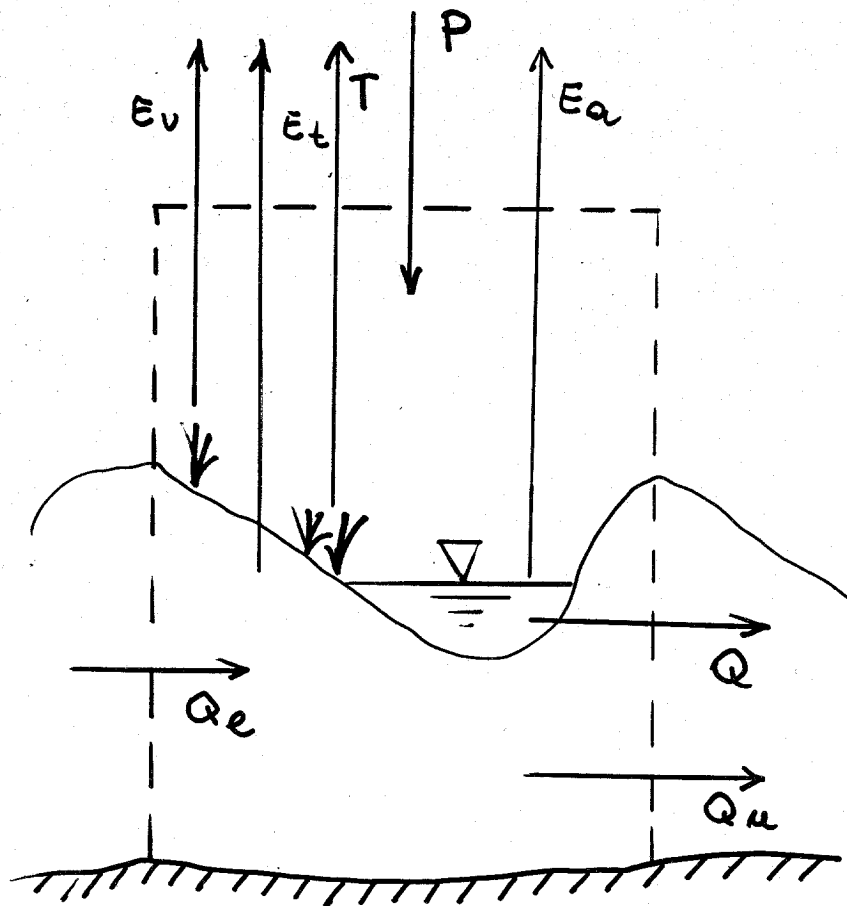
Disponibilità d'acqua:

generalmente all'interno del modello della trasformazione afflussi-deflussi

Piene:

coefficiente di afflusso (entità delle perdite)

funzione di distribuzione (distribuzione temporale)



ΔV_b ΔV_d ΔV_e ΔV_u ΔV_a

$$P + Q_e = E_a + E_t + E_v + T + Q_u$$

$$+ \Delta V_v + \Delta V_d + \Delta V_e + \Delta V_u + \Delta V_a$$

$$ET = E_a + E_t + I + T$$

$$\Delta V = \Delta V_d + \Delta V_r + \Delta V_u + \Delta V_a$$

$$Q_e \approx Q_u$$

$$P = ET + Q + \Delta V$$

deficit di scorrimento

$$D = P - Q$$

se ΔV è trascurabile:

$$P = ET + Q$$

$$D \equiv ET$$

$$D = f(P, T)$$

contagne

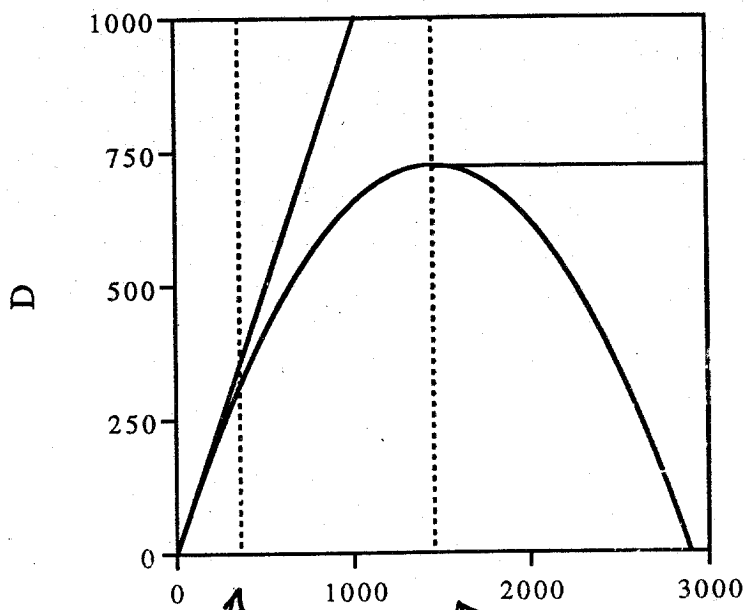
$$D = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{800 + 140 T}$$

$$D = P - kP^2$$

$$k = \frac{1}{800 + 140T}$$

$$D_{max} = 200 + 35T$$



$$D = \frac{1}{4k}$$

$$\frac{1}{8k}$$

$$\frac{1}{2k}$$

Tab. 4.**. Valori medi del coefficiente di deflusso e del deficit di scorrimento annuale di bacini con area minore di 20000 km² (Réméniéras, 1965)

Bacino	Coefficiente di deflusso	Deficit di scorrimento [mm]
Adige a Boara Pisani	0,72	254
Arno a Nave di Rosano	0,42	602
Ems	0,38	455
Haler	0,35	455
Havel	0,22	450
Meno	0,28	470
Prezel	0,27	425
Ruhr	0,47	450
Tevere a Roma	0,43	596
Ticino a Sesto Calende	0,82	299
Volturno a Canello Arnone	0,50	590

Tab. 4.**. Valori medi del coefficiente di deflusso e del deficit di scorrimento annuale di bacini con area superiore a 20000 km² (Réméniéras, 1965)

Bacino	Coefficiente di deflusso	Deficit di scorrimento [mm]
Danubio alla confluenza con l'Inn	0,48	455
Elba	0,27	445
Mosa	0,45	495
Oder	0,25	455
Po a Pontelagoscuro	0,60	446
Reno	0,50	475
Rodano	0,56	490
Vistola	0,26	460
Weser e Aller	0,37	455

NERC

ψ funzione di umidità del suolo
natura del bacino
precipitazione totale
frazione urbanizzata

Ciapponi e Papiri

$$\psi = 0,25 A_{imp}^{0,68} P^{0,34}$$

Yantoli

$$\psi = R P^{1/3}$$

$$\psi_1 = R P_1^{1/3}$$

$$\psi = \psi_1 \left(\frac{P}{P_1} \right)^{1/3}$$

Tab.4.**. Valori del coefficiente di afflusso ψ_1 adoperati nella tecnica tedesca per la durata di 1 h (Marchetti, 1964)

Tipologia urbanistica	ψ_1
Costruzioni dense	0,80
Costruzioni spaziate	0,60
Aree con grandi cortili e grandi giardini	0,50
Zone a villini	0,30÷0,40
Giardini, prati e zone non destinate a costruzioni nè a strade	0,20
Parchi e boschi	0,05÷0,10

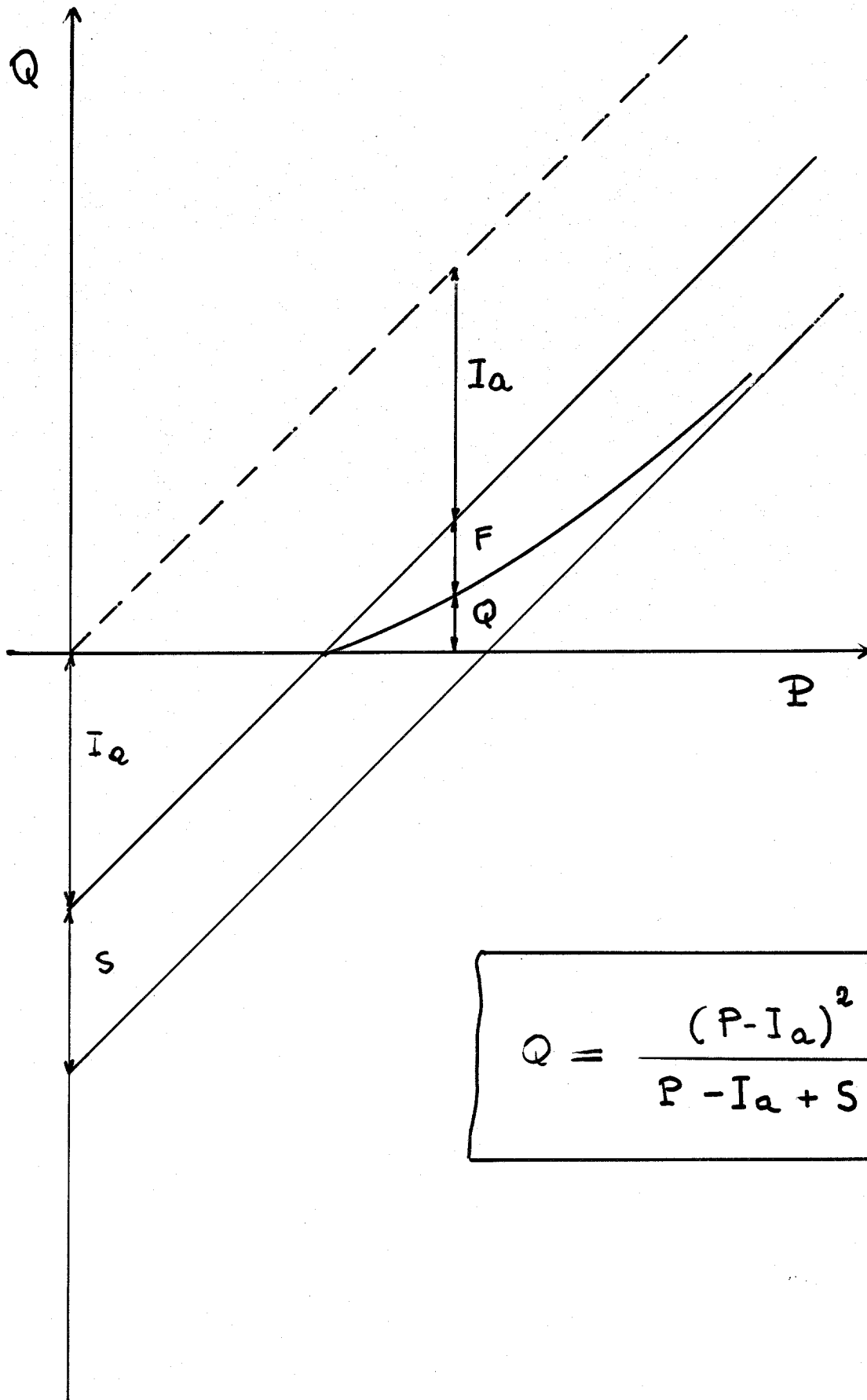
Coefficiente di afflusso del bacino ψ espresso come media pesata di quello relativo alle aree permeabili (ψ_p) e di quello relativo alle aree impermeabili (ψ_{imp}):

$$\psi = \psi_p(1 - A_{imp}) + \psi_{imp}A_{imp}$$

Valori suggeriti dei coefficienti di afflusso ψ_p per le aree permeabili e ψ_{imp} per le aree impermeabili espressi in funzione del tempo di ritorno T (Rasulo e Gisonni, 1997):

T [a]	ψ_p	ψ_{imp}
< 2	0 - 0,15	0,60 - 0,75
2 - 10	0,10 - 0,25	0,65 - 0,80
> 10	0,15 - 0,30	0,70 - 0,90

Introduzione al metodo del CN



$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

$$I_a = 0,25$$

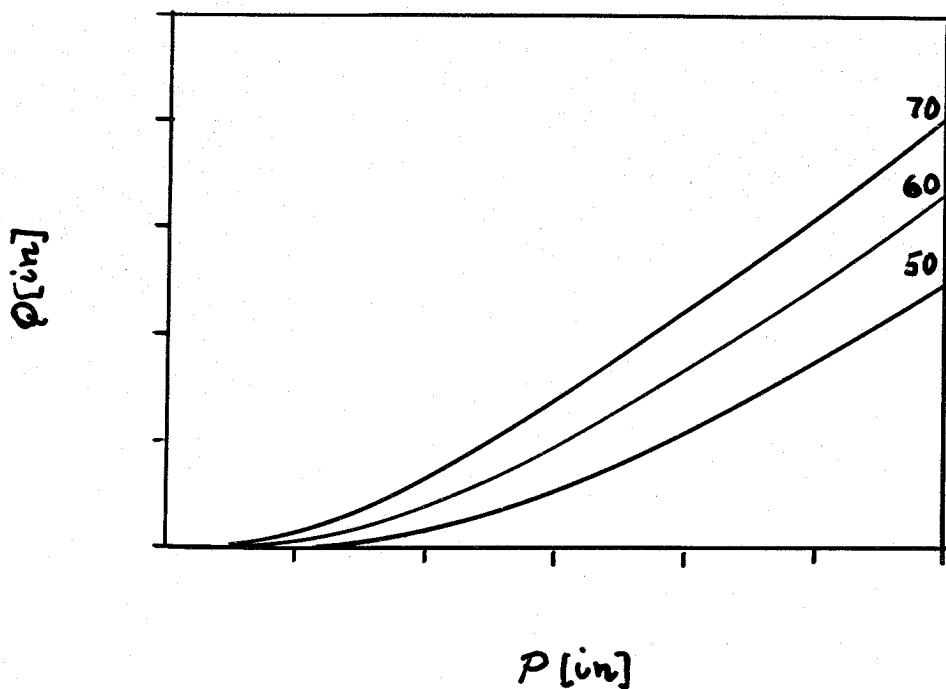
$$Q = \frac{(P - 0,25)^2}{P + 0,85}$$

Metodo del Soil Conservation Service

Il parametro S dipende da

- possibilità di infiltrazione
(classe del suolo)
- condizioni del bacino
(uso, trattamento della
superficie, drenaggio)
- contenuto di umidità del suolo
(AMI)

Metodo del CN
del Soil Conservation Service



Relazione tra afflusso meteorico P e deflusso Q in funzione del parametro CN

$$CN = \frac{1000}{S + 10}$$

S in pollici

Tab.4.**. Valori del CN per diverse combinazioni di suolo e di copertura (Soil Conservation Service, 1983)

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

Tab.4.**. Valori del CN per diverse combinazioni di suolo e di copertura (Soil Conservation Service, ***)

Tipo di copertura		Classe del suolo			
		A	B	C	D
Aree residenziali⁽¹⁾					
Area media dei lotti	Area impermeabile (%)				
1/8 acro o meno	65	77	85	90	92
1/4 acro	38	61	75	83	87
1/3 acro	30	57	72	81	86
1/2 acro	25	54	70	80	85
1 acro	20	51	68	79	84
Parcheggi pavimentati, tetti, viali d'accesso⁽²⁾		98	98	98	98
Strade urbane ed extraurbane					
pavimentate, a dorso di mulo e con fognatura ⁽³⁾		98	98	98	98
in ghiaia		76	85	89	91
sterrate		72	82	87	89
Aree commerciali e professionali (impermeabili per l'85%)		89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabili per il 72%)		81	88	91	93
Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri etc.					
in buone condizioni: copertura erbosa sul 75% o più		39	61	74	80
in discrete condizioni: copertura erbosa sul 50-75%		49	69	79	84
<p>(1) Il CN è calcolato assumendo che il deflusso dalla casa e dal viale di accesso sia diretto verso la strada, con una minima quantità di acqua del tetto diretta al prato, dove potrebbe aver luogo un'infiltrazione addizionale.</p> <p>(2) Il CN è valido quando le rimanenti aree permeabili (prato) si trovano nelle condizioni di un buon pascolo.</p> <p>(3) In alcuni climi particolarmente caldi degli Stati Uniti il CN si può assumere uguale a 95.</p>					

Tab. 4.**. Valori del CN per la I e la III categoria della condizione di umidità iniziale corrispondenti, a parità di altre condizioni, a quelli della II categoria (Soil Conservation Service, 1983)

Categoria			Categoria			Categoria		
II	I	III	II	I	III	II	I	III
0	0	0	50	31	70	76	58	89
5	2	13	51	31	70	77	59	89
10	4	22	52	32	71	78	60	90
15	6	30	53	33	72	79	62	91
20	9	37	54	34	73	80	63	91
25	12	43	55	35	74	81	64	92
30	15	50	56	36	75	82	66	92
31	16	51	57	37	75	83	67	93
32	16	52	58	38	76	84	68	93
33	17	53	59	39	77	85	70	94
34	18	54	60	40	78	86	72	94
35	18	55	61	41	78	87	73	95
36	19	56	62	42	79	88	75	95
37	20	57	63	43	80	89	76	96
38	21	58	64	44	81	90	78	96
39	21	59	65	45	82	91	80	97
40	22	60	66	46	82	92	81	97
41	23	61	67	47	83	93	83	98
42	24	62	68	48	84	94	85	98
43	25	63	69	50	84	95	87	98
44	25	64	70	51	85	96	89	99
45	26	65	71	52	86	97	91	99
46	27	66	72	53	86	98	94	99
47	28	67	73	54	87	99	97	100
48	29	68	74	55	88	100	100	100
49	30	69	75	57	88			

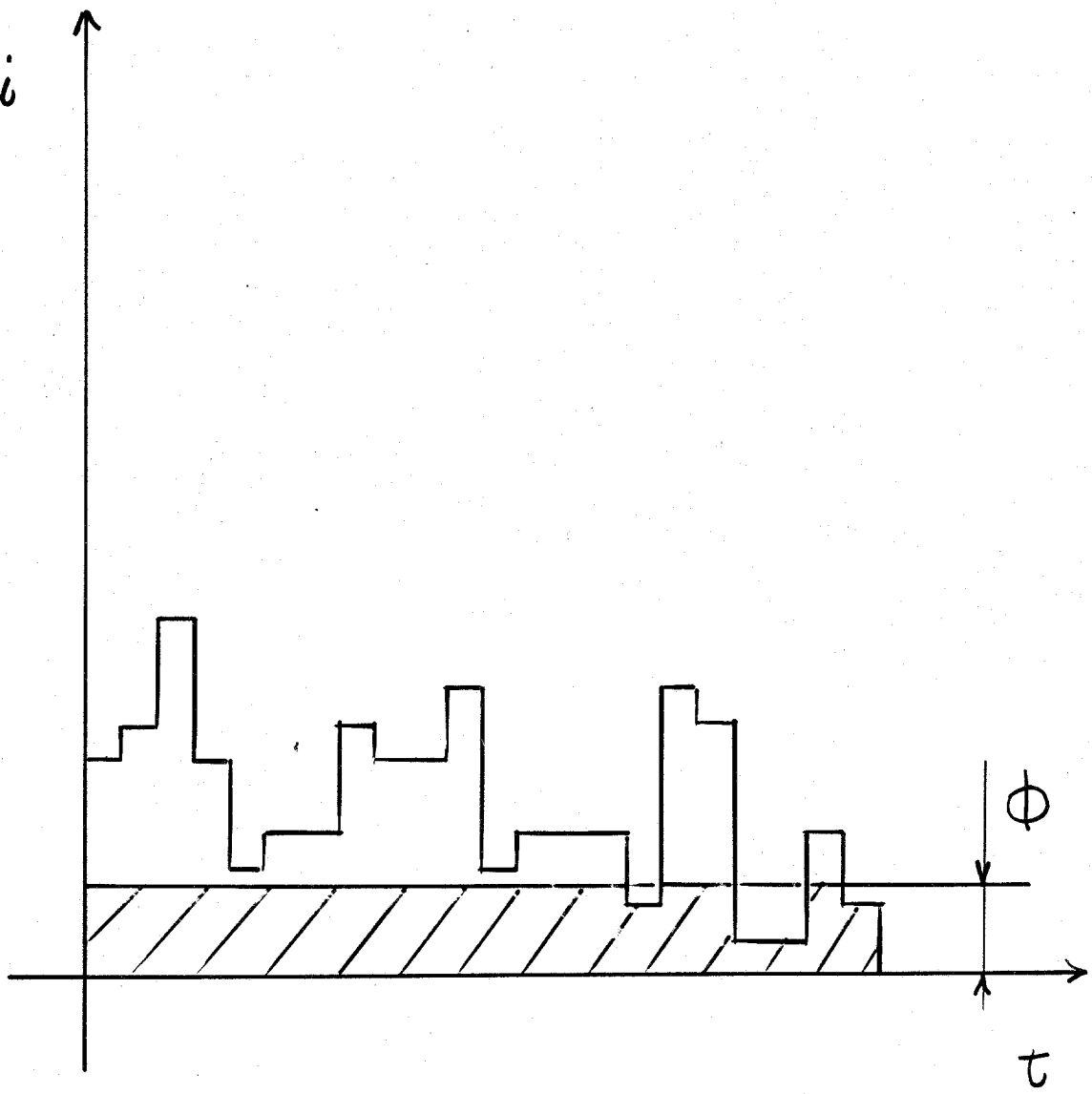
$$CN(I) = \frac{4,2 CN(II)}{10 - 0,058 CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0,13 CN(II)}$$

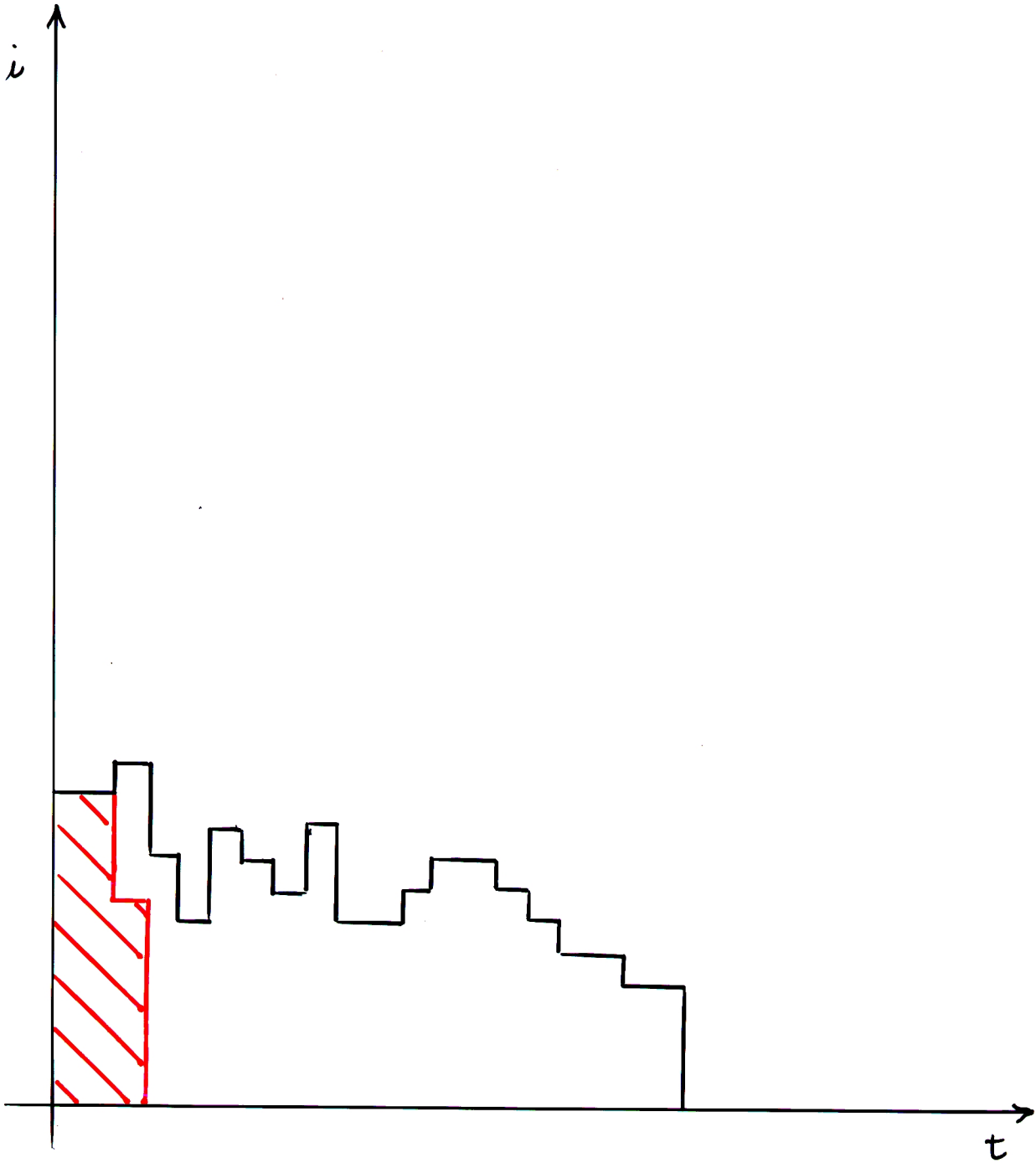
Tab.4.**. Individuazione della condizione di umidità antecedente (AMC) in funzione della precipitazione antecedente di 5 giorni (Soil Conservation Service, 1985)

Condizione di umidità iniziale AMC Categoria	Altezza di precipitazione antecedente di 5 giorni			
	Stagione di riposo		Stagione vegetativa	
	[in]	[mm]	[in]	[mm]
I	<0,5	<12,7	<1,4	<35,6
II	0,5÷1,1	12,7÷27,9	1,4÷2,1	35,6÷53,3
III	>1,1	>27,9	>2,1	>53,3

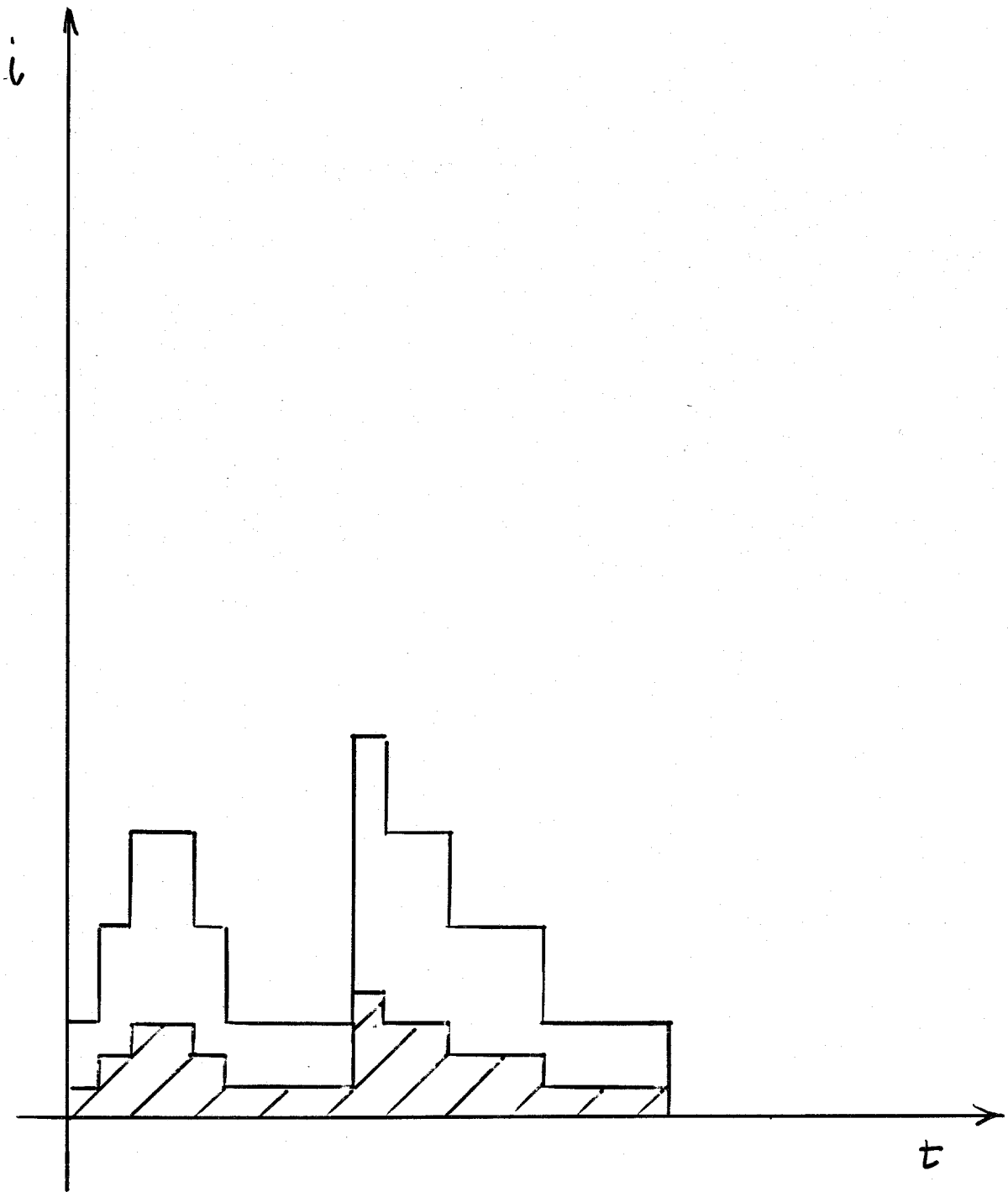
Metodo dell'indice ϕ



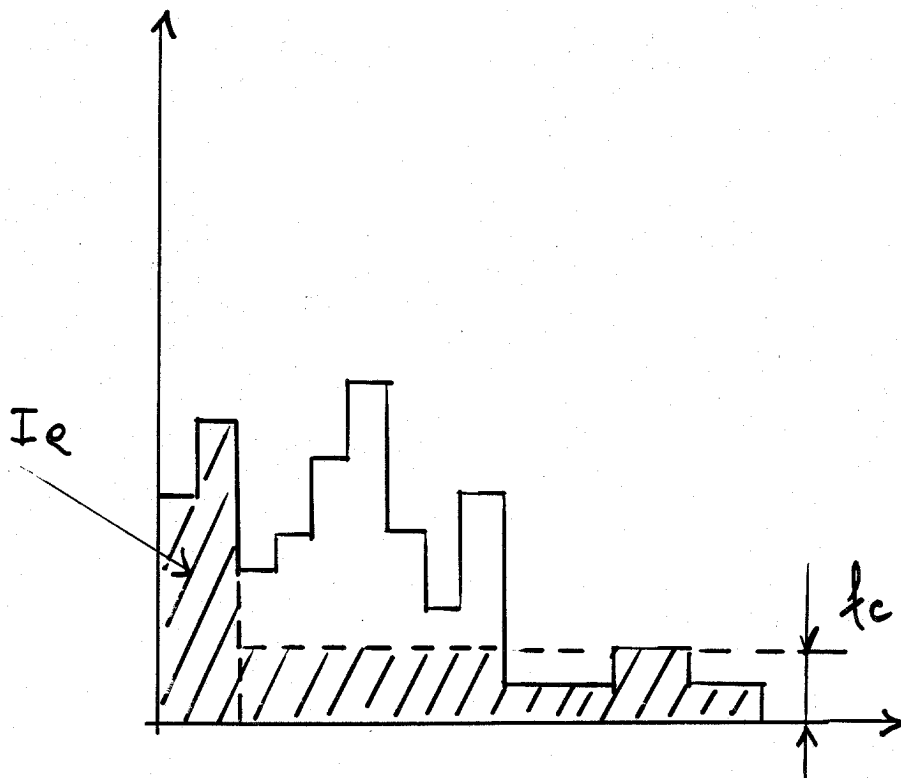
metodo della sottrazione iniziale



Metodo della sottrazione proporzionale

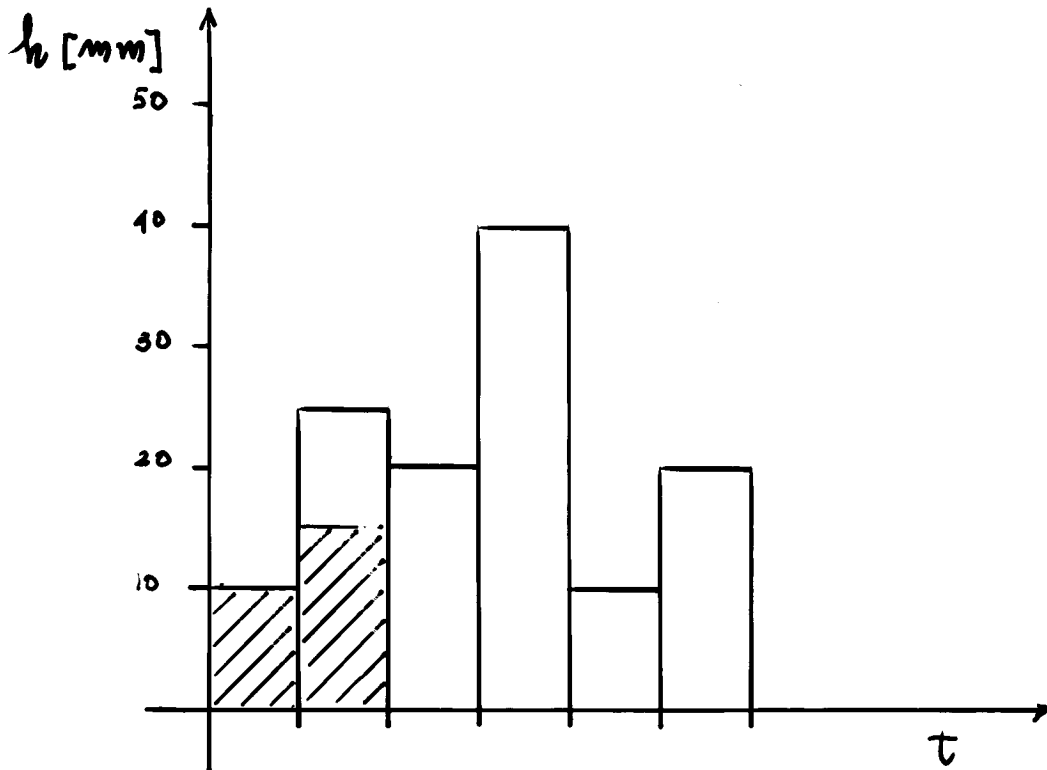


Metodo dell'indice modificato



$$I_a = f(CIPA)$$

Metodo della sottrazione iniziale



Altezza di pioggia lorda Totale

$$h_t = 10 + 25 + 20 + 40 + 10 + 20 = 125 \text{ mm}$$

$$\psi = 0.80$$

Altezza di pioggia netta Totale

$$h_n = 0.80 \times 125 = 100 \text{ mm}$$

Altezza d'acqua perduta

$$h_p = 125 - 100 = 25 \text{ mm}$$

Metodo del Soil Conservation Service modificato

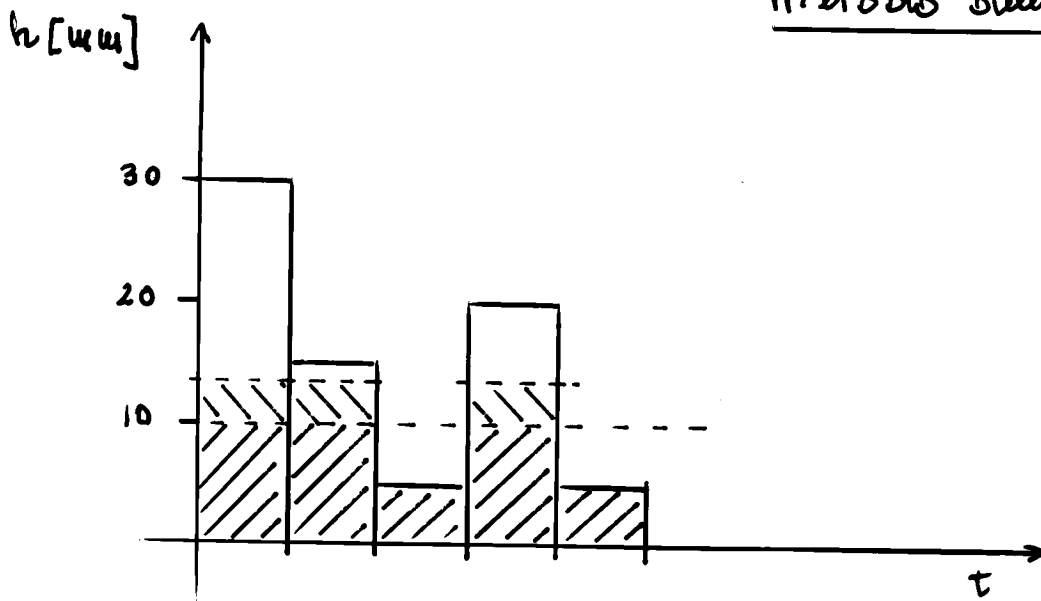
Per un singolo evento la relazione tra la pioggia lorda P e il deflusso di pioggia Q totali si assume rappresentata da

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad I_a = 0,2S$$

Estendendo la relazione a qualsiasi istante dell'evento si assume che sia

$$Q(t) = \frac{[P(t) - I_a]^2}{P(t) - I_a + S} \quad I_a = 0,2S$$

metodo dell'indice ϕ



Altezza di pioggia lorda Totale

$$h_c = 30 + 15 + 5 + 20 + 5 = 75 \text{ mm}$$

$$\psi = 1/3 = 0.333$$

Altezza di pioggia netta

$$h_n = (1/3) \times 75 = 25 \text{ mm}$$

Valore di ϕ di primo tentativo: $50/5 = 10 \text{ mm}$

Perdite corrispondente: $h_{p1} = 10 + 10 + 5 + 10 + 5 = 40 \text{ mm}$

Perdite che restano da distribuire: $50 - 40 = 10 \text{ mm}$

Perdite restanti per ognuno dei 3 intervalli di tempo:

$$10/3 = 3.33 \text{ mm}$$

$$\phi = 10 + 3.33 = 13.33 \text{ mm}$$