

autostrada del brennero

REALIZZAZIONE DI UN'AREA DI SOSTA PER VEICOLI
PESANTI IN LOCALITÀ VALDARO (MN) IN CARREGGIATA
SUD, ALLA PROGRESSIVA km 259+800
– PROGETTO DEFINITIVO –

5.1.2

RACCOLTA E TRATTAMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA
RELAZIONE DI CALCOLO IDRAULICO

2	GIUGNO'18	AGGIORNAMENTO	M. STENICO	M. TAMANINI	C. COSTA
1	SETTEMBRE'17	AGGIORNAMENTO	F. SENECI	M. TAMANINI	C. COSTA
0	MARZO'15	EMISSIONE	B. GOBBI FRATTINI	M. TAMANINI	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:

DATA PROGETTO:

NOVEMBRE 2014

NUMERO PROGETTO:

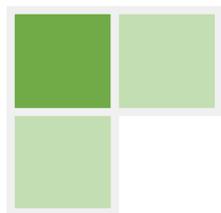
29/14



**SERVIZIO
PROGETTAZIONE**

IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA:

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI BOLZANO
Dott. Ing. CARLO COSTA
Nr. 891
INGENIEURKAMMER
DER PROVINZ BOZEN



AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.P.A.

**REALIZZAZIONE DI UN'AREA DI SOSTA PER
VEICOLI PESANTI IN LOCALITA' VALDARO (MN)
IN CARREGGIATA SUD,
ALLA PROGRESSIVA KM 259+800**

-PROGETTO DEFINITIVO-

**RACCOLTA E TRATTAMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA
RELAZIONE DI CALCOLO IDRAULICO
AGGIORNAMENTO GIUGNO 2018**

Sommario

1	Premesse.....	4
2	Normativa di riferimento.....	4
3	Impianto di trattamento acque di prima pioggia.....	5
3.1	Separatore liquidi leggeri.....	6
3.2	Criteri di dimensionamento del sedimentatore.....	6
3.3	Stazione di sollevamento.....	8
3.4	Logica di funzionamento dell'impianto.....	9
4	Camera di carico.....	10
5	Bacino di laminazione.....	10
5.1	Aspetti teorici.....	10
5.2	Criteri di dimensionamento del bacino.....	11
5.3	Analisi pluviometrica.....	12
5.4	Trasformazione afflussi – deflussi: aspetti teorici.....	13
5.5	Dimensionamento bacino di laminazione.....	22

1 Premesse

Con la presente relazione si analizza il sistema di raccolta delle acque relativo alla realizzazione di un nuova area di sosta per veicoli pesanti in località Valdaro in carreggiata sud alla progressiva chilometrica 259+800. La presente relazione di calcolo è stata aggiornata nei contenuti e nelle modalità di calcolo e verifica, secondo quanto contenuto nell'attuale normativa della Regione Lombardia: "Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7" pubblicato sul Bollettino ufficiale di lunedì 27 novembre 2017.

Il problema connesso all'impermeabilizzazione di nuove superfici è direttamente collegato al principio dell'invarianza idraulica: il principio ispiratore alla base del concetto di invarianza è quello di limitare possibili effetti di aggravio delle piene legati alla progressiva urbanizzazione e all'impermeabilizzazione dei suoli conseguente alle trasformazioni di uso del suolo. Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento delle velocità di corrivazione deve prevedere azioni correttive volte a mitigare gli effetti, e tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione: se la laminazione è attuata in modo da mantenere i colmi di piena prima e dopo la trasformazione inalterati, si parla di invarianza idraulica delle trasformazioni di uso del suolo (Pistocchi 2001). Il dimensionamento del volume del bacino di laminazione e degli impianti di trattamento è appunto l'oggetto del presente elaborato.

Il bacino di laminazione che riguarda la presente relazione raccoglie le acque relative all'area di sosta per veicoli pesanti in località Valdaro avente superficie complessiva di poco superiore a 38.000 mq che verranno dissabbiate e disoleate da quattro impianti di trattamento.

2 Normativa di riferimento

In Italia tutta la materia relativa al disinquinamento delle acque è regolato dal D.Lgs. n.152 del 03/04/2006 e sue modificazioni.

Tale Legge prevede che le acque possano essere scaricate in fognatura pubblica o nei corpi d'acqua superficiali e, in base alla natura del corpo finale recipiente, debbono essere rispettati certi limiti dei parametri previsti per la tipologia delle acque trattate.

Alcune Regioni in base alle indicazioni previste dal D. Lgs. n.152 del 03/04/2006 e sue modificazioni, hanno fissato dei criteri di dimensionamento da utilizzare nella moderna pianificazione fognaria privilegiando al massimo soluzioni di salvaguardia dell'ambiente.

Attualmente, a livello Europeo, la vecchia normativa DIN 1999 è stata sostituita dalle nuove norme EN 858-1 e EN 858-2 che stabiliscono i criteri dimensionali per la progettazione dei sistemi di disoleazione degli impianti per il trattamento delle acque di scarico provenienti da officine meccaniche, stazioni di rifornimento carburante, autolavaggi, autorimesse, demolitori d'auto e, più in generale, da tutte le superfici impermeabilizzate (coperte e scoperte).

Le acque di prima pioggia sono costituite dalle acque di scorrimento superficiale di eventi pluviometrici sulla piattaforma autostradale e sono caratterizzate da elevate concentrazioni di inquinanti. Si constata comunque che dai dati ad oggi disponibili le concentrazioni degli inquinanti contenuti nelle acque di prima pioggia possono variare sensibilmente dal contesto specifico e sono difficilmente correlabili ai principali fattori quali possono essere il traffico, i mezzi che la percorrono, i materiali utilizzati per la realizzazione della viabilità ecc.. Nello spirito

del Dlgs152/2006 che demanda alle regioni la stesura di adeguate norme, ma le quali ad oggi non hanno emanato nessuna norma specifica per le acque di prima pioggia relative alla viabilità, si è scelto e dimensionato gli impianti di trattamento in modo da trattenerne sensibilmente i consueti inquinanti presenti sulla sede stradale e di seguito elencati:

- SS (Solidi Sospesi)
- TKN (Azoto)
- COD
- Idrocarburi
- Cu
- Pb
- Zn

Come dimostrato da numerosi studi e come riportato “Nelle linee guida per la gestione delle acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia in attuazione della Deliberazione vigenti si sono rilevate correlazioni positive, altamente significative, fra le concentrazioni di Solidi Sospesi Totali (SST) e quella dei metalli pesanti (Pb, Zn, Cu), evidenziando come la maggior parte di inquinanti risulta adesa ai Solidi Sospesi Totali”. La rimozione dei SST permette quindi un significativo abbattimento delle sostanze inquinanti.

Come accennato in premessa le nuove modalità di calcolo relative al dimensionamento dei bacini di laminazione per garantire il rispetto del principio di invarianza, sono contenute nel Regolamento regionale del 23 novembre 2017 - n. 7

3 Impianto di trattamento acque di prima pioggia

Gli impianti di trattamento previsti soddisfano le seguenti esigenze:

- Realizzazione di un impianto di semplice costruzione, economico e con esigenze di manutenzione e di gestione, in generale, estremamente ridotte.
- Rispetto dei limiti di accettabilità previsti dalla normativa (tab.3 Allegato 5, D.Lgs. n.152 del 03/04/2006, in conformità alle disposizioni nazionali e/o regionali in materia (L.R. Lombardia n.26 del 12/12/2003).
- Automatizzazione della funzionalità delle apparecchiature, in modo da ridurre il più possibile la manutenzione e la gestione.
- Adozione di apparecchiature di provata sperimentazione, al fine di garantire la massima affidabilità con la minima manutenzione.

Sulla base di tali considerazioni pratiche si sviluppano nel seguito gli aspetti teorici e le procedure di dimensionamento dell'impianto in parola.

In tutte le reti di fognatura bianca si registra in tempo di pioggia un afflusso di grandi quantità di sabbie e terriccio. In particolare, nelle reti di fognature non dotate di sufficiente pendenza (come nel nostro caso), le sabbie tendono ad accumularsi nei tratti dei condotti in cui le velocità del flusso risultano più ridotte. Di conseguenza, in occasione delle elevate velocità di flusso conseguenti agli eventi di precipitazione anche di non notevole intensità, le sabbie arricchiscono enormemente la fase solida delle acque in arrivo al recapito. Nel nostro caso questa modalità di funzionamento andrebbe a deteriorare innanzitutto il sistema di sollevamento che richiederebbe conseguentemente una notevole e dispendiosa manutenzione ed infine, ma non ultima, la probabilità di una eccessiva usura delle parti in movimento, quali girante delle pompe, valvole di non ritorno, saracinesche di controllo, ecc.

3.1 Separatore liquidi leggeri

Il separatore di liquidi leggeri è composto essenzialmente da due porzioni ben distinte, la prima costituita dal *sedimentatore* mentre la seconda costituita dal *disoleatore*. Le acque di prima pioggia pervengono alla prima sezione di sedimentazione dove avviene la separazione delle particelle inquinanti più pesanti (sabbia, terriccio, etc.). Successivamente le acque raccolte attraversano la sezione di disoleazione dove avviene la separazione delle sostanze leggere non emulsionate (oli e idrocarburi). La sezione di disoleazione è equipaggiata con un pacco lamellare la cui funzione è quella di separare le micro particelle di olio che non si scindono dall'acqua per semplice flottazione, aumentando di conseguenza il rendimento di separazione.

Il fenomeno fisico della coalescenza avviene in due momenti specifici: le micro particelle di olio presenti nell'acqua, che non riescono a risalire in superficie, aderiscono al materiale coalescente (fenomeno di assorbimento), unendosi tra loro aumentano di dimensioni (fenomeno di coalescenza) fino a staccarsi dal supporto del pacco lamellare e salire in superficie.

Il disoleatore, dimensionato secondo le norme EN 858, è munito di un dispositivo di sicurezza consistente in un galleggiante, tarato in funzione della densità dell'olio minerale previsto. Una volta che la pellicola di oli in superficie raggiunge un certo spessore, il galleggiante, opportunamente tarato per galleggiare sull'acqua (più pesante) e non sugli oli (più leggeri) scende verso il basso attivando il sensore che segnala la necessità di procedere alle operazioni di rimozione degli oli accumulati, così da evitare l'entrata in funzione della valvola automatica di chiusura e il conseguente blocco del flusso in ingresso al disoleatore.

3.2 Criteri di dimensionamento del sedimentatore

Al fine di ridurre la componente solida scaricata dai sistemi di drenaggio per acque di pioggia possono essere installati sistemi di separazione in cui la velocità del flusso liquido da depurare viene sufficientemente ridotta, in modo da permettere una decantazione delle sabbie presenti in seno al fluido.

Il processo di sedimentazione granulare avviene per gravità, sulla particella agisce una forza verticale che è la risultante del peso della particella e della spinta del liquido.

Ammettendo per semplicità che la particella abbia forma sferica, per cui $V/A = 2/3*d$ (essendo d il diametro della particella):

$$v = \sqrt{\frac{4g(\rho_s - \rho)d}{3C_d\rho}}$$

Il valore del coefficiente di Newton, C_d , è legato al numero di Reynolds (Re) e varia con la forma della particella. Per corpi sferici, esso può essere espresso come:

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

Il parametro idraulico di progetto necessario è la portata massima Q_{max} uguale alla portata di punta determinata sulla base del tempo di ritorno di progetto per i sistemi di trattamento delle acque di pioggia. A seconda del rendimento di abbattimento η_{sabbie} voluto per le sabbie, è necessario conoscere la distribuzione granulometrica in un campione reale per fissare la dimensione della particella più fine che si desidera separare dalle acque di drenaggio.

A parità di portata, infatti, maggiore è la lunghezza L_{diss} della vasca e maggiore risulta lo spazio a disposizione della portata liquida per poter sedimentare le particelle solide in essa sospese. Perché una particella si separi dalla fase liquida è necessario che il tempo di sedimentazione t_{sed} sia uguale al tempo di trascinarsi t che la particella impiega, assieme al flusso medio della fase liquida, a percorrere la lunghezza L_{diss} della vasca. Dal punto di vista cinematico, ciò significa che deve essere:

$$\frac{V}{V_{sed}} = \frac{L_{diss}}{H_{diss}}$$

- V è la velocità media del flusso liquido nel dissabbiatore (componente orizzontale);
- V_{sed} è la velocità di sedimentazione (componente verticale delle particelle da sedimentare)
- L_{diss} è la lunghezza utile della vasca di dissabbiatura;
- H_{diss} è l'altezza utile (del livello idrico) del dissabbiatore.

In una vasca a flusso orizzontale (e cioè con velocità di trasporto V data da un vettore orizzontale), in una sezione longitudinale si possono distinguere 4 zone. La prima di ingresso, la seconda di uscita, in cui la sedimentazione è disturbata dalla vicinanza dei dispositivi di immissione e di scarico. Una terza comparto indicato come zona del fango, in cui si raccolgono le particelle sedimentate. Infine la quarta, di sedimentazione vera e propria, in cui la velocità di trasporto del liquido V si mantiene costante e nella sezione iniziale si ammette che la concentrazione e la distribuzione delle particelle delle diverse dimensioni sia uniforme. Detta V_{sed} la velocità di caduta che compete alle più piccole delle particelle di cui si vuole ottenere la separazione, il cammino più lungo percorso, nella zona di sedimentazione, è quello in cui una di tali particelle che inizialmente si trovi nel punto di ingresso raggiunga il termine della zona di raccolta dei fanghi. Le parti sospese, caratterizzate da dimensioni e quindi da velocità di

sedimentazione uguali o maggiori, potranno raggiungere la zona del fango qualunque sia la distanza dal fondo con cui attraversano la sezione di ingresso della vasca.

Si fissa la massima velocità del flusso all'interno del dissipatore in modo da determinare, anche con la portata massima, la separazione di tutte le particelle uguali o superiori a 0,075 mm di diametro efficace (e peso specifico relativo pari a circa 2,65). Dalle analisi sperimentali risulta ad esempio che zinco e rame aderiscono in modo nettamente maggiore alla frazione più fine del sedimento (<75 µm), ma in generale le percentuali di inquinanti associate ai solidi risultano per l'80-90% adese a particelle di particolato di dimensioni superiori a 75 µm.

<i>Tipologia</i>	<i>Granulometria (mm)</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Granulometria (mm)</i>
Pietrischetto	>2	Sabbia finissima	0.05 – 0.10
Pietrischetto fine	1.0 – 2.0	Fanghiglia	0.01 – 0.05
Sabbia grossolana	0.50 – 1.0	Fanghiglie fini	0.005 – 0.01
Sabbia media	0.25 – 0.5	Argilla	0.001 – 0.005
Sabbia fine	0.10 – 0.25	Argilla fine	0.0001 – 0.001

3.3 Stazione di sollevamento

La logica di funzionamento dell'impianto di sollevamento assunta come impostazione generale deve essere quella di garantire sempre la miglior affidabilità e nel contempo permettere il contenimento delle spese relative alla manutenzione dei macchinari. In questa ottica quindi si è preferito non dotare gli impianti di una macchina in più per la riserva, che utilizzata solo saltuariamente avrebbe sicuramente problemi di funzionamento, ma di dimensionare gli impianti con pompe di sollevamento che lavorano a rotazione e che garantiscono nel contempo la copertura di eventuali punte legate ad eventi eccezionali e superiori a quello di dimensionamento. Evidentemente il tutto tiene conto delle curve di funzionamento delle pompe e dei rendimenti connessi al posizionamento delle portate sulle curve stesse.

Durante la fase di svuotamento tutte le pompe in funzione rimarranno accese fino al raggiungimento del livello di arresto (LO = soglia di arresto comune per tutte le pompe). Dopo ogni arresto dell'impianto di sollevamento e alla successiva richiesta di avviamento si avvierà per prima la pompa che in precedenza era partita per seconda e via di seguito. Questa logica consente a tutte le pompe di avere circa le stesse ore di funzionamento riferito ad un determinato periodo temporale, ed inoltre il vantaggio di evitare che la pompa collegata alla soglia di intervento più alta in vasca non abbia lunghi periodi di inattività (conseguenza di serie di eventi piovosi di media entità) con possibili pericoli di bloccaggio a causa della formazione di sedimenti delle particelle solide presenti nelle acque di raccolta (vedi paragrafi inerenti la sedimentazione).

Per garantire comunque la possibilità di sostituire immediatamente la pompa che eventualmente andasse in avaria e quindi procedere alla riparazione della stessa senza ridurre la capacità di svuotamento di progetto dell'impianto sarà sufficiente tenere a magazzino alcune pompe di scorta che possono essere destinate per vari impianti di sollevamento che abbiano installato delle pompe della stessa grandezza.

3.4 Logica di funzionamento dell'impianto

La logica di funzionamento sarà gestita dal Quadro elettrico accoppiato ad una centralina di Telecontrollo.

La misura del livello dell'acqua in vasca viene monitorata in continuo dal sensore di livello piezoresistivo ed è sempre visionabile:

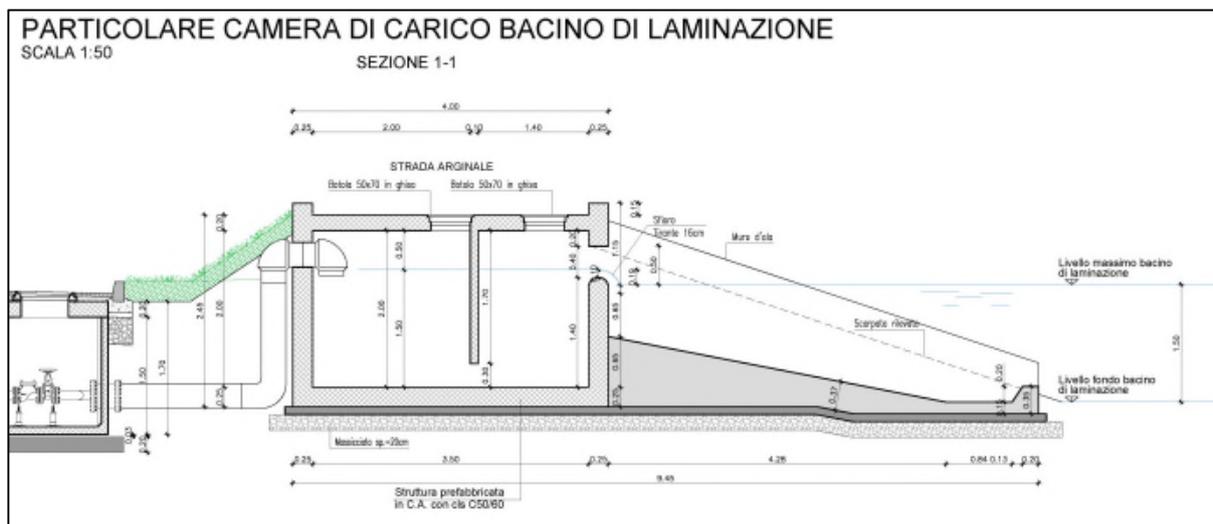
- sull'impianto attraverso il visore della centralina di telecontrollo posto sul frontale del quadro elettrico di avviamento elettromeccanico;
- in remoto con segnale inviato dalla centralina ad una unità centrale o PC dedicato.

Il settaggio di tutti i livelli di avviamento / arresto delle pompe, compreso eventuali allarmi, viene impostato sulla centralina che è in comunicazione diretta con il sensore di livello piezoresistivo.

Dalla stazione di sollevamento si diparte poi la condotta in pompaggio che scarica l'acqua all'interno del bacino di laminazione attraverso un manufatto in calcestruzzo di carico.

4 Camera di carico

Al termine della condotta di adduzione è posizionato il manufatto in c.a. di entrata al bacino. Esso è strutturato in due sezioni adiacenti separate da un setto di calma che consente all'acqua in arrivo di caricare gradatamente le due vasche in modo da limitare la turbolenza e permettere poi lo scarico vero e proprio nel bacino attraverso uno sfioratore sagomato, dimensionato secondo le note formule dell'idraulica. La larghezza del manufatto è stata scelta in maniera da garantire un tirante d'acqua sullo sfioratore di circa 16 cm tali cioè da non mettere in pressione la soletta di copertura.



Si evidenzia la necessità di utilizzare, per il tratto terminale della condotta in ingresso alla camera di carico, tubazioni con diametro massimo di 315mm, per le quali esistono in commercio le relative curve. Per diametri maggiori, sarebbe necessario realizzare le curve in opera, con settori di tubazione saldati. Poiché gli ingombri di quest'ultima soluzione sono incompatibili con gli spazi a disposizione, essa appare non attuabile e si è, così, scelto di realizzare lo sbocco nella camera di calma con tubazioni di sezione massima DN315.

5 Bacino di laminazione

Si riporta il calcolo per il dimensionamento dei volumi di laminazione collegati al concetto di invarianza¹ e, quindi, inerenti la realizzazione dell'area di sosta per veicoli pesanti.

5.1 Aspetti teorici

La durata della precipitazione da assumere alla base della progettazione risulta fondamentale per un corretto dimensionamento. Si fa osservare che la durata della precipitazione che massimizza il volume defluito risulta essere molto maggiore della durata che massimizza la

¹ Il principio ispiratore alla base del concetto di invarianza è quello di limitare possibili effetti di aggravio delle piene legati alla progressiva urbanizzazione e all'impermeabilizzazione dei suoli conseguente alle trasformazioni di uso del suolo. Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento delle velocità di corrivazione deve prevedere azioni correttive volte a mitigare gli effetti, e tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione: se la laminazione è attuata in modo da mantenere i colmi di piena prima e dopo la trasformazione inalterati, si parla di invarianza idraulica delle trasformazioni di uso del suolo (Pistocchi 2001).

portata di piena. La durata di precipitazione assunta per il dimensionamento della rete di raccolta in esame (15 minuti) non risulta essere quindi quella che massimizza il volume da laminare. Nello sviluppo del calcolo per il volume di laminazione si userà la metodologia di calcolo proposta nel regolamento di cui si è detto, con particolare riferimento all'art. 11 ed ai collegati allegati F e G. Sulla base delle metodologie contenute nella norma di riferimento saranno quindi svolti nel seguito della presente i calcoli per il dimensionamento del bacino di laminazione previsto dalla norma collegata al concetto di invarianza.

5.2 Criteri di dimensionamento del bacino

Viene sviluppato in questa parte della relazione lo studio idraulico volto a definire le portate raccolte dalla pavimentazione della nuova area di sosta per una superficie complessiva di circa 38.235 mq.

Lo studio analizzerà, come introdotto dal D. Lgs 152/06, anche le acque di prima pioggia che saranno opportunamente trattate, con i criteri indicati ai paragrafi precedenti, prima di essere scaricate, previa laminazione, negli organi ricettori.

I criteri fondamentali posti alla base del dimensionamento del sistema sono i seguenti:

- eventi pluviometrici caratterizzati da tempo di ritorno pari a $Tr=50$ anni per il dimensionamento del bacino di laminazione e pari a $Tr=20$ anni per il dimensionamento e verifica delle tubazioni;
- creazione di un nuovo bacino di laminazione per ottemperare al principio di invarianza idraulica da applicarsi alla nuova superficie pavimentata prevedendo altresì un trattamento in continuo di tutte le acque di prima pioggia valutate come da normativa in 5 mm in 15.

Lo schema di lavoro adottato è il seguente:

- Acquisizione dei dati di precipitazione eseguita utilizzando la curve di possibilità climatica fornite da ARPA Lombardia. In tale documento è contenuta la distribuzione delle precipitazioni con l'indicazione dei parametri "a" ed "n" della curva di possibilità pluviometrica stimata per piogge orarie con durata della precipitazione da 1 a 24 ore;
- Determinazione delle portate di dimensionamento delle condotte calcolate con l'applicazione del metodo SCS (trasformazione afflussi – deflussi);
- Dimensionamento e verifica delle tubazioni che saranno impiegate per lo smaltimento delle acque raccolte per un $Tr =20$ anni;

- dimensionamento del bacino di laminazione necessario per garantire il rispetto del concetto di invarianza sviluppato secondo il regolamento n. 7. dimensionato per un $Tr=50$ anni.

5.3 Analisi pluviometrica

L'analisi si basa sull'acquisizione dei parametri "a", "n" e "wt" che definiscono le curve di possibilità pluviometrica

$$h = a \cdot w_T \cdot d^n$$

dove:

h = altezza precipitazione in mm

d = durata della precipitazione ore

w_T = parametro moltiplicativo dipendente dal tempo di ritorno Tr

Nella figura seguente è riportato il calcolo dei parametri con il foglio di calcolo fornito da ARPA Lombardia corrispondente al tempo di ritorno di 20 anni.



ARPA LOMBARDIA
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località:
Coordinate:

Linea segnatrice
Tempo di ritorno (anni)

Evento pluviometrico
Durata dell'evento [ore]
Precipitazione cumulata [mm]

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 26,49
N - Coefficiente di scala 0,2508
GEV - parametro alpha 0,2711
GEV - parametro kappa -0,0575
GEV - parametro epsilon 0,827

Formulazione analitica

$$h_T(D) = \alpha_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lapp.pdf>
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	20
wT	0,92742	1,25168	1,47830	1,70507	2,01288	2,25459	2,50527	1,70506761
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 20 anni
1	24,6	33,2	39,2	45,2	53,3	59,7	66,4	45,167241
2	29,2	39,5	46,6	53,7	63,4	71,1	79,0	53,7429976
3	32,4	43,7	51,6	59,5	70,2	78,7	87,4	59,4956993
4	34,8	46,9	55,4	63,9	75,5	84,6	94,0	63,947005
5	36,8	49,6	58,6	67,6	79,8	89,4	99,4	67,627797
6	38,5	52,0	61,4	70,8	83,6	93,6	104,0	70,7919535
7	40,0	54,0	63,8	73,6	86,9	97,3	108,1	73,5824343
8	41,4	55,9	66,0	76,1	89,8	100,6	111,8	76,088414
9	42,6	57,5	67,9	78,4	92,5	103,6	115,1	78,3695917
10	43,8	59,1	69,8	80,5	95,0	106,4	118,2	80,4680659
11	44,8	60,5	71,5	82,4	97,3	109,0	121,1	82,4147316
12	45,8	61,8	73,0	84,2	99,4	111,4	123,8	84,2329905
13	46,7	63,1	74,5	85,9	101,5	113,6	126,3	85,9410303
14	47,6	64,3	75,9	87,6	103,4	115,8	128,6	87,5532908
15	48,5	65,4	77,2	89,1	105,2	117,8	130,9	89,0814445
16	49,2	66,5	78,5	90,5	106,9	119,7	133,0	90,5350727
17	50,0	67,5	79,7	91,9	108,5	121,5	135,1	91,9221455
18	50,7	68,5	80,8	93,2	110,1	123,3	137,0	93,2493702
19	51,4	69,4	82,0	94,5	111,6	125,0	138,9	94,5224492
20	52,1	70,3	83,0	95,7	113,0	126,6	140,7	95,7462748
21	52,7	71,2	84,0	96,9	114,4	128,2	142,4	96,9250787
22	53,3	72,0	85,0	98,1	115,8	129,7	144,1	98,0625475
23	53,9	72,8	86,0	99,2	117,1	131,1	145,7	99,1619148
24	54,5	73,6	86,9	100,2	118,3	132,5	147,3	100,226033

Come consuetudine in questo tipo di analisi viene operata una correzione ai coefficienti a ed n per ragguagliare tali parametri alla superficie del bacino imbrifero considerato (nel caso specifico la correzione risulta influente per le ridotte dimensioni del bacino). Si applica a tal proposito la formula di PUPPINI con la quale si determinano i coefficienti a' ed n' da utilizzare poi nella curva di possibilità pluviometrica.

$$a' = a * (1 - 0.084 * \frac{S}{100} + 0.007 * (\frac{S}{100})^2)$$
$$n' = n + 0.014 * \frac{A}{100}$$

con S espressa in km^2 .

5.4 Trasformazione afflussi – deflussi: aspetti teorici

I modelli di formazione dei deflussi di piena si propongono di rappresentare matematicamente i processi idrologici che si svolgono nel bacino descrivendone il comportamento con un operatore che lega la funzione di distribuzione spazio-temporale delle piogge $i(t,x,y)$ (ingresso del sistema) al corrispondente idrogramma dei deflussi $q(t)$ (risposte del sistema). Una simile corrispondenza come si può intuire non è affatto semplice da esprimere, nel caso più generale, mediante delle relazioni matematiche. Entrano infatti in gioco un grande numero di variabili aleatorie, quali possono essere:

- le condizioni fisiche del bacino dipendenti da fattori climatici e geomorfologici, nonché dall'intervento dell'uomo;
- la distribuzione spazio-temporale degli eventi meteorici, la quale è difficilmente rilevabile con precisione tale da consentire una buona descrizione del fenomeno.

Da quanto detto si vede l'impossibilità di riprodurre in modo soddisfacente il sistema fisico e quindi di giungere alla definizione matematica del prototipo.

Si può allora introdurre un sistema-modello, il quale, con particolari semplificazioni e prescindendo dall'operatore che lega gli afflussi ai deflussi, riesce a fornire una relazione univoca tra input ed output.

Il processo per la costruzione di un modello matematico comporta la successione di due diversi tipi di operazioni:

- definizione della struttura del modello, cioè del tipo di operatore che collega input-output;
- taratura del modello, ovvero ricerca del valore di determinati parametri in modo che il modello si adatti alla situazione in esame.

I modelli idrologici essenzialmente si possono suddividere in due estreme categorie:

- a) Modelli concettuali (a simulazione particolareggiata)

Questo tipo di modello tenta di riprodurre, nel modo più esatto possibile, i singoli processi che avvengono nel bacino, dalla precipitazione, alla formazione dei deflussi fino alla formazione della piena. Naturalmente questo tipo di modelli ha possibilità di essere applicato a bacini

relativamente semplici, quali possono essere bacini urbani con caratteristiche facilmente determinabili.

b) Modelli deterministici (o sintetici)

Questo tipo di modello prescinde totalmente dai processi che avvengono nel bacino e cerca un legame tra l'ingresso e l'uscita, il quale sia verificato per tutti i casi che soddisfano le ipotesi su cui è basato. In linea generale, comunque, la formazione dei flussi di piena avviene con le seguenti modalità:

- 1) Afflusso diretto: è quella parte di precipitazione che cade continuamente sulle superfici liquide;
- 2) Deflusso superficiale: si forma dopo un certo ritardo dall'inizio delle precipitazioni. Tale ritardo è direttamente collegato all'intensità dell'evapotraspirazione oltreché all'infiltrazione o alle capacità di invaso nel bacino;
- 3) Deflusso ipodermico: si ha quando parte dell'acqua scorre più o meno parallelamente rispetto alla superficie del suolo in uno strato di alcune decine di centimetri;
- 4) Deflusso profondo: riguarda le acque filtranti ed il loro movimento nel bacino. Poiché tale moto avviene molto lentamente, i deflussi profondi raggiungono il collettore con notevole ritardo rispetto ai deflussi superficiali. Inoltre l'andamento delle portate è molto regolare e non è caratterizzato, in genere, da nessun colmo.

Data, dunque, la diversità con cui le acque superficiali si comportano rispetto a quelle sotterranee, è consuetudine analizzare il fenomeno afflussi/deflussi, durante il fenomeno di piena, separatamente.

Nasce subito il problema di separare, nel volume che defluisce, le sue componenti corrispondenti. D'altra parte, tali componenti dipendono dallo stato di imbibizione del terreno e della sua impermeabilità e dipendono, inoltre, dalla velocità di percolazione nel sottosuolo. Tutti questi fattori sono di difficile determinazione e prevedono una conoscenza del bacino dal punto di vista geomorfologico estremamente puntuale. Assodato, dunque, che componente superficiale e componente profonda contribuiscono in maniera completamente diversa alla formazione della portata di piena, considerando che la componente superficiale è in genere preponderante, si decide di considerare solo quest'ultima nella formazione della piena.

L'idrogramma di piena può suddividersi in tre fasi:

- ramo ascendente (di concentrazione);
- segmento di colmo;
- ramo discendente (di esaurimento).

Tale idrogramma può essere più o meno appiattito a seconda dell'intensità e della durata della pioggia. Se, ad esempio, la precipitazione ha una durata sufficientemente lunga, si possono raggiungere le condizioni di regime (ramo di colmo appiattito) in cui la portata di colmo risulta

pari alla portata di deflusso meteorico, defalcato delle "perdite" per infiltrazione ed evapotraspirazione.

E' intuitivo affermare che se la precipitazione (per comodità considerata costante) ha una durata inferiore al tempo di corrivazione del bacino imbrifero t_c , la portata non potrà mai raggiungere il suo massimo.

T_c si definisce come un tempo di corrivazione: con esso si intende il tempo che impiega la pioggia caduta nel punto più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura.

Si è già detto che la valutazione delle portate di piena basata sulle precipitazioni note sul bacino idrografico, richiede l'uso delle metodologie con cui viene analizzato il processo di formazione dei deflussi superficiali, ed in particolare di quelle con cui si stima l'I.U.H. dei bacini (idrogramma unitario).

La determinazione di tale grandezza, già molto difficoltosa per i bacini idrografici con numerose osservazioni sperimentali di afflussi e contemporanei deflussi di piena, diventa praticamente impossibile quando tali osservazioni siano poche o manchino del tutto, per cui nel nostro caso, per la soluzione del problema, si deve necessariamente ricorrere a metodi più approssimati, che prendono lo spunto da alcuni risultati forniti dai metodi idrologici della corrivazione e dell'invaso.

Secondo il metodo della corrivazione, la portata massima di un bacino dovuta a precipitazioni di intensità costante si ha per eventi di durata pari al tempo di corrivazione t_c .

Indicando con h l'altezza di precipitazione di durata t_c e con ϕ il coefficiente di deflusso (rapporto tra l'altezza della pioggia netta h_e e l'altezza totale di pioggia h), nell'ipotesi che il fenomeno piovoso abbia intensità costante:

$$\dot{i} = h_e / t_c = \phi h / t_c$$

la portata massima Q_{max} vale:

$$Q_{max} = \phi h / t_c S$$

avendo indicato con S la superficie totale del bacino imbrifero.

In realtà però la portata Q_{max} sarà più piccola a causa della laminazione esercitata all'interno del bacino imbrifero e per tener conto di ciò, si applicherà un coefficiente $\varepsilon < 1$ - coefficiente di laminazione - che terrà conto delle caratteristiche del bacino (superficie, pendenza dei versanti, sviluppo della rete idrografica, natura dei terreni, etc.). Si scriverà, perciò:

$$Q_{max} = \phi \varepsilon h / t_c S$$

Com'è agevole rendersi conto la stima di ε è estremamente difficile e costituisce un ulteriore elemento di incertezza che va ad aggiungersi a quelli connessi con la valutazione di ϕ e t_c .

Una indicazione sui valori da attribuire ad ε si può tuttavia avere, se si fanno alcune ipotesi circa la forma dell'onda di piena e se si ritiene che il processo con cui si attua la laminazione degli afflussi meteorici nel bacino sia descrivibile dal modello dell'invaso lineare.

Da studi compiuti dal Giandotti su diversi bacini, è risultato che per bacini impermeabili di estensione dell'ordine dei 100 km², si può ammettere che le onde di piena siano sostanzialmente simmetriche rispetto al colmo e che il valore di ε sia pari a 0.80.

Per la determinazione delle portate, nel caso di interesse, sarà utilizzato il metodo **S.C.S. (Soil Conservation Service)**.

Concettualmente analogo al Metodo Razionale, questo metodo è stato inizialmente sviluppato per bacini agricoli ma, con una più articolata differenziazione delle caratteristiche della copertura forestale rispetto alla versione originale, può essere utilizzato efficacemente anche a casi analoghi a quello di studio per la ricostruzione delle portate di piena.

Il metodo S.C.S. viene largamente usato negli USA come procedura per la ricostruzione delle piene in piccoli bacini. Le caratteristiche idrologiche del bacino vengono sintetizzate nella definizione di un unico parametro CN che individua una relazione tra la precipitazione ed il corrispondente volume di deflusso. Il metodo può essere usato per lo studio di bacini di superficie non superiore a 15 – 20 km², nei quali la risposta è più immediata e l'insieme delle caratteristiche idrologiche può essere più facilmente espresso, come valore medio, da pochi parametri.

$$\frac{V}{Pn} = \frac{W}{S}$$

Il metodo si basa sull'ipotesi che sia sempre rispettata la relazione:

dove:

V = volume di deflusso superficiale (mm)

Pn= pioggia netta (mm)

S = contenuto idrico massimo del suolo o infiltrazione potenziale(mm)

W = contenuto idrico dei suolo (mm)

La pioggia netta (efficace, cioè quella in grado di produrre deflusso) Pn si ottiene detraendo dalla pioggia totale P (altezza di pioggia) le perdite iniziali Ia del sistema idrologico; essa si distribuisce completamente tra volume di deflusso (V) e contenuto idrico del suolo (W):

$$Pn = P - Ia = W + V.$$

Il parametro P rappresenta l'altezza massima di pioggia ricavata dall'applicazione della relazione $h = aw_T^n$ dove a ed n per i diversi tempi di ritorno sono stati desunti dai dati forniti da ARPA Lombardia.

Le perdite iniziali (Ia), in base a riscontri sperimentali, sono correlate con il contenuto idrico massimo S del suolo mediante la relazione:

$$Ia = 0.2xS$$

Dove per S è verificato essere più corretto adottare valori per le perdite iniziali rientranti nell'intervallo compreso tra 5 – 10 mm.

Combinando le varie relazioni si ottiene:

$$V = \frac{(P - 0.2xS)^2}{P + 0.8xS}$$

Per il calcolo del parametro S è stato introdotto un nuovo parametro CN (Curve Number) che, calcolato sulla base dei parametri geo-pedologici e vegetazionali del bacino, rappresenta l'attitudine di questo a produrre deflusso.

$$CN = 25400 / (254 + S)$$

da cui:

$$S = 25.4x\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

Per la determinazione di CN, e del coefficiente di deflusso C, si distinguono anzitutto quattro categorie di suoli, così come di seguito riportato.

Classificazione idrogeologica dei suoli in base alle caratteristiche stratigrafiche e tessiturali dei depositi

GRUPPO A

Bassa capacità di deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche quando saturi; sabbie e ghiaie profonde ben drenate. Notevole conducibilità idrica.

GRUPPO B

Suoli con moderata infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi, tessitura medio grossa e conducibilità idrica non molto elevata.

GRUPPO C

Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Hanno per lo più uno strato che impedisce un movimento dell'acqua verso il basso, oppure hanno tessitura medio fine e bassa infiltrabilità e conducibilità idrica.

GRUPPO D

Capacità di deflusso elevata. Suoli con infiltrabilità ridottissima se saturi. Sono suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, suoli con strati di argilla presso la superficie, suoli poco profondi su substrati impermeabili. Conducibilità idrica estremamente bassa.

Il bacino in esame, così come tutti gli altri corrispondenti alle diverse tratte, è contraddistinto da suoli impermeabili (asfalto) e quindi ascrivibili al "**Gruppo D**". Nel caso in esame, sulla base delle caratteristiche del bacino scolante (superficie stradale asfaltata) si adotta un valore **CN=98**.

Questo valore deve essere poi corretto per tenere conto del grado di saturazione del terreno all'inizio dell'evento (AMC), considerato che i valori originari sono sempre riferiti a condizioni di umidità del terreno corrispondenti al CN(II)

CN	Precipitazione P caduta nei 5 gg precedenti l'evento in esame	
	Periodo vegetativo	Riposo vegetativo
I	P<35 mm	P<13 mm
II	35 mm<P<53 mm	13 mm<P<28 mm
III	P>53 mm	P > 28 mm

Le espressioni dei valori di CN per le varie classi prima definite sono le seguenti:

CLASSE I $CN(I)=4.2*CN(II)/(10-0.058*CN(II))$

CLASSE II $CN(II)$ nel nostro caso pari a 98

CLASSE III $CN(III)=23*CN(II)/(10+0.13*CN(II))$

Applicando il metodo (SCS) sopra esposto si determina la pioggia efficace (quella cioè in grado di produrre deflusso) ed una corrispondente nuova curva di possibilità pluviometrica, relativa ad un Tr di 20 anni, che viene espressa con le seguenti equazioni

$$h(\text{mm}) = a \cdot wt \cdot t(\text{ore})^n$$

dove:

$$a=26.49$$

$$wt=1.70507$$

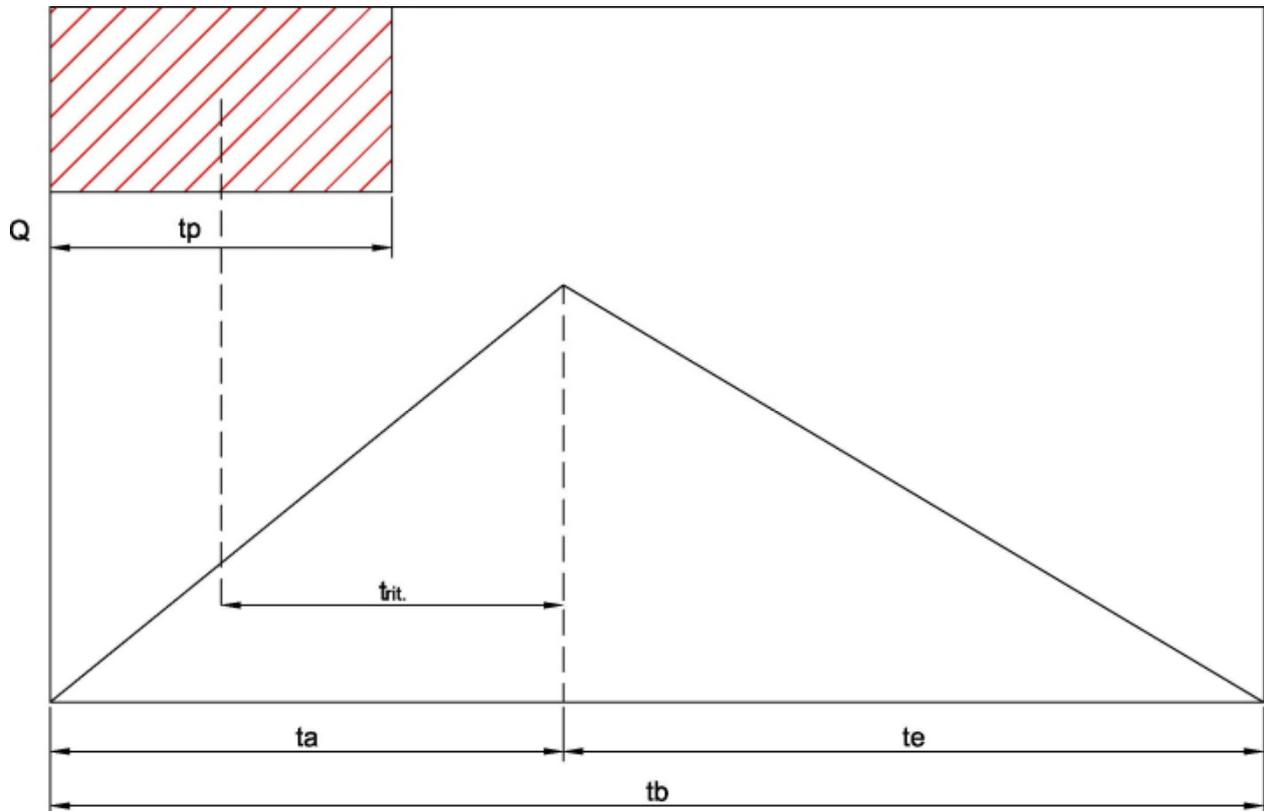
$$n=0.2508$$

$$h(\text{mm}) = 45.167 \cdot t(\text{ore})^{0.2508}$$

L'altezza di precipitazione viene calcolata su un tempo di precipitazione di 15 minuti.

Chiamando S la superficie relativa ad ogni impianto di trattamento, si determina la portata di prima pioggia relativa a ciascun impianto, mentre per la determinazione della portata derivante dalla seconda pioggia si applicheranno le formule di seguito esposte, logica continuazione del metodo SCS prima descritto.

Per il calcolo della portata al colmo si è considerato un idrogramma approssimato di forma triangolare rappresentato nella figura seguente.



Tale diagramma è composto da una fase crescente di durata t_a ed una fase di esaurimento di durata t_e , il cui volume ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q}{2} * (t_a + t_e) = \frac{Q}{2} * t_b$$

Indicando con t_b la durata dell'evento di piena.

E' stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico pari al 37,5% del volume totale V di deflusso, per cui è possibile legare il valore di t_a e di t_b con la seguente relazione

$$0.375 * \frac{Q}{2} * (t_b) = \frac{Q}{2} * (t_a)$$

Da cui

$$t_b = 2.67 * t_a$$

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p ed avendo indicato con t_{rit} il tempo di ritardo tra il baricentro dell'istogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare, si effettua con la seguente relazione

$$t_a = 0.5 * t_p + t_{rit}$$

Il tempo di ritardo può essere espresso con la formula di Mockus:

$$t_{rit} = 0.342 * \frac{L^{0.8}}{S^{0.5}} * \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

Dove si è indicato:

s pendenza del bacino espressa in %

L lunghezza dell'asta principale del bacino espressa in km

CN è il coefficiente medio dell'intero bacino.

Poiché la precipitazione critica per il bacino è quella che ha una durata pari al tempo di corrivazione t_c , la durata dell'evento meteorico di riferimento t_p viene imposta pari a t_c .

Il tempo di corrivazione è correlato al tempo di ritardo attraverso la seguente relazione

$$\frac{t_{rit}}{t_c} = 0.6$$

L'applicazione del metodo indicato, con l'ausilio di un foglio di calcolo consente di determinare le portate al colmo per diversi tempi di ritorno (CN III).

Tr 100 anni Q = 1.456 l/s

Tr 50 anni Q = 1.290 l/s

Tr 20 anni Q = 1078 l/s

Tali valori risultano comprensivi della portata di prima pioggia che è pari a:

$$Q_{\text{PRIMA PIOGGIA}}(15 \text{ min}) = h (15 \text{ min}) * S / (T \text{ pioggia}) = 5.00 * 38.235 / (15*60) = 212.42 \text{ l/s}$$

Adottando un tempo di ritorno di 20 anni si determina ora la portata complessiva e di prima pioggia di ciascun impianto.

$$Q_{\text{PRIMA PIOGGIA}}(\text{IMP. 1}) = h (15 \text{ min}) * S / T = 5.00 * 8224 / (15*60) = 45.69 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{IMP. 1 TOT}}(15 \text{ min}) = h (15 \text{ min}) * S_1 / T = 45.167 * 0.25^{0.2508} * 8224 / (15*60) = 291.52 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{PRIMA PIOGGIA}}(\text{IMP. 2}) = h (15 \text{ min}) * S / T = 5.00 * 14443 / (15*60) = 80.24 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{IMP. 2 TOT}}(15 \text{ min}) = h (15 \text{ min}) * S_1 / T = 45.167 * 0.25^{0.2508} * 14443 / (15*60) = 511.96 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{PRIMA PIOGGIA}}(\text{IMP. 3}) = h (15 \text{ min}) * S / T = 5.00 * 9303 / (15*60) = 51.68 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{IMP. 3 TOT}}(15 \text{ min}) = h (15 \text{ min}) * S_1 / T = 45.167 * 0.25^{0.2508} * 9303 / (15*60) = 329.77 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{PRIMA PIOGGIA}}(\text{IMP. 4}) = h (15 \text{ min}) * S / T = 5.00 * 6263 / (15*60) = 35.51 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{IMP. 4 TOT}}(15 \text{ min}) = h (15 \text{ min}) * S_1 / T = 45.167 * 0.25^{0.2508} * 6263 / (15*60) = 222.05 \text{ l/s}$$

Il sistema di smaltimento sarà configurato in maniera che le nuove condotte siano dimensionate per la portata totale ed in corrispondenza dei singoli impianti di trattamento vi sarà un pozzetto separatore di portata che invia la prima pioggia all'impianto e la seconda ad un bypass per poi andare entrambe (prima e seconda pioggia) direttamente alla stazione di sollevamento e quindi al bacino di laminazione.

5.5 Dimensionamento bacino di laminazione

Per quanto riguarda il dimensionamento del bacino di laminazione, da prevedersi in relazione al concetto di invarianza, il calcolo è stato condotto secondo le indicazioni contenute nel Regolamento regionale del 23 novembre 2017 - n. 7. Seguendo le indicazioni normative si sono desunti i seguenti dati, che si riferiscono alla zona di intervento:

- Ambito territoriale: Provincia di Mantova
- Zona B a media criticità (1)
- Classificazione dell'intervento (art. 9): impermeabilizzazione alta (2)

La composizione dei due casi (1) e (2) impone la metodologia di calcolo dettagliata di cui all'art. 11, individuata specificatamente negli allegati F e G della norma. Per quanto riguarda il calcolo dell'infiltrazione e della determinazione del conseguente valore di precipitazione netta si è utilizzato, come già visto per il calcolo delle portate di dimensionamento delle tubazioni, il metodo S.C.S. (allegato F), mentre invece per il calcolo del volume di laminazione si è determinato lo ietogramma di progetto utilizzando il METODO CHICAGO (Keifer & Chu, 1957).

Con tale ietogramma, la massima altezza di precipitazione cumulata su qualsiasi durata t è sempre pari all'altezza di precipitazione dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica per la medesima durata t . Lo ietogramma Chicago non è costante ma presenta un picco di intensità che può essere posizionato arbitrariamente nel tempo ma che, in ogni caso, rappresenta meglio di altri alcune caratteristiche quali precipitazioni antecedenti, volumi totali, ecc. Numerosi autori suggeriscono di posizionare il picco fra 0.35 e 0.40 posto che se il valore è 0 il picco si trova all'inizio della pioggia, mentre se il valore è 1 il picco si trova alla fine della pioggia.

La curva di possibilità pluviometrica, come in precedenza, è calcolata sulla base del modello di calcolo fornito da ARPA Lombardia, riferita in questo caso ad un tempo di ritorno T_r pari a 50 anni (vedi figura seguente). Come indicato nell'allegato G della norma, per durate di precipitazione inferiori all'ora si utilizza per il parametro "n" il valore 0.50 (anziché il valore 0.25 determinato con la metodologia di calcolo ARPA) in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica. nel caso specifico si ha:

$$h(\text{mm}) = a \cdot wt \cdot t(\text{ore})^n$$

dove:

$$a=26.49$$

$$wt=2.01288$$

$$n=0.50$$

$$h(\text{mm}) = 53.32 \cdot t(\text{ore})^{0.50}$$



ARPA LOMBARDIA
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: VALDARO
Coordinate:

Linea segnatrice
Tempo di ritorno (anni)

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 26,49
N - Coefficiente di scala 0,5
GEV - parametro alpha 0,27110001
GEV - parametro kappa -0,0575
GEV - parametro epsilon 0,82700002

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]

Precipitazione cumulata [mm]

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lsp.pdf>
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,92742	1,25168	1,47830	1,70507	2,01288	2,25459	2,50527	2,01287789
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	24,6	33,2	39,2	45,2	53,3	59,7	66,4	53,3211352
2	34,7	46,9	55,4	63,9	75,4	84,5	93,9	75,4074725
3	42,6	57,4	67,8	78,2	92,4	103,4	114,9	92,3549152
4	49,1	66,3	78,3	90,3	106,6	119,4	132,7	106,64227
5	54,9	74,1	87,6	101,0	119,2	133,5	148,4	119,229683
6	60,2	81,2	95,9	110,6	130,6	146,3	162,6	130,609574
7	65,0	87,7	103,6	119,5	141,1	158,0	175,6	141,074463
8	69,5	93,8	110,8	127,8	150,8	168,9	187,7	150,814945
9	73,7	99,5	117,5	135,5	160,0	179,2	199,1	159,963406
10	77,7	104,9	123,8	142,8	168,6	188,9	209,9	168,616235
11	81,5	110,0	129,9	149,8	176,8	198,1	220,1	176,846199
12	85,1	114,9	135,7	156,5	184,7	206,9	229,9	184,70983
13	88,6	119,5	141,2	162,9	192,3	215,3	239,3	192,252087
14	91,9	124,1	146,5	169,0	199,5	223,5	248,3	199,509419
15	95,1	128,4	151,7	174,9	206,5	231,3	257,0	206,511869
16	98,3	132,6	156,6	180,7	213,3	238,9	265,5	213,284541
17	101,3	136,7	161,5	186,2	219,8	246,2	273,6	219,848672
18	104,2	140,7	166,1	191,6	226,2	253,4	281,6	226,222418
19	107,1	144,5	170,7	196,9	232,4	260,3	289,3	232,42144
20	109,9	148,3	175,1	202,0	238,5	267,1	296,8	238,459366
21	112,6	151,9	179,5	207,0	244,3	273,7	304,1	244,348138
22	115,2	155,5	183,7	211,9	250,1	280,1	311,3	250,098293
23	117,8	159,0	187,8	216,6	255,7	286,4	318,3	255,719181
24	120,4	162,4	191,8	221,3	261,2	292,6	325,1	261,219147

La determinazione del volume di invaso ai fini della laminazione si basa sull'equazione di continuità che è espressa come di seguito

$$Q_e(t) \cdot dt - Q_u(t) \cdot dt = dV(1)$$

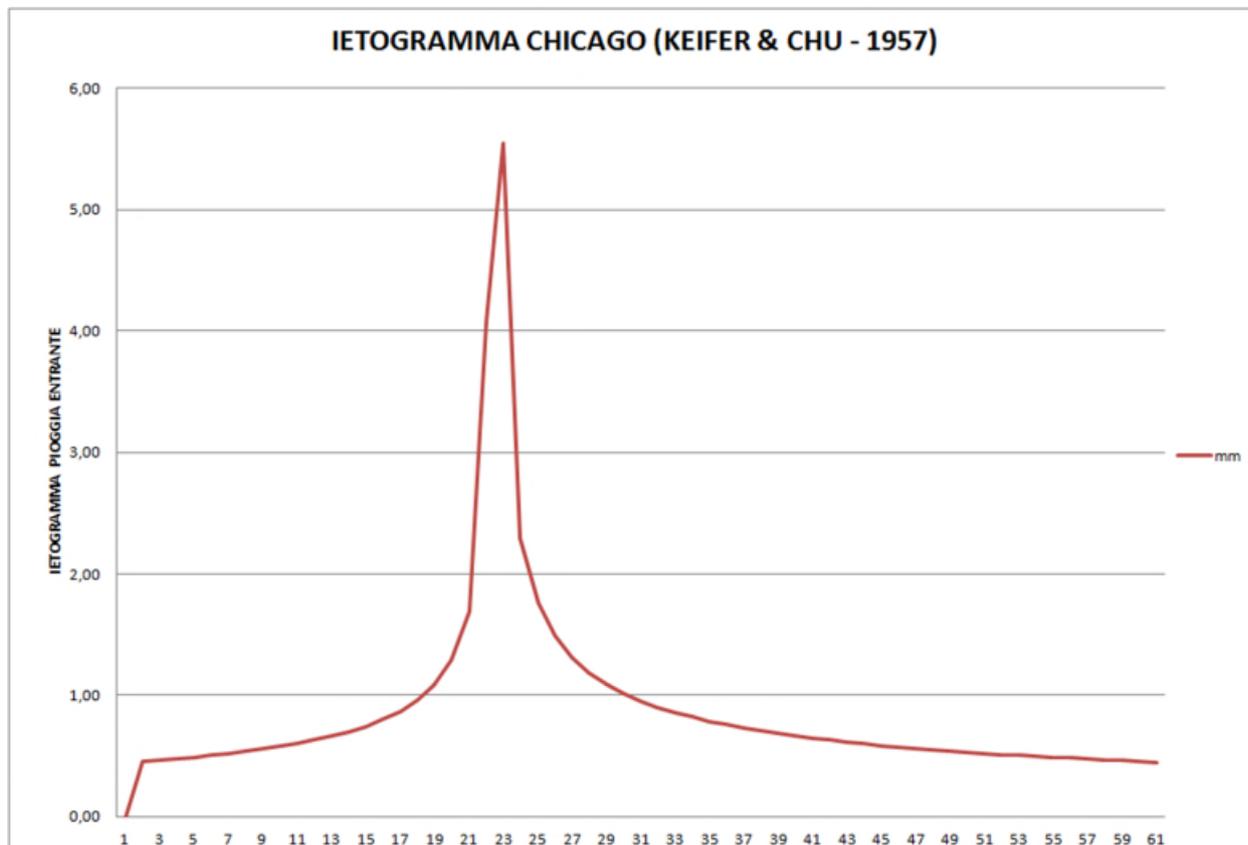
Dove:

$Q_e(t) \cdot dt$ è il volume d'acqua entrato nel tempo dt (ietogramma di progetto tipo chicago)

$Q_u(t) \cdot dt$ è il volume d'acqua uscito nel tempo dt

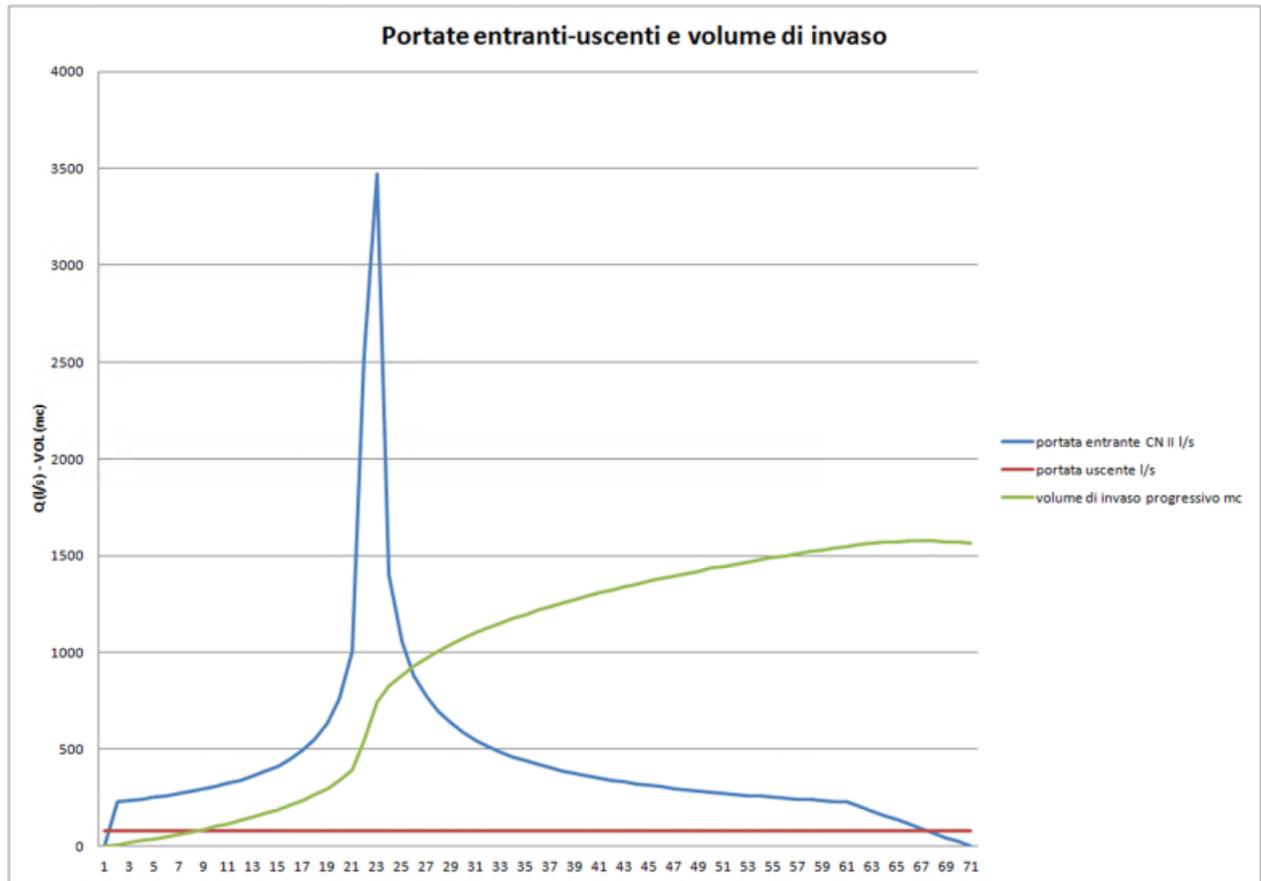
dV è la variazione del volume d'acqua invasato nel serbatoio nello stesso intervallo di tempo e sarà positiva in fase di riempimento oppure negativa in fase di svuotamento.

L'andamento della $Q_e(t)$, calcolata con il metodo Chicago, è quello riportato nella figura seguente e corrispondente ad un tempo di ritorno $Tr = 50$ anni, che rappresenta la portata entrante nel bacino di laminazione (il grafico riporta la portata lorda).



La portata uscente $Q_u(t)$, ammessa allo scarico, viene stabilita caso per caso dai gestori degli organi ricettori e nel nostro caso viene stabilita in $20 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$.

Applicando il metodo SCS si può determinare la pioggia efficace e quindi la reale portata entrante nel bacino di laminazione. Il calcolo è eseguito con l'ausilio di un foglio excel; il risultato corrispondente ad un tempo di ritorno Tr 50 anni ed utilizzando il CN II, è riportato nel grafico seguente ed indica che il volume massimo di invaso determinato è pari a 1580 mc.



Si richiamano i contenuti dell'articolo 12 comma 2 del regolamento n. 7 che impone in ogni caso volumi minimi di invaso a seconda del tipo di aree in cui si interviene e dipendente dal grado di criticità.

Nel caso specifico la norma impone un minimo di 600 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile che porta quindi il volume di invaso minimo al valore di $600 * 3.8235 = 2.294$ mc.

Il tempo di svuotamento del volume invasato (vedi art. 11 lettera f ed allegato G) non deve superare il limite delle 48 ore e dipende ovviamente dalla portata ammessa allo scarico ($20 \text{ l/s} * \text{ha}$ di superficie scolante impermeabile, corrispondente ad un valore di 76 l/s).

Nel nostro caso si ha:

$$2.294.000 \text{ litri} / 76 \text{ l/s} = 30.184 \text{ sec} = 8.38 \text{ ore}$$