



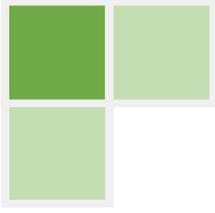
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
dott. ing. Roberto Bosetti

autostrada del brennero

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

B	LOTTO 3 - da Nogarole Rocca (km 246+185) a Campogalliano (km 312+200)
5.1.	RACCOLTA E TRATTAMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA Relazione idraulica

0	MAR. 2021	EMISSIONE	AGOSTINI	M. ZINI	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO: LUGLIO 2009			DIREZIONE TECNICA GENERALE	IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA:	
NUMERO PROGETTO: 31/09					



AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.P.A.

**RELAZIONE IDRAULICA DI VERIFICA INERENTE IL
RISPETTO DEI PRINCIPI DELL'INVARIANZA
IDRAULICA
RACCOLTA E TRATTAMENTO ACQUE DI PIATTAFORMA**

-PROGETTO DEFINITIVO-

AGGIORNAMENTO OTTOBRE 2020

Sommario

1	Premesse.....	3
2	Normativa di riferimento.....	4
2.1	Aspetti tecnici.....	4
3	Impianto di trattamento acque di prima pioggia.....	5
3.1	Separatore liquidi leggeri.....	6
3.2	Criteri di dimensionamento del sedimentatore	8
3.3	Stazione di sollevamento.....	9
3.4	Logica di funzionamento dell'impianto	10
4	Condotta di mandata al bacino di laminazione	13
5	Camera di carico.....	14
6	Bacino di laminazione.....	15
6.1	Aspetti teorici.....	15
6.2	Criteri di dimensionamento del bacino	15
6.3	Analisi pluviometrica	16
6.4	Utilizzo delle curve pluviometriche.....	17
6.5	Trasformazione afflussi – deflussi: aspetti teorici.....	18
6.6	Dimensionamento bacino di laminazione	23
7	Scarico bacino	27
8	Trincea filtrante.....	28
9	Conclusioni.....	31

1 Premesse

Con la presente relazione si analizza il sistema di raccolta delle acque di piattaforma previsto in concomitanza alla realizzazione della terza corsia nel tratto compreso tra Verona Nord (km 223) e l'intersezione con l'autostrada A1 (km 314).

Il problema connesso all'allargamento della sede stradale 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). La realizzazione di bacini di laminazione e del sistema di adduzione dell'acqua agli stessi, lungo tutta la tratta autostradale considerata, è appunto l'oggetto del presente elaborato.

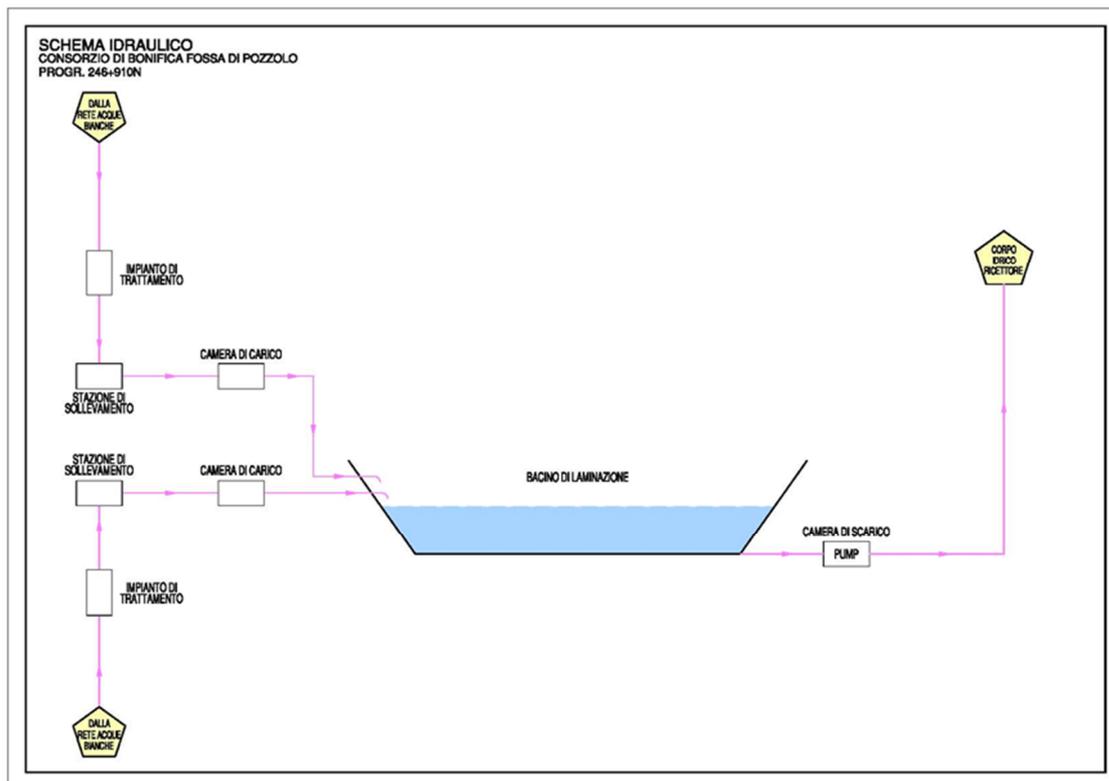
Nel seguito della presente relazione viene sviluppato lo schema concettuale e teorico che caratterizza la struttura di raccolta, trattamento, sollevamento, laminazione e scarico che nel complesso costituisce il sistema di raccolta delle acque di piattaforma. Nel particolare, nella presente relazione, si svilupperanno i calcoli del volume di accumulo previsto per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica, nonché i dimensionamenti dei principali manufatti che costituiranno il sistema di raccolta.

Tutti gli impianti sono accomunati da uno stesso sistema di funzionamento e differiscono solamente per l'entità delle portate raccolte, funzione della lunghezza della tratta sottesa, ed eventualmente del tipo di scarico dal bacino di laminazione all'organo ricettore (corso d'acqua naturale, fosso di bonifica o canale). In generale il sistema di raccolta è così composto:

- rete di raccolta che si sviluppa lungo la carreggiata completa di caditoie, scolmatori, embrici;
- sistemi di trattamento acque di prima pioggia;
- stazioni di sollevamento (eventuali) per il carico dei bacini;
- bacini di laminazione;
- condotta di allontanamento all'organo ricettore, in alcuni casi, in pompaggio.

In generale, a seconda delle tratte considerate, ed in funzione delle condizioni geometriche e topografiche, della presenza di manufatti o di opere d'arte particolari, nel bacino di laminazione potranno confluire uno, due oppure tre impianti di sollevamento. Questi, a loro volta, potranno raccogliere uno o due impianti di trattamento che raccolgono, nel primo caso sia la corsia nord che quella sud, e nel secondo, per motivi topografici o di impossibilità di collegamento fisico, la corsia nord e quella sud separatamente. In alcuni casi particolari potrà succedere che l'acqua pompata da una stazione di sollevamento venga addotta in una seconda stazione e da questa poi, allontanata al bacino di laminazione. A titolo indicativo e per maggiore comprensione di quanto descritto, si riporta nella figura seguente uno schema idraulico di raccolta e di

adduzione di un bacino di laminazione (nel caso specifico il bacino posto alla progressiva 246+910N di competenza del Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo).



2 Normativa di riferimento

D.Lgs. n. 152 d.d. 03/04/2006 e ss.mm.

Deliberazione di Giunta (Regione Veneto) n. 2948 del 6 ottobre 2009;

Regolamento regionale (Regione Lombardia) 23/11/2017 n. 7 modificato in data 21/12/2019 (B.U.R.);

D.C.P. del 18-03-2009 - Appendice 1.3 "Criticità idraulica" della Relazione generale del P.T.C.P. (Piano Territoriale di coordinamento provinciale);

DGR 2112/2016 (Regione Emilia Romagna) Direttiva idraulica TESTO COORDINATO con gli adeguamenti introdotti fino alla "Variante di coordinamento PAI-PGRA".

2.1 Aspetti tecnici

In Italia tutta la materia relativa al inquinamento delle acque è regolamentata 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, si è scelto di dimensionare gli impianti di trattamento in modo da trattenere 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.

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.

Gli impianti di trattamento infine saranno conformi “indicazioni tecniche e procedurali per la progettazione ed installazione dei disoleatori lungo la tratta autostradale” emanata da Autobrennero.

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

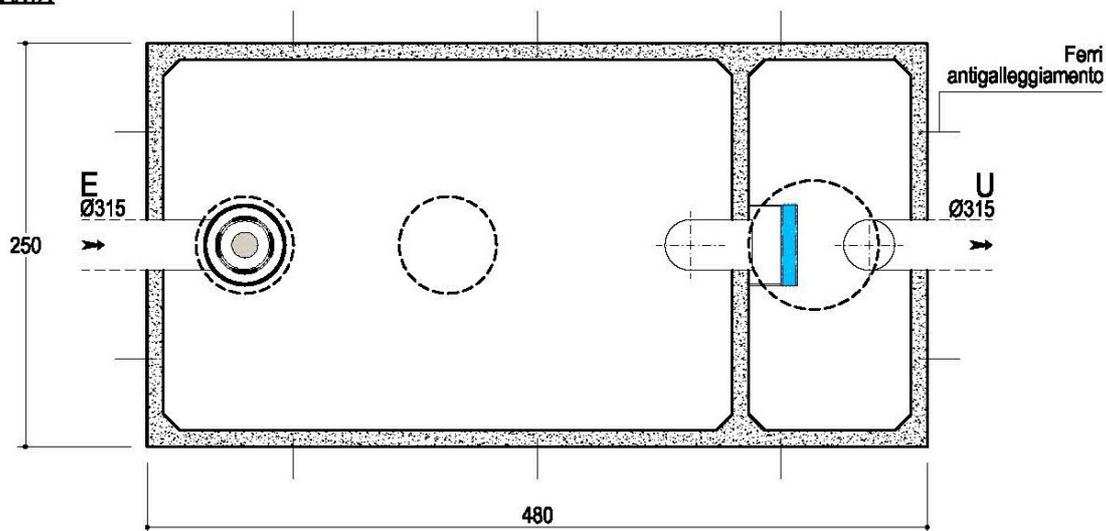
Il separatore di liquidi leggeri, dimensionato secondo norme UNI EN 858-1 e 858-2, è composto essenzialmente da due porzioni ben distinte. La prima costituita dal *sedimentatore* (vano di defangazione) con volume dimensionato in funzione della portata in entrata (volume utile pari ad almeno 100 volte la portata idraulica) ed è munito di sifonatura in ingresso con dispositivo di chiusura di sicurezza a galleggiante e deflettore di flusso. La seconda costituita dal vano di disoleazione che è dotato di deflettori di flusso e di filtro a coalescenza di tipo poliuretano installato in cestello facilmente estraibile a ghigliottina, realizzato in polipropilene. 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 ha la funzione 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 filtro a coalescenza e salire in superficie.

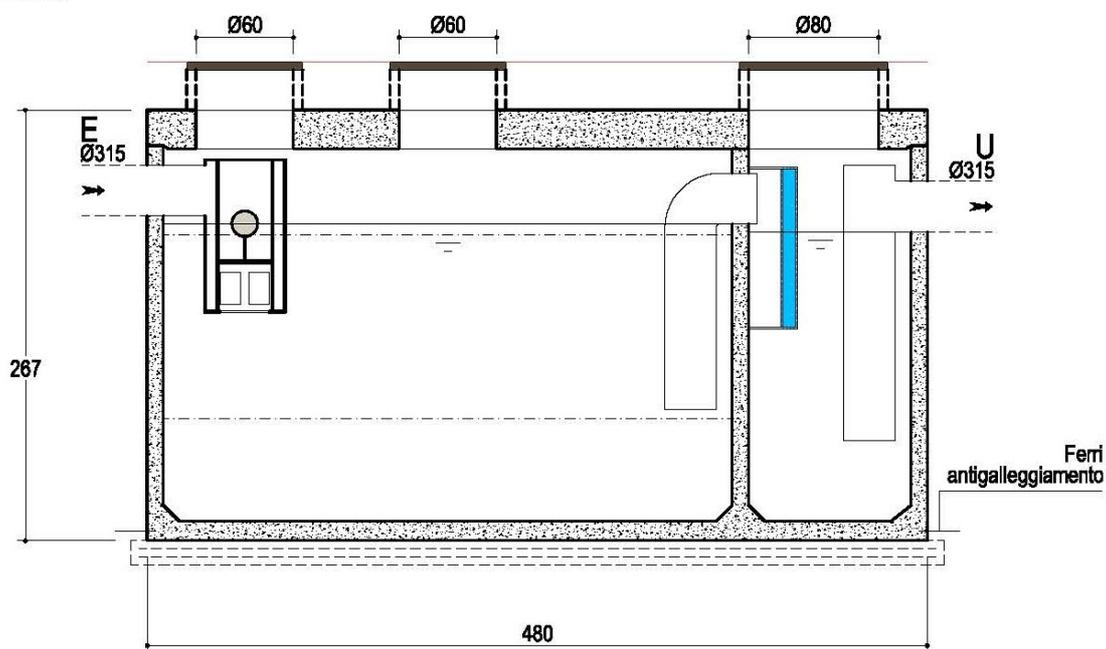
Il disoleatore, è munito di un dispositivo di sicurezza consistente in un galleggiante, tarato in funzione della densità dell’olio minerale previsto. Una volta che la pellicola di oli in superficie

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. Nella figura seguente si riporta, per maggiore chiarezza, il disegno di un impianto di trattamento tipo.

PIANTA



SEZIONE



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 $V/A = 2/3 \cdot d$ (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. Un terzo 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 ($<75 \mu\text{m}$), ma in generale le percentuali di inquinanti associate ai solidi risultano per l'80-90% adese a particelle di particolato di dimensioni superiori a $75 \mu\text{m}$.

Tipologia	Granulometria (mm)	Tipologia	Granulometria (mm)
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

NOTA: Come già accennato nei precedenti paragrafi, la rete di smaltimento potrà, nella generalità dei casi, funzionare a gravità, oppure, a seconda delle condizioni topografiche e delle relative quote altimetriche, in pressione con relativa stazione di sollevamento. Nel seguito vengono esposte le considerazioni tecniche relative a questo secondo caso. Per il caso di condotta a gravità si rimanda alla lettura del seguente paragrafo 4.

3.3 Stazione di sollevamento

La logica di funzionamento degli impianti 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. In generale le stazioni di sollevamento saranno quindi dotate di 3 pompe, in relazione alla necessità di ottimizzarne l'affidabilità. La terza pompa è attiva ed il suo funzionamento è limitato ai soli eventi meteo particolarmente gravosi. In questo caso, in vasca non è prevista una pompa di riserva nel caso avvenga una avaria ad una delle tre pompe di funzionamento. In queste condizioni tutte le pompe comunque lavoreranno in rotazione (relè di scambio ruoli

presente sul Quadro Elettrico) in modo tale da garantire tempi di funzionamento e quindi livelli di usura comparabili per ognuna delle macchine installate.

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 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 potranno essere destinate per vari impianti di sollevamento che abbiano installato delle pompe della stessa grandezza. In questo modo poche pompe possono essere la sicurezza in emergenza di molti impianti.

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:

- avviamento pompe 1/2/3 su livelli diversi;
- arresto unico per tutte le pompe in funzione;
- allarme max livello (se necessario).

Il sistema è completato da n° 2 regolatori di livello a variazione di assetto:

n°1 posto al livello minimo arresto pompe;

n°1 posto al livello massimo (soglia di avviamento della pompa n°3).

Questi regolatori di livello hanno il compito di inviare dei segnali al quadro elettrico di avviamento elettromeccanico e/o alla centralina di telecontrollo per l'automazione in emergenza delle pompe nei seguenti casi:

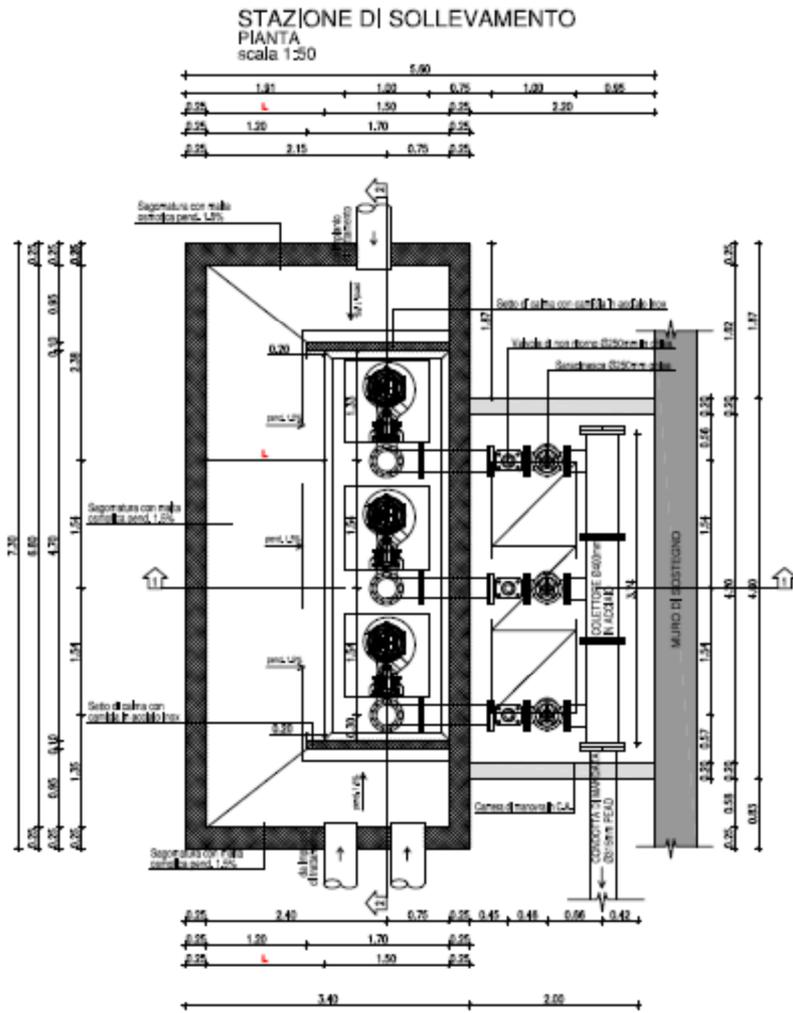
- avaria del sensore di livello piezoresistivo (con segnali inviati alla centralina);

- avaria della centralina di telecontrollo (con invio dei segnali al quadro elettrico).

N.B. il circuito di automazione in emergenza delle pompe riceve il segnale dal regolatore di livello posto al livello massimo. Tutte le pompe installate si avviano e per evitare che questa operazione in simultanea possa provocare un assorbimento di corrente allo spunto troppo elevato è stato predisposto l'avviamento con sequenza a scalare per mezzo di timer. Per ottimizzare il funzionamento sarà predisposto un circuito di automazione per modesti afflussi di acqua in vasca, che comanda l'avviamento di n°1 pompa tramite un segnale che riceve dal sensore di livello piezoresistivo anche in condizioni di parziale riempimento della vasca a causa di un evento meteorico di modesta entità (il livello dell'acqua non raggiunge la soglia prevista per l'avviamento della prima pompa). Il sensore non rileva variazioni di livello su una quota raggiunta entro un valore min. e max e per un tempo (timer) prefissato, ed avvia l'elettropompa.

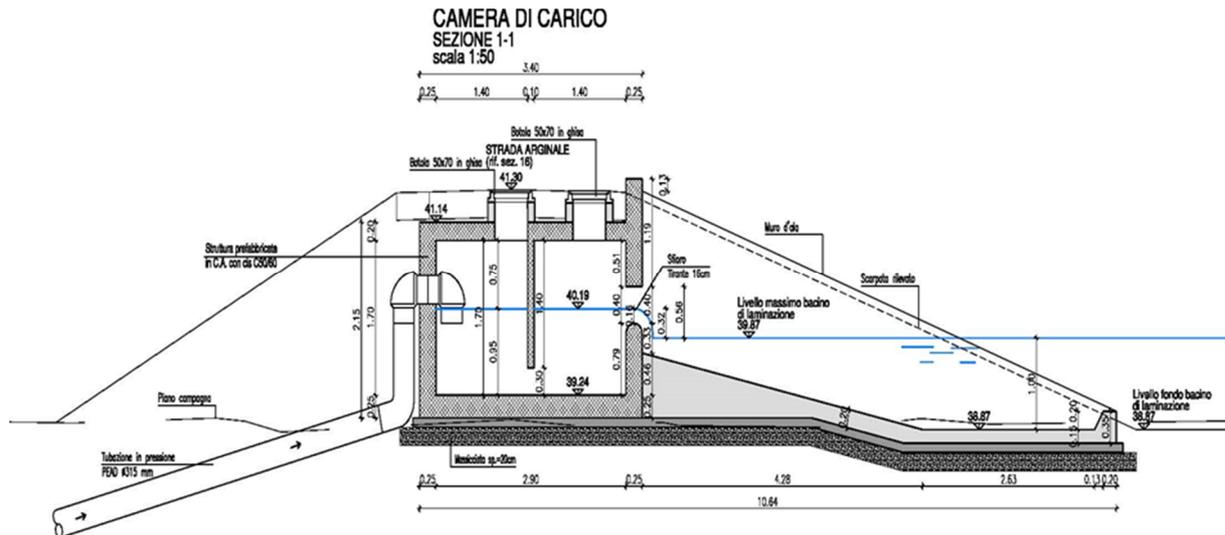
Dalle stazioni di sollevamento si diparte poi la condotta in pompaggio che scarica l'acqua all'interno del bacino di laminazione attraverso un manufatto in calcestruzzo di carico, i cui disegni esecutivi sono riportati all'interno del progetto.

A titolo di esempio si riportano nelle figure seguenti i disegni tipologici di una stazione di sollevamento tipo (pianta e sezione).



5 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.



Nella figura è riportato, a titolo di esempio, lo schema geometrico del manufatto, mentre la tabella riporta le tipologie adottate in funzione delle portate da scaricare con le corrispondenti larghezze.

TIPOLOGIA CAMERA DI CARICO BACINO DI LAMINAZIONE		
TIPO	Q [l/sec]	Larghezza (L) [m]
A	fino a 180	1,50
B	da 181 a 240	2,00
C	da 241 a 300	2,60
D	da 301 a 348	2,90

6 Bacino di laminazione

Si riporta nel seguito lo schema di calcolo per il dimensionamento dei volumi di laminazione collegati al concetto di invarianza¹ esponendo di seguito alcuni aspetti teorici e di inquadramento tecnico.

6.1 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 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 useranno più approcci metodologici; il primo è quello proposto nella pubblicazione inerente le *“Valutazioni di compatibilità idraulica – Linee guida”* edita a cura del Commissario Delegato per lo studio degli eventi meteorologici eccezionali che hanno colpito parte del territorio della regione Veneto (agosto 2009), mentre il secondo è quello contenuto in un articolo inerente *“La valutazione idrologica dei piani urbanistici – un metodo semplificato per l’invarianza idraulica dei piani regolatori generali”* (Pistocchi 2001 – già citato). Sulla base delle considerazioni contenute in tali pubblicazioni saranno svolti nel seguito della presente i calcoli per il dimensionamento dei bacini di laminazione previsti dalla norma collegata al concetto di invarianza.

6.2 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 carreggiata (III^a corsia). Il calcolo è svolto per le singole tratte di competenza di ogni bacino per una larghezza di 11.00 m corrispondente alla nuova carreggiata. In particolare gli 11 m sopra indicati sono costituiti dalle due corsie (una per senso di marcia) da 3.75 m cui si aggiunge il margine interno centrale di 4.00 m.

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 $Tr=100$ anni;
- acque di prima pioggia, valutate come da normativa in 5 mm in 15', per le quali è necessario il preventivo trattamento (per il dimensionamento della rete di raccolta);

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).

- creazione di nuovi bacini di laminazione per ottemperare al principio di invarianza idraulica da applicarsi all'aumento della larghezza della carreggiata (nuova superficie pavimentata) per effetto della realizzazione della terza corsia.

Lo schema di lavoro adottato è il seguente:

- Acquisizione dei dati di precipitazione eseguita utilizzando la curva di possibilità climatica contenute nel "Piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica " redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 del 26-04-2001). In tale documento è riportata la regionalizzazione 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;
- Acquisizione dei dati di precipitazione eseguita utilizzando la curva 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 per vari tempi di ritorno;
- Determinazione delle portate in arrivo al bacino calcolate con l'applicazione del metodo SCS (trasformazione afflussi – deflussi);
- dimensionamento del bacino di laminazione necessario per garantire il rispetto del concetto di invarianza e dimensionato per un $T_r=100$ anni.

6.3 Analisi pluviometrica

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

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

dove:

h = altezza precipitazione in mm

t = durata della precipitazione ore

contenute nel "Piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po. Tali curve sono state definite per celle, ognuna delle quali valida per specifici tratti della sezione autostradale oggetto di intervento. Nel caso della regione

Lombardia invece, l'analisi si basa sull'acquisizione dei parametri "a", "n" e "wt" (Testo coordinato del Regolamento regionale del 23 novembre 2017 - n. 7, pubblicato in data 21 dicembre 2019) 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

wt = parametro moltiplicativo dipendente dal tempo di ritorno Tr

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 km².

6.4 Utilizzo delle curve pluviometriche

L'utilizzo di due fonti diverse per la determinazione della pioggia di progetto, la prima valida per la Regione Lombardia e la seconda per le altre regioni attraversate è legato al fatto che la prima ha adottato con il già citato Testo coordinato del Regolamento regionale del 23 novembre 2017 - n. 7, pubblicato in data 21 dicembre 2019, una metodologia di calcolo ben precisa (metodo CHICAGO - Keifer & Chu, 1957) che si basa sull'acquisizione dei parametri "a" ed "n" forniti direttamente da ARPA Lombardia sulla base delle coordinate geografiche della posizione in esame, parametri che sono stati aggiornati rispetto alla prima versione della presente relazione – redatta nel 2015. I valori di precipitazione che si ottengono in base alla nuova regionalizzazione delle precipitazioni sono più alti rispetto ai dati originari di circa il 5%.

Per quanto riguarda invece le precipitazioni delle altre regioni, esse non hanno subito variazioni nel tempo trascorso e fanno sempre riferimento alla regionalizzazione contenuta nelle N.d.A. del Piano di assetto idrologico (PAI) – 7.2 Direttive di Piano, con particolare riferimento alla Direttiva 2 e relativo allegato 3 approvato con deliberazione del comitato Istituzionale n. 18 del 26-04-2001.

Il metodo di calcolo implementato per la determinazione dei bacini di laminazione che ricadono nei territori del Veneto e dell'Emilia Romagna, in assenza di precise metodologie di calcolo, è risultato essere molto conservativo ed a favore della sicurezza, tanto che anche i volumi di laminazione determinati con il metodo Chicago, imposto da ARPA, sono risultati minori rispetto a quelli a suo tempo determinati. Infatti a fronte di volumi specifici richiesti di minimo 600 mc/ha, le volumetrie oggi determinate, assicurano un volume di laminazione che si attesta

intorno ai 675 mc/ha di superficie sottesa. Per coerenza comunque i bacini sono stati mantenuti con le volumetrie originarie e quindi ben al di sopra dei minimi di normativa.

6.5 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. Nel nostro caso, essendo le aree oggetto di valutazione idraulica molto piccole, la pioggia efficace (e conseguentemente le portate) sarà determinata applicando 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.

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

dove:

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

V = volume di deflusso superficiale (mm)

Pn= pioggia netta (mm)

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

W = contenuto idrico del 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 dal PAI oppure 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.

<i>Classificazione idrogeologica dei suoli in base alle caratteristiche stratigrafiche e tessiturali dei depositi</i>
<p>GRUPPO A</p> <p>Bassa capacità di deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche quando saturi; sabbie e ghiaie profonde ben drenate. Notevole conducibilità idrica.</p>
<p>GRUPPO B</p> <p>Suoli con moderata infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi, tessitura medio grossa e conducibilità idrica non molto elevata.</p>
<p>GRUPPO C</p> <p>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.</p>
<p>GRUPPO D</p> <p>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.</p>

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 100 anni. Il calcolo per la quantificazione delle portate fluenti della carreggiata esistente, alla quale per norma non va applicato il principio di invarianza, sarà condotto utilizzando il CN(I), mentre quello relativo alla terza corsia sarà sviluppato utilizzando il CN(III), considerando quindi le condizioni più sfavorevoli e cioè che all'inizio dell'evento meteorico esaminato, il terreno sia già saturo a seguito delle precipitazioni precedenti.

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.

Il sistema di smaltimento sarà configurato in maniera che le nuove condotte siano dimensionate per il contributo di portata di prima pioggia con caditoie di raccolta con relativo pozzetto posizionate sempre ad interasse di 25 metri. In tal modo il contributo di portata che supera quello di prima pioggia sarà smaltito direttamente attraverso uno sfioratore (scolmatore) che scaricherà, attraverso gli embrici, nei fossi di guardia.

Per le verifiche delle tubazioni nei diversi tratti si rimanda alla lettura di quanto contenuto nel progetto esecutivo.

6.6 Dimensionamento bacino di laminazione

Per quanto riguarda il dimensionamento dei bacini di laminazione, da prevedersi in relazione al concetto di invarianza, si osserva che i contributi derivanti dalla carreggiata esistente (L=21.00m) esulano dal concetto di invarianza, e quindi verranno scaricati (come succede già oggi) nei fossi di guardia esistenti, mentre quelli dovuti alla nuova carreggiata (L=11.00m) verranno laminati.

Come indicato nella relazione generale, il calcolo si basa sull'equazione di continuità che è espressa come di seguito

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

Dove:

$Q_e(t) \cdot dt$ è il volume d'acqua entrato nel tempo dt

$Q_u(t) \cdot dt$ 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'espressione della $Q_e(t)$, dipendente dalla precipitazione di durata t , assume l'espressione

$$Q_e(t) = S \cdot \phi \cdot a \cdot t^n$$

che rappresenta la portata entrante nel bacino di laminazione.

La portata uscente $Q_u(t)$, ammessa allo scarico, viene stabilita caso per caso dai gestori degli organi ricettori.

Imponendo nulla la derivata del volume di invaso desunta dalla (1) si determina la durata critica (t_{cr}) che assume il valore

$$t_{cr} = (Q_u / (S \cdot \phi \cdot a \cdot n))^{1/(n-1)}$$

mentre il corrispondente volume massimo da invasare nel serbatoio è dato dalla

$$V = S \cdot \phi \cdot a \cdot (Q_u / (S \cdot \phi \cdot a \cdot n))^{1/(n-1)} - Q_u \cdot (Q_u / (S \cdot \phi \cdot a \cdot n))^{1/(n-1)}$$

Tenendo conto che all'aumentare della durata della precipitazione, l'intensità della stessa tende a calare, si è fissata la portata entrante al bacino di laminazione scegliendo tra il valore della portata di prima pioggia (fissato dalla norma in 5 mm per i primi 15 minuti) ed il valore derivante dalla precipitazione con tempo critico prima individuato. Se il valore della precipitazione è superiore a quello di prima pioggia, si utilizzerà quest'ultimo per il calcolo dei volumi entranti al bacino di laminazione, mentre si utilizzerà il valore della precipitazione quando questo non sia sceso al di sotto del valore della prima pioggia. Da quel momento in poi la portata usata per il calcolo dei volumi è quella desunta dal calcolo della precipitazione che tenderà, al progredire della precipitazione, a calare. In tal modo si è tenuto conto che al perdurare della precipitazione, la sua intensità è calata e con essa anche il valore della portata addotta al bacino. Il calcolo sviluppato fornisce in sintesi sia un valore teorico legato esclusivamente al concetto di invarianza, ma anche un valore legato ai volumi derivanti dalle portate di prima pioggia adottate con continuità al bacino di laminazione. Il valore che si è assunto è ovviamente il maggiore dei due.

La determinazione della $Q_e(t)$, come già indicato in precedenza, è costante ed assumerà il valore imposto dal competente consorzio di bonifica che gestisce l'organo ricettore nel quale il bacino di laminazione, va a scaricare. Nei calcoli svolti, il contributo che può essere rilasciato in alveo è ovviamente proporzionato alla nuova superficie captata in sintonia con il concetto di invarianza.

Il bilancio complessivo dei volumi, in entrata ed in uscita, fornirà quindi un volume netto di invaso.

Per quanto riguarda invece il calcolo dei bacini di laminazione che scaricano in corsi d'acqua di competenza del Consorzio di bonifica Terre del Mincio è stato condotto secondo le indicazioni contenute nel Testo coordinato del Regolamento regionale del 23 novembre 2017 - n. 7, pubblicato in data 21 dicembre 2019. Seguendo le indicazioni normative si sono desunti i seguenti dati, che si riferiscono alle diverse zone di intervento:

- Ambito territoriale: _____
- Zona B a media criticità (1)
- Classificazione dell'intervento (art. 9): impermeabilizzazione alta (2)
- Superficie considerata ai fini invarianza _____ mq

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 già indicato 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 100 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.

La determinazione del volume di invaso ai fini della laminazione – come già indicato per la precedente metodologia di calcolo - si basa sull'equazione di continuità che è espressa come di seguito

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

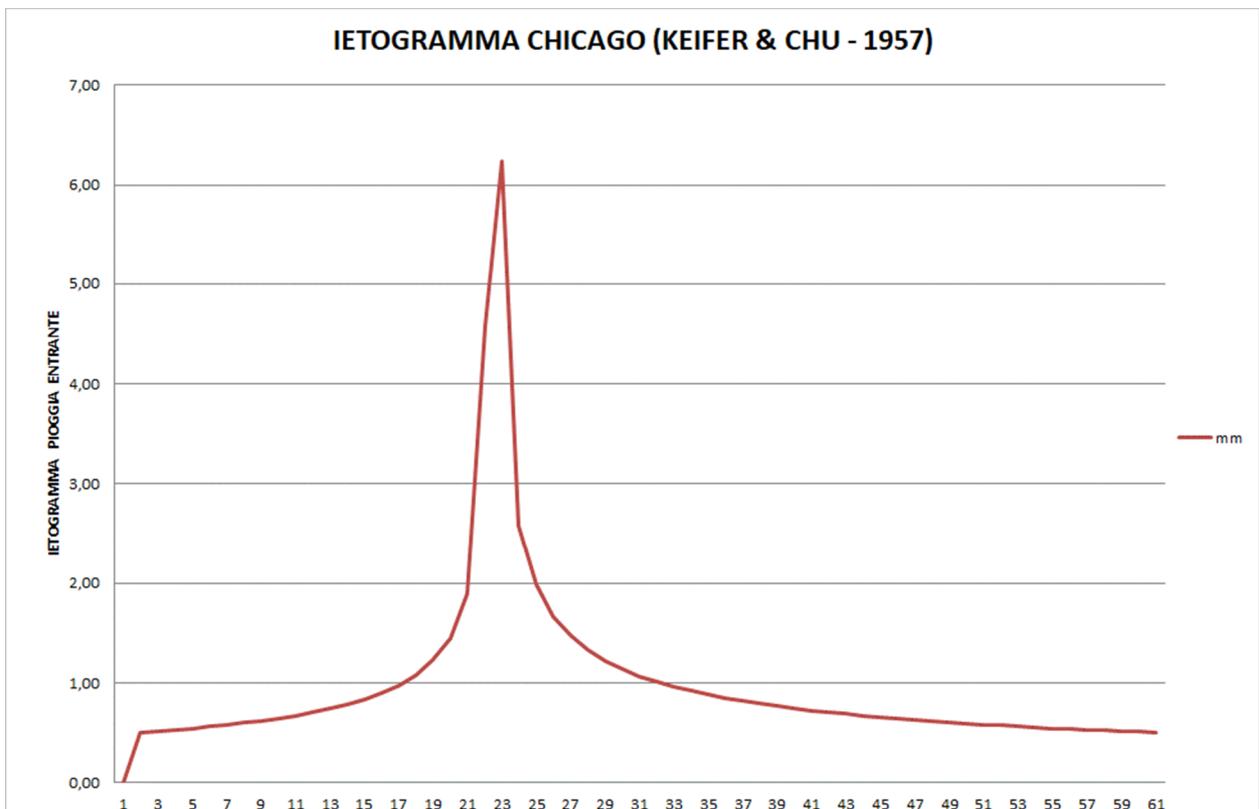
Dove:

$Q_e(t) \cdot dt$ 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

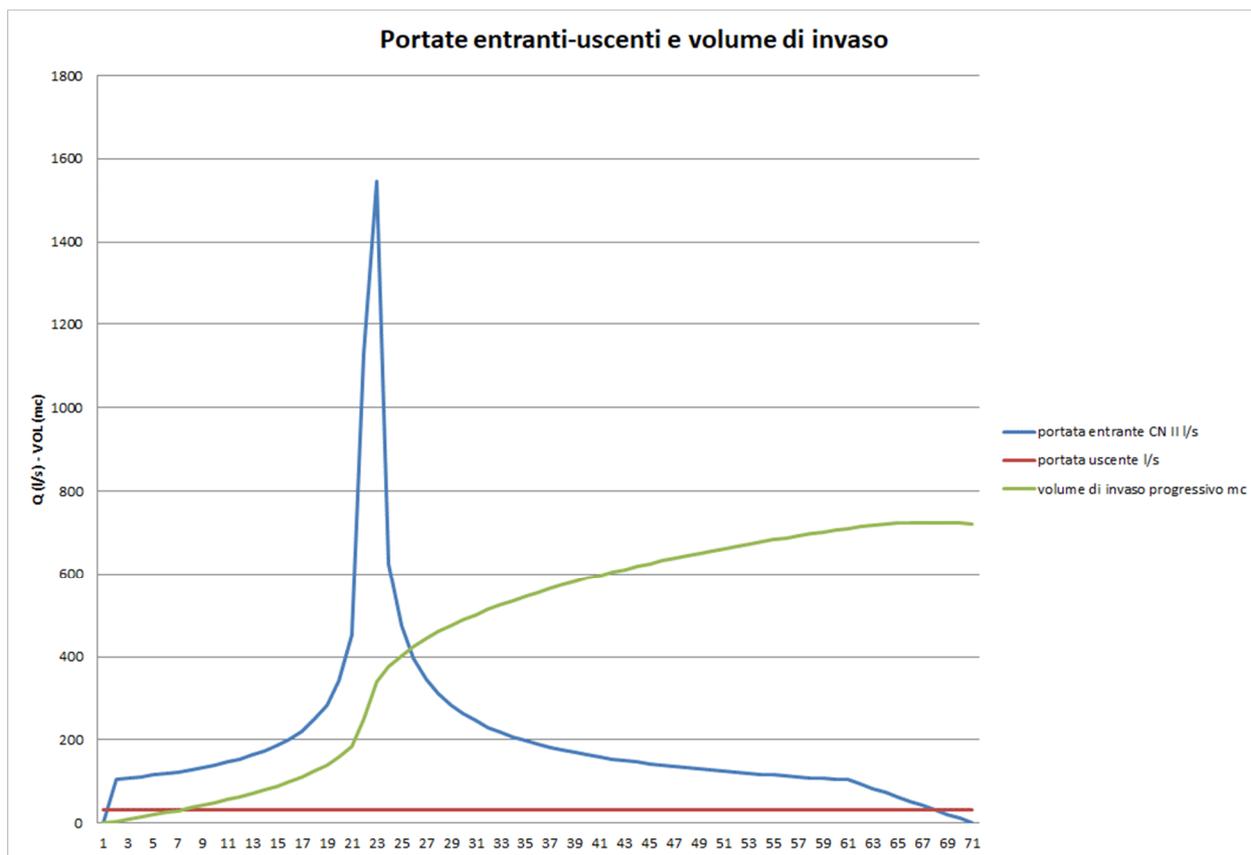
dV è la variazione del volume d'acqua invasato nel serbatoio nello stesso intervallo di tempo e sarà positiva in fase di riempimento oppure negativa in fase di svuotamento.

L'andamento della $Q_e(t)$, calcolata con il metodo Chicago, è quello riportato nella figura seguente e corrispondente ad un tempo di ritorno $T_r = 100$ 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 caso riportato ad esempio, viene stabilita in 20 l/s*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 T_r 100 anni ed utilizzando il CN III, è riportato nel grafico seguente ed indica che il volume massimo di invaso determinato è pari a 757 mc.



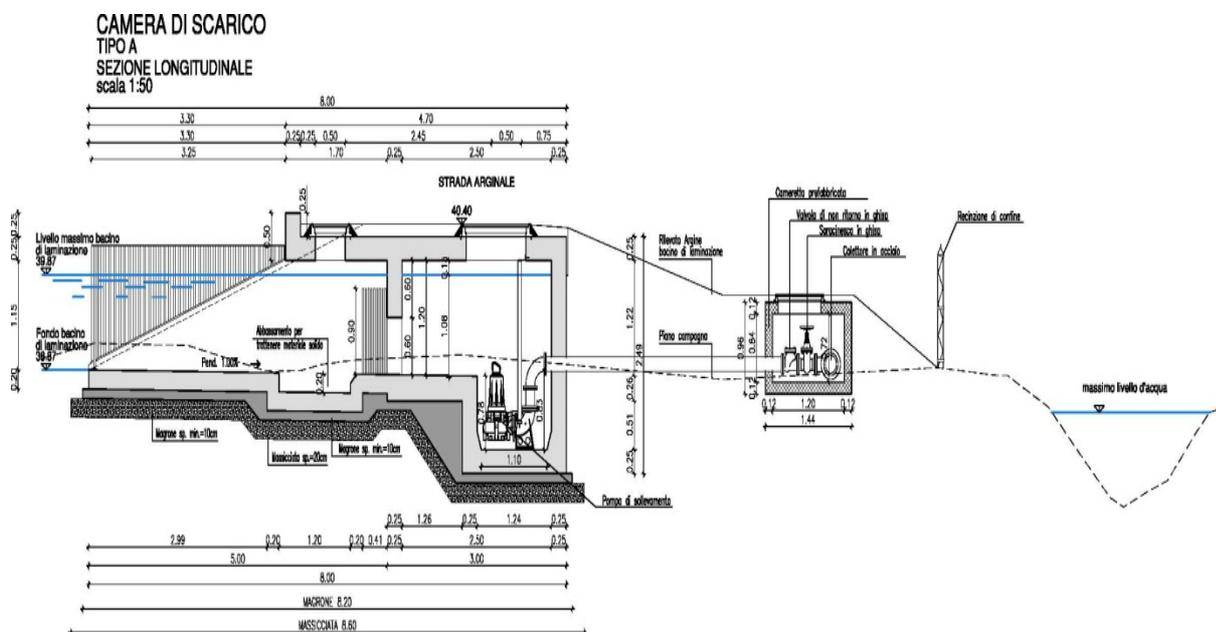
Si richiamano i contenuti dell'articolo 12 comma 2 del regolamento n. 7 che impone in ogni caso volumi minimi di invaso a seconda del tipo di aree in cui si interviene e dipendente dal grado di criticità.

Nel caso specifico la norma impone un minimo di 600 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile. I calcoli sviluppati con il metodi prima indicati più conservativi - portano ad un volume per ettaro di superficie scolante pari a circa 675 mc/ha che porta quindi il volume di invaso sempre superiore al minimo di normativa. Tale discorso vale anche per i bacini di competenza del Consorzio Terre del Mincio.

7 Scarico bacino

Lo scarico del bacino potrà avvenire con due modalità: a gravità oppure in pompaggio. Nel primo caso il dimensionamento delle condotte sarà sviluppato con la formula di Gaukler-Strikler mentre nel secondo caso, in funzione delle caratteristiche topografiche della zona, lo scarico avverrà con un sistema di pompaggio, che sarà composto da una stazione di sollevamento con relative pompe in numero commisurato alla portata da allontanare in modo tale da garantire

comunque un buon livello di affidabilità. Lo schema dimensionale e costruttivo è riportato nell'immagine allegata.



8 Trincea filtrante

In alcune tratte autostradali ed in relazione alle eventuali buone caratteristiche del terreno, che dovrà essere molto permeabile, e tenendo conto che la falda acquifera dovrà risultare molto depressa rispetto al piano campagna, in accordo con l'ente gestore (ad esempio il Consorzio di bonifica Agro Veronese) si potranno raccogliere le acque provenienti dal bacino di laminazione in una trincea filtrante costituita da un sistema disperdente composto da strutture reticolari in polipropilene (completamente riciclabile) a forma di parallelepipedo all'interno del quale è ricavato un tunnel di ispezione che consente, se necessario, l'ispezione e la pulizia. L'intero parallelepipedo viene avvolto con un tessuto non tessuto che lo protegge dall'infiltrazione di materiale.

Il sistema è dimensionato per resistere anche ai carichi stradali e presenta, rispetto alle trincee normalmente realizzate con semplice ghiaia, alcuni interessanti vantaggi:

- volume di accumulo del 95 % e conseguente superficie disperdente maggiore;
- flussi interni omogenei sia in senso verticale che orizzontale;
- ispezionabilità dell'intero sistema per manutenzione e pulizia.

Il dimensionamento delle trincee è stato eseguito con l'ausilio di un programma di calcolo che si basa sui principi della normativa tedesca ATV A138.

Tale normativa è applicabile al calcolo dei sistemi disperdenti per bacini che abbiano estensione massima di 200 ha oppure tempo di corrivazione massimo di 15 minuti

Il principio alla base del dimensionamento della trincea si può sintetizzare nella seguente formula:

$$\text{volume di accumulo} = \text{volume in ingresso} - \text{volume allo scarico}$$

La portata in ingresso è determinata considerando l'area effettiva allacciata (in ha) più una serie intensità di pioggia (in l/sha) per un dato tempo di ritorno. La portata allo scarico si determina dal dato di permeabilità del terreno (in m/s) moltiplicato per l'area effettiva utile ai fini della dispersione.

La differenza tra ingresso e scarico determina il volume della trincea.

Il calcolo è stato sviluppato tenendo conto delle le piovosità critiche rilevate da una stazione meteorologica relative a varie durate critiche divise a seconda del tempo di ritorno. Una volta fissato il tempo di ritorno per il quale si vuole dimensionare la trincea si utilizzano i relativi dati di piovosità e durata critica per calcolare le lunghezze delle trincee. Tra tutti i risultati ottenuti si deve considerare la condizione più critica (L max).

Va tenuto in considerazione che la normativa tedesca DWA(ATV) A 138 fa riferimento alle seguenti linee di dimensionamento:

- lo svuotamento della trincea deve avvenire entro le 48 ore dal termine dell'evento meteorico; (in caso contrario andrebbe previsto un troppopieno di sicurezza)
- la permeabilità K_f viene divisa per 2 perché non è mai possibile considerarla omogenea per tutta l'area.

Di seguito proporremo nel dettaglio i calcoli sviluppati.

Attraverso i dati di input prima elencati e considerando gli ingombri massimi consentiti, si è potuta stimare la curva di possibilità pluviometrica (relativa ad un tempo di ritorno di 100 anni) attraverso l'espressione di Massari $h=a*t^n$. Nella tabella seguente sono riportati i calcoli per la determinazione della precipitazione critica, nonché la formula numerica per il dimensionamento della trincea. L'esempio che si riporta è quello alla progressiva 224+150S.

DURATA EVENTO PIOVOSO (D)	1/(s*ha)	FORMULE UTILIZZATE DETERMINARE LA DIMENSIONI DELLA TRINCEA
5 min	1121,39	<p style="text-align: center;"><u>Lunghezza</u></p> $L = \frac{A_{red} \cdot 10^{-7} \cdot r_{T(n)} \cdot T \cdot 60}{b \cdot h \cdot s + (b + \frac{h}{2}) \cdot T \cdot 60 \cdot \frac{k_f}{2}}$ <p style="text-align: center;"><u>Volume</u></p> $V = s \cdot (L \cdot h \cdot b)$
10 min	646,3	
15 min	468,21	
20 min	372,49	
30 min	269,85	
45 min	195,49	
60 min	155,53	
90 min	112,67	
2 h	89,64	
3 h	64,94	
3,77 h	54,15	
4 h	51,66	
6 h	37,42	
9 h	27,11	
12	21,57	
18 h	15,63	
24 h	12,43	
48 h	7,16	
72 h	5,19	

s	Coefficiente di volume di accumulo	0,95
T	Durata critica evento meteorico	T = 3,77 h
rT(n)	Piiosità critica relativa alla durata critica e al tempo di ritorno	54,152261
L	Lunghezza della trincea	14,138001
L arr.	Lunghezza della trincea arrotondata a multipli di 0,8 m	14,4
V	Volume utile della trincea	158,90688

I dati di output forniti dall' algoritmo sono i seguenti :

Progr. Km **224+150S**

Altezza : **1,32 m (2 strati)**

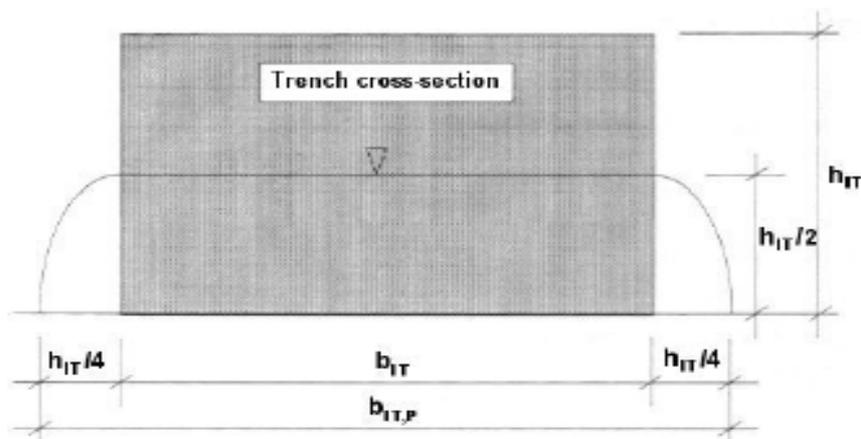
Larghezza : **8,80 m (11 moduli)**

Lunghezza : **14,40 m (18 moduli)**

Volume netto : **158,91 mc**

Per quanto riguarda la definizione dell'area disperdente della trincea il programma fissa l'estensione della superficie utile ai fini della dispersione come l'area dell'impronta di base + il 25% dell'area laterale (dei soli lati lunghi - assumendo che durante un evento che riempia completamente nel breve periodo la trincea il livello medio di altezza idrica sia $hT/2$).

L'area effettiva efficace ai fini della dispersione, secondo ATVA138, è determinata come risulta dall'immagine sottostante:



9 Conclusioni

Nel prospetto allegato alla presente relazione sono riportati tutti i bacini di laminazione – calcolati con i metodi esposti nei paragrafi precedenti - con i corrispondenti impianti di trattamento ed i rispettivi organi ricettori.

Nella tabella sono riportati – nelle varie colonne – tutti i dati essenziali che discendono dal dimensionamento. La tabella riporta una suddivisione dei bacini/manufatti per competenza dei diversi consorzi di gestione ed in particolare:

- progressiva chilometrica del bacino di laminazione e degli impianti di trattamento ad esso collegati;
- superficie scolante collegata ai tratti di carreggiata, in direzione nord e/o sud, collegati al trattamento;
- tipologia degli impianti di trattamento differenziati per portata da trattare;
- tipologia degli impianti di sollevamento (dove necessari) differenziati per portata da sollevare e per numero di pompe;
- organo ricettore

ENTE	NOME	DATI DI LAMINAZIONE		POSIZIONE IMPIANTI DI TRATTAMENTO	BACINO SCOLANTE					IMPIANTI DI TRATTAMENTO					IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO										CORPO IDRICO RICEITTORE												
		PROGRESSIVA	VOLUME		SEZ. NORD	SEZ. SUD	LUNGHEZZA	LARGHEZZA	AREA	1° impianto	2° impianto	PORTATA TOTALE IMPIANTI	1° Trattamento acque prima pioggia	2° Trattamento acque prima pioggia	PORTATA TOTALE IMPIANTI	DISLIVELLO GEODETICO (Dh)	PENDENZA TUBAZIONE IN CADUTA	LUNGHEZZA DI MANDATA (PEAD)	PERDITE DI CARICO (Dy)	PREVALENZA (Dh-Dh-Dy)	STAZIONE DI SOLLEVAMENTO	POMPE DI SOLLEVAMENTO	DIAMETRO TUBAZIONE (PEAD)	PUNTO DI RECAPITO	PORTATA AMM. INVARIANZA IDRICA	PORTATA AMMESSA	PORTATA DI SCARICO	DISLIVELLO GEODETICO (Dh)	PENDENZA TUBAZIONE IN CADUTA	LUNGHEZZA DI MANDATA (PEAD)	PERDITE DI CARICO (Dy)	PREVALENZA (Dh-Dh-Dy)	CAMERA DI SCARICO BACINO	POMPE DI SOLLEVAMENTO	PARATOIA CON BOCCA TARATA (diametro)	DIAMETRO TUBAZIONE (PEAD)	
		km	(mc)		(Prog. Km)	(Prog. Km)	(m)	(m)	(ha)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	Tipo	Tipo	(l/s)	(m)	(%)	(m)	(m)	(mm)	Tipo	Tipo	(mm)	(prog. Km)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(m)	(%)	(m)	(m)	(m)	Tipo	Tipo	(cm)	(mm)	
CONSORZIO DI BONIFICA TERRE DEL MINCIO (EX FOSSA DI POZZOLO)	BL20	246+910 N	1041	P246+518N P247+020N	246+075	246+800	725	11	0,798	129,000	0,000	129	7	-	129	2,80	0,33%	848	2,80	5,60	C	28	355	246+779	20	16,0	30,3	0,08	0,07%	109	2,23	2,31	A	5		160	
	BL21	248+675 N	991	P248+111N P248+625N	247+450	248+400	950	11	1,045	124,000	0,000	124	7	-	124	2,80	0,33%	848	2,80	5,60	C	28	355	248+720	20	20,9	28,6	0,59	4,54%	13	1,54	2,13	A	5		110	
	STER	BL22	249+225 N	610	P249+274N P249+908N	248+400	249+575	825	11	0,908	60,000	0,000	60	1	-	60	-28,75	-3,39%	848	2,80	-25,95	C	28	355	249+895	20	18,2	18,2	0,04	0,01%	420	3,34	3,38	A	4		160
		BL23	250+400 N	814	P250+358N P251+000N	250+100	250+675	575	11	0,633	97,000	0,000	97	4	-	97	2,18	0,36%	614	1,70	3,28	A	6	280	250+400	20	11,6	24,2	-0,12	-0,52%	23			B		10,50	250
		BL24	251+120 N	1073	P251+619N P252+768N	251+175	252+125	950	11	1,045	83,000	92,000	175	3	4	175	5,31	0,81%	656	1,81	7,12	B	19	315	251+306	20	20,9	31,9	-0,37	-0,17%	217	2,82	2,45	A	5		180
		BL25	252+950 N	1026	P252+768N P253+306N	252+125	253+050	925	11	1,018	176,000	0,000	176	11	-	176	3,24	1,52%	213	0,60	3,84	B	25	315	252+950	20	10,1	30,5	-0,55	-0,45%	122	2,50	1,95	A	7		160
		BL26	253+890 N	590	P253+863N P254+549N	253+050	253+510	460	11	0,506	82,000	0,000	82	3	-	82	3,08	0,77%	401	0,55	3,63	A	20	280	253+890	20	17,5	17,5	1,84	0,78%	236	1,05	2,89	A	9		160
		BL27	254+605 N	551	P254+549N P255+205N	253+510	254+306	796	11	0,876	64,000	84,000	148	1	3	148	3,86	3,77%	51	0,11	3,97	B	13	315	254+605	20	16,4	16,4	3,09	0,32%	963	6,16	9,25	A	8		160
		BL28	255+365 N	555	P255+205N P256+034N	255+050	255+800	750	11	0,825	136,000	0,000	136	8	-	136	2,61	1,40%	186	0,59	3,20	B	6	280	255+365	20	16,5	16,5	0,23	0,05%	432	2,76	2,99	A	1		160
		BL29	256+000 N	703	P256+034N P257+251N	255+800	256+750	950	11	1,045	107,000	69,000	176	5	2	176	3,33	9,25%	36	0,10	3,43	B	13	315	256+000	20	20,9	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140
		BL30	257+650 N	1389	P257+251N P258+141N	256+725	257+251	526	11	0,579	96,000	0,000	96	4	-	96	2,50	0,53%	468	0,63	3,13	A	6	280	257+650	20	11,6	41,3	-0,33	-0,05%	628	4,43	4,10	A	8		225
		BL31	259+625 N	1667	P259+847N P260+338N	257+251	257+875	624	11	0,686	110,000	0,000	110	5	-	110	4,12	3,81%	108	0,54	4,66	C	14	315	259+625	20	13,7	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140
	AIPO	BL32	265+030 N	352	P265+069N P266+429N	260+850	261+325	475	11	0,523	92,000	0,000	92	-	-	92	3,38	2,05%	165	0,23	3,61	A	15	280	265+030	20	11,0	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140
		BL33	265+975 S	1355	P265+985N P266+429N	261+325	262+275	950	11	1,045	88,000	0,000	88	-	-	88	3,08	0,77%	401	0,55	3,63	A	20	280	265+975	20	16,4	16,4	3,09	0,32%	963	6,16	9,25	A	8		160
		BL34	267+240 N	537	P267+295N P268+025N	262+275	262+525	250	11	0,275	46,000	0,000	46	-	-	46	4,20	0,00%	42						267+240	20	16,0	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140
		BL35	268+090 N	1000	P268+025N P269+000N	262+525	262+750	225	11	0,248	42,000	0,000	42	-	-	42	2,64	4,06%	65	0,21	2,85	A	10	250	268+090	20	17,6	49,5	-0,07	-0,06%	108	3,21	3,14	A	15		180
		BL36	270+780 S	946	P270+525N P271+820N	264+625	265+100	475	11	0,523	94,000	0,000	94	4	-	94	1,70	2,62%	65	0,21	1,91	A	10	250	270+780	20	16,0	16,0	0,00	0,00%	19	0,21	0,21	A	1		160
		BL37	272+225 N	1040	P272+229N P273+698N	266+425	266+925	500	11	0,550	92,000	0,000	92	-	-	92	1,70	2,62%	65	0,21	1,91	A	10	250	272+225	20	29,7	29,7	0,00	0,00%	19			B		11,60	200
		BL38	272+815 N	670	P273+698N P274+237N	267+650	269+000	1350	11	1,485	133,000	0,000	133	8	-	133	1,70	2,62%	65	0,21	1,91	A	10	250	272+815	20	16,0	16,0	0,00	0,00%	19	0,21	0,21	A	1		160
		BL39	274+775 N	1438	P274+237N P275+217N	269+000	269+610	610	11	0,671	112,000	0,000	112	-	-	112	4,19	0,68%	617	1,21	5,40	B	14	315	274+775	20	15,4	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140
BL40		276+535 N	1332	P276+535N P277+128N	270+525	270+525	400	11	0,440	82,000	0,000	82	4	-	82	4,15	4,56%	91	0,61	4,76	C	24	315	276+535	20	15,4	39,6	-0,41	-5,13%	8			B		13,40	200	
BL41		277+050 N	1267	P277+128N P278+273N	271+425	271+425	900	11	0,990	82,000	0,000	82	3	-	82	0,09	0,02%	533	1,51	1,60	A	6	225	277+050	20	9,0	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140	
BL42	278+100 S	230	P278+273N P279+257N	271+825	272+150	725	11	0,798	137,000	0,000	137	-	-	137	1,15	0,30%	389	1,10	2,25	B	16	315	278+100	20	13,0	36,9	-0,17	-1,55%	11			B		12,90	250		
BL43	280+225 N	1038	P279+257N P280+782N	272+150	272+825	675	11	0,743	122,000	0,000	122	-	-	122	0,09	0,02%	533	1,51	1,60	A	6	225	280+225	20	17,1	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140		
BL44	281+250 N	910	P281+276N P282+519N	273+825	273+725	900	11	0,990	83,000	86,000	169	-	-	169	4,19	0,68%	617	1,21	5,40	B	14	315	281+250	20	15,4	39,6	-0,41	-5,13%	8			B		13,40	200		
BL45	282+500 N	1524	P282+519N P283+457N	274+525	274+525	700	11	0,770	146,000	0,000	146	9	-	146	0,09	0,02%	533	1,51	1,60	A	6	225	282+500	20	17,1	20,9	0,12	0,09%	135	2,50	2,62	A	9		140		
BL46	284+450 N	1352	P283+457N P283+990N	275+217	275+625	408	11	0,449	74,000	0,000	74	2	-	74	0,15	0,30%	389	1,10	2,25	B	16	315	284+450	20	13,0	36,9	-0,17	-1,55%	11			B		12,90	250		
BL47	284+850 N	733	P284+475N P285+008N	275+625	276+535	910	11	1,001	90,000	90,000	180	3	3	180	1,63	0,35%	463	1,63	3,26	B	14	280	284+850	20	17,1	36,9	-0,17	-1,55%	11			B		12,90	250		
BL48	286+575S	595	P286+459N P287+375N	276+535	277+275	740	11	0,814	136,000	0,000	136	8	-	136	3,19	0,70%	454	1,60	4,79	B	14	280	286+575	20	17,1	36,9	-0,17	-1,55%	11			B		12,90	250		
BL49	287+240N	1774	P287+375N P288+425N	277+275	278+050	775	11	0,853	142,000	0,000	142	9	-	142	3,21	1,12%	286	1,40	4,61	B	14	280	287+240	20	17,1	36,9	-0,17	-1,55%	11			B		12,90	250		
BL50	289+250S	1056	P289+214N P290+097N	278+050	279+257	307	11	0,338	74,000	0,000	74	-	-	74	2,77	0,51%	546	1,45	4,22	C	23	355	289+250	20	30,2	30,2	1,43	1,06%	135	0,93	2,36	A	7		200		
CONSORZIO TERRE DI GONZAGA	BL51	290+725N	841	P290+097N P291+637N	280+630	280+950	320	11	0,352	60,000	0,000	60	-	-	60	3,04	20,27%	15	0,25	3,29	B	13	225	290+725	20	17,4	26,4	-0,27	-0,07%	377	3,10	2,					