

POLITECNICO DI MILANO
Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infra-
strutture viarie, e Rilevamento



**VASCHE DI PRIMA PIOGGIA DI TRANSITO O DI
CATTURA IN RETI PLUVIALI AL SERVIZIO DI
BACINI DISTINTI LUNGO IL COLLETTORE**

Relatore: *Prof. Umberto Sanfilippo*

Correlatore: *Prof. Alessandro Paoletti*

Tesi di laurea di:

Matteo Cima Matr. 734023

Anno accademico 2010/2011

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale a mia Madre e a Giorgio per il sostegno morale ed economico e la pazienza avuta nel corso dei miei anni di studi; ai mie fratelli e a mio padre per essermi stati sempre vicini.

Un grazie ad Elisa che è rimasta sempre al mio fianco sostenendomi ed incoraggiandomi durante la stesura di questa tesi.

Un ringraziamento particolare al Professor Umberto Sanfilippo, che ha reso possibile tutto questo.

Ringrazio inoltre Luca, Sarah, Marco, Carlo, Daniele, Fabio L., Fabio C., Cristina, Valentina, Simone per il tempo trascorso insieme e l'aiuto concreto durante questi anni; Luciano, Elisa, Alberto ed Alice per la loro amicizia.

Indice dei contenuti

VASCHE DI PRIMA PIOGGIA DI TRANSITO O DI CATTURA IN RETI PLUVIALI AL SERVIZIO DI BACINI DISTINTI LUNGO IL COLLETTORE	I
RINGRAZIAMENTI	I
INDICE DEI CONTENUTI	III
INDICE DELLE FIGURE.....	V
INDICE DELLE TABELLE.....	VIII
INDICE DEI GRAFICI	X
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE	1
1.1 INTRODUZIONE.....	3
1.2 QUALITÀ DELLE ACQUE METEORICHE DI DILAVAMENTO.....	5
1.3 TIPOLOGIA DELLE VASCHE DI PRIMA PIOGGIA	6
1.3.1 Vasche in linea o fuori linea	8
1.3.2 Vasche di transito e di cattura	9
1.4 VASCHE DI PRIMA PIOGGIA IN BACINI DISTINTI.....	11
CAPITOLO 2 MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE	13
2.1 ELEMENTI PUNTUALI: NODES E STORAGE.....	15
2.2 ELEMENTI LINEARI: CONDOTTE, SOGLIE, ORIFIZI, PARATOIE.....	17
2.2.1 Condotte.....	17
2.2.2 Soglia	19
2.2.3 Orifice control.....	21
2.2.4 Elementi di tipo Sluice (paratoie mobili)	22
2.3 ELEMENTI SOTTOBACINI.....	24
2.4 MODELLO DI QUALITÀ DELLE ACQUE.....	26
2.4.1 Caratterizzazione delle superfici inquinate.....	26
2.4.2 Accumulo di inquinanti sulla superficie del bacino.....	29
2.4.3 Dilavamento superficiale.....	31

2.4.4 <i>Modello di calcolo della qualità delle acque nella rete</i>	34
2.5 SIMULAZIONE E ANALISI DEI RISULTATI	40
CAPITOLO 3 CASI DI STUDIO	43
3.1 SCHEMI DI RETE	45
3.2 DEFINIZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI	47
3.3 DIMENSIONAMENTO DEI COLLETTORI NELLE DIVERSE RETI	48
3.4 DIMENSIONAMENTO DELLE VASCHE DI PRIMA PIOGGIA	52
3.5 SELEZIONI DEI PARAMETRI DI DEPOSITO E WASH-OFF	59
3.6 SERIE DEGLI EVENTI DI PIOGGIA CONSIDERATI	62
3.7 PARAMETRI DI SIMULAZIONE	63
3.8 INFLUENZA DELLA SCALA DEI BACINI E DELLE PENDENZE	64
3.8.1 <i>Influenza delle scale dei bacini</i>	64
3.8.2 <i>Influenza delle pendenze dei collettori</i>	68
3.9 SIMULAZIONI EFFETTUATE	71
CAPITOLO 4 ANALISI DEI RISULTATI	77
4.1 INFLUENZA DELLA DISTANZA SUI VOLUMI E LE MASSE	78
4.1.1 <i>Influenza della distanza sui volumi scaricati</i>	78
4.1.2 <i>Influenza della distanza sulle masse scaricate</i>	99
4.2 INFLUENZA DELLA VARIAZIONE DEI VOLUMI DELLE VASCHE	129
4.3 CONFRONTO TRA LE VARIE TIPOLOGIE DI RETI E VASCHE	143
CAPITOLO 5 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	161
5.1 CONCLUSIONI	161
5.2 SVILUPPI FUTURI	163
BIBLIOGRAFIA	165
APPENDICE A	168

Indice delle figure

Figura 1.1 - schemi impiantistici di vasche di prima pioggia in sistemi fognari unitari e separati: in linea a) e b), e fuori linea c) e d).	9
Figura 1.2 - (a) reti con vasche in parallelo; (b) reti con vasche in serie; (c) reti con vasca unica.	12
Figura 2.1 - esempio di rete visualizzata in infoworks	15
Figura 2.2 - visualizzazione di elementi lineari (vasca unica fuori linea)	17
Figura 2.3 - sezione longitudinale di una condotta di forma circolare	18
Figura 2.4 - schema del modello di deposito ed erosione dei sedimenti	27
Figura 2.5 - schema operativo del surface pollutant index	29
Figura 3.1 - tipologie di vasche in reti a doppio bacino. (a) vasche in parallelo; (b) vasche in serie; (c) vasca unica.	45
Figura 3.2 - a sinistra VASCA IN LINEA; a destra VASCA CON SISTEMA BY-PASS	46
Figura 3.3 - reti modellate attraverso InfoWorks	49
Figura 3.4 - schema vasca-orifizio-soglia	52
Figura 3.5 - schema di funzionamento vasca di cattura con by pass	54
Figura 3.6 - modello in InfoWorks di vasche fuori linea con sistema di bypass	56
Figura 3.7 - serie di eventi considerati: anno 1985 staz. Milano via Monviso	62
Figura 4.1 - tipologie di rete considerate (a) vasche in parallelo (b) vasche in serie (c) vasca unica; L rappresenta la lunghezza del collettore che unisce le due immissioni da A e B	79
Figura 4.2 - (a) vasche in parallelo (b) vasche in serie	86
Figura 4.3 - portate entranti in V2 per L 100 m	89
Figura 4.4 - portata entrante in V2 con L 3000 m	90
Figura 4.5 - (a) vasche in parallelo; (c) vasche in serie	92
Figura 4.7 - portate in ingresso nella vasca unica con L 100m	94
Figura 4.8 - portate in ingresso nella vasca unica con L 3000m	95
Figura 4.9 - portate in ingresso nella vasca unica con L 10000m	96
Figura 4.10 - effetto della laminazione sulle portate lungo un collettore di 10000m	97

Figura 4.11 - <i>schema e diciture delle vasche in parallelo (a) e in serie (b)</i>	107
Figura 4.12 - <i>volumi e masse in arrivo in vasca e scaricate con L 100m per vasche in serie. Concentrazioni in ingresso vasca e in vasca.</i>	110
Figura 4.13 - <i>volumi e masse in arrivo in vasca e scaricate con L 3000m per vasche in serie. Concentrazioni in ingresso vasca e in vasca.</i>	111
Figura 4.14 - <i>masse scaricate dalla vasca V2 con L 100m</i>	115
Figura 4.15 - <i>masse scaricate dalla vasca V2 con L 3000m</i>	117
Figura 4.16 - <i>schemi e diciture di reti con vasche in parallelo e vasche uniche</i>	118
Figura 4.17 - <i>masse scaricate (arancione) e masse in arrivo in vasca (rosse) sulle 4 distanze proposte</i>	121
Figura 4.18 - <i>effetto di laminazione lungo L delle portate, delle concentrazioni e delle portate massiche.</i>	122
Figura 4.19 - <i>masse e volumi a monte della vasca unica di cattura. La parte colorata è il volume/massa portata a depurazione, la zona non colorata rappresenta il volume/massa scaricato al ricettore. L 3000m.</i>	125
Figura 4.20 - <i>masse e volumi a monte della vasca unica di cattura. La parte colorata è il volume/massa portata a depurazione, la zona non colorata rappresenta il volume/massa scaricato al ricettore. L 3000m.</i>	126
Figura 4.21 - <i>masse e volumi a monte della vasca unica di cattura. La parte colorata è il volume/massa portata a depurazione, la zona non colorata rappresenta il volume/massa scaricato al ricettore. L 10000m.</i>	127
Figura 4.22 - <i>a sinistra: concentrazioni dello scarico in vasche da 25 e 50 m³/ha_{imp} e portate volumetriche scaricate per vasche di transito da 25 e 50 m³/ha_{imp}. A destra: masse scaricate dalle vasche di transito rispettivamente di 25 e 50 m³/ha_{imp}</i>	149
Figura 4.23 - <i>a sinistra: concentrazioni dello scarico in vasche da 25 e 50 m³/ha_{imp} e portate volumetriche scaricate per vasche di cattura da 25 e 50 m³/ha_{imp}. A destra: masse scaricate dalle vasche di cattura rispettivamente di 25 e 50 m³/ha_{imp}.</i>	150
Figura 4.24 - <i>Sopra: concentrazioni vasche di transito alle dimensioni 25-50-75-100 m³/ha_{imp} per il medesimo evento di pioggia considerato. Sotto: concentrazioni vasche di cattura alle dimensioni 25-50-75-100 m³/ha_{imp} per il medesimo evento di pioggia considerato</i>	152
Figura 4.25 - <i>A sinistra: concentrazioni (C) degli scarichi di vasche di transito (C_t) e di cattura (C_c) e la portata volumetrica scaricata per il dato evento (linea tratteggiata, pari per entrambe le tipologie di vasca). A destra: confronto tra le masse scaricate da vasche di transito (M_t) e di cattura (M_c)</i>	153

Figura 4.26 - confronto tra le masse scaricate da vasche di transito (sopra) e vasche di cattura (sotto). La portata massica in arrivo in vasca è indicata con la linea rossa più scura, mentre in arancione è indicata la portata massica scaricata

154

Indice delle tabelle

Tabella 2.1 - valori di P_s tipici	30
Tabella 3.1 - parametri dei bacini	47
Tabella 3.2 - valori di diametro e lunghezza dei collettori utilizzati	51
Tabella 3.3 - portate limite, soglie e condizioni di apertura/chiusura paratoie vasche in parallelo	57
Tabella 3.4 - portate limite, soglie e condizioni di apertura/chiusura paratoie vasche in serie	58
Tabella 3.5 - portate limite, soglie e condizioni di apertura/chiusura paratoie vasca unica	58
Tabella 3.6 - parametri utilizzati per l'accumulo e il dilavamento delle superfici inquinata	61
Tabella 3.7 - parametri di simulazione	63
Tabella 3.8 - simulazioni al variare della grandezza dei bacini su vasche di 50 m^3/ha sulle 3 distanze caratteristiche L 100m, 1000m e 10000m	65
Tabella 3.9 - simulazioni effettuate al variare della pendenza dei collettori	68
Tabella 4.1 - volumi scaricati da ogni vasca nelle due tipologie di rete (a) e (b)	88
Tabella 4.2 - parametri di portata limite e di volume vasca per reti in serie (caso $50m^3/ha_{imp}$)	88
Tabella 4.3 - volumi scaricati dalle due tipologie di rete: unica (c) e in parallelo (a)	93
Tabella 4.4 - masse scaricate specifiche dalle due tipologie di rete con vasche da $50m^3/ha_{imp}$	108
Tabella 4.5 - masse scaricate specifiche scaricate dalle due tipologie di rete (in serie (b) e in parallelo (a) ($50m^3/ha_{imp}$))	114
Tabella 4.6 - masse scaricate dalle singole vasche prese in esame delle reti in parallelo(a) e uniche (c) ($50m^3/ha_{imp}$)	118
Tabella 4.7 - masse scaricate dalle due tipologie di vasche di cattura: uniche (c) e in serie (a)	123
Tabella 4.8 - valori del parametro A per i volumi scaricati in funzione di L	131
Tabella 4.9 - valore del parametro A per vasche in parallelo	131

Tabella 4.10 - valori di a per ogni tipologia di rete	132
Tabella 4.11 - valori di γ in funzione della distanza	132
Tabella 4.12 - valore di γ per reti in parallelo	133
Tabella 4.13 - valori di B al variare della distanza per vasche in serie e uniche nelle due tipologie di transito e di cattura	139
Tabella 4.14 - valori di B per vasche in parallelo nelle due tipologie di vasche (transito e cattura)	139
Tabella 4.15 - valori di a per vasche di transito e di cattura	140
Tabella 4.16 - valori di β per vasche in serie e uniche nelle due tipologie (cattura e transito)	140
Tabella 4.17 - valori di β per vasche in parallelo nelle due tipologie (cattura e transito)	140
Tabella 4.18 - masse TSS (%) trattenute da vasche di cattura al variare della loro dimensione con $L 100m$	156

Indice dei grafici

Grafico 3.1 - volumi scaricati specifici da VASCHE IN SERIE in funzione della distanza L per bacini di 100 ha e 1 ha	66
Grafico 3.2 - masse scaricate da VASCHE IN SERIE in funzione della distanza L per bacini di 100ha e 1 ha	66
Grafico 3.3 - volumi scaricati specifici da VASCHE UNICHE in funzione della distanza L per bacini di 100 ha e 1 ha	67
Grafico 3.4 - masse scaricate specifiche da VASCHE UNICHE in funzione della distanza L per bacini di 100 ha e 1 ha	67
Grafico 3.5 - volumi scaricati specifici da VASCHE IN SERIE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza L	69
Grafico 3.6 - masse scaricate specifiche da VASDCHE IN SERIE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza	69
Grafico 3.7 - volumi scaricati specifici da VASCHE UNICHE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza L	70
Grafico 3.8 - masse scaricate specifiche da VASDCHE UNICHE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza	70
Grafico 4.1 - volumi totali specifici scaricati da VASCHE IN SERIE al variare della distanza tra i bacini	80
Grafico 4.2 – volumi % scaricati da vasche in serie al variare della distanza tra i bacini	80
Grafico 4.3 - Volumi totali specifici scaricati da VASCHE UNICHE al variare della distanza tra i bacini	81
Grafico 4.4 - volumi % scaricati da VASCHE UNICHE al variare della distanza tra i bacini	81
Grafico 4.5 - volumi scaricati totali specifici di VASCHE IN PARALLELO al variare della distanza tra i bacini	82
Grafico 4.6 – volumi % scaricati da VASCHE IN PARALLELO al variare della distanza tra i bacini	82
Grafico 4.7 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da $25 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	83

Grafico 4.8 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	84
Grafico 4.9 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da $75 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	84
Grafico 4.10 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da $100 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	85
Grafico 4.11 - volumi scaricati da vasche in serie e parallele in funzione della distanza tra i bacini	87
Grafico 4.12 - volumi scaricati dalle due vasche V1 e V2 in reti in serie	87
Grafico 4.13 - volumi scaricati in funzione della distanza tra i bacini da vasche uniche e vasche in parallelo ($50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	93
Grafico 4.14 - masse scaricate da vasche in serie di transito al variare della distanza tra i bacini	99
Grafico 4.15 - masse scaricate da vasche in serie di cattura al variare della distanza tra i bacini	100
Grafico 4.16 - masse scaricate da vasche uniche di transito al variare della distanza tra i bacini	100
Grafico 4.17 - masse scaricate da vasche uniche di cattura al variare della distanza tra i bacini	101
Grafico 4.18 - masse scaricate da vasche in parallelo di transito, dove la distanza tra i bacini è ininfluente	101
Grafico 4.19 - masse scaricate da vasche in parallelo di cattura, dove la distanza tra i bacini è ininfluente	102
Grafico 4.20 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($25 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di transito)	103
Grafico 4.21 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($25 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di cattura)	103
Grafico 4.22 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione di L ($50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di transito)	104
Grafico 4.23 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di transito)	104
Grafico 4.24 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($75 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di transito)	105
Grafico 4.25 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($75 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di cattura)	105
Grafico 4.26 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($100 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di transito)	106

Grafico 4.27 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($100\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ di cattura)	106
Grafico 4.28 - masse scaricate specifiche in funzione della distanza tra i bacini per reti con vasche di transito a ($50\text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	108
Grafico 4.29 - masse scaricate, in funzione della distanza tra i bacini, delle due vasche V1 e V2 presenti in reti in serie ($50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	109
Grafico 4.30 - masse scaricate in funzione della distanza tra i bacini per vasche di cattura in serie e in parallelo ($50\text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	113
Grafico 4.31 - masse scaricate dai sistemi by pass delle delle vasche V1 e V2 in reti in serie ($50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	114
Grafico 4.32 - masse scaricate specifiche da vasche uniche e in parallelo in funzione di L ($50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)	119
Grafico 4.33 - masse scaricate specifiche di vasche di cattura in parallelo (a) e uniche (c) con dimensione $50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$	124
Grafico 4.34 - volumi scaricati annui di vasche in serie L 100m	129
Grafico 4.35 - volumi scaricati annui di vasche uniche L 100m	130
Grafico 4.36 - volumi scaricati annui da vasche in parallelo (L ininfluente)	130
Grafico 4.37 - volume scaricato da vasche di prima pioggia in funzione del proprio volume [4]	133
Grafico 4.38 – riduzione del volume e della massa scaricata da vasche di prima pioggia in funzione del proprio volume [2]	134
Grafico 4.39 – riduzione del volume scaricato da vasche di prima pioggia inserite in un sistema in parallelo.	134
Grafico 4.40 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti in parallelo	135
Grafico 4.41 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche in serie L 100m	136
Grafico 4.42 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche uniche L 100m	136
Grafico 4.43 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche in serie L3000m	137
Grafico 4.44 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche uniche L3000m	137
Grafico 4.45 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche in serie L10000m	138
Grafico 4.46 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche uniche L10000m	138

Grafico 4.47 - masse scaricate annue da sistema fognario misto e separato di vasche di prima pioggia di transito e di cattura in funzione del volume [4]	141
Grafico 4.48 - masse % catturate da vasche di cattura continue e ad intermittenza [3]	142
Grafico 4.49 - masse % catturate da vasche di cattura continue poste in parallelo	142
Grafico 4.50 - massa TSS ϵ (%) catturata da vasche in serie di cattura	143
Grafico 4.51 - massa TSS ϵ (%) catturata da vasche in serie di transito	144
Grafico 4.52 - massa TSS ϵ (%) catturata da vasche di cattura uniche	144
Grafico 4.53 - massa TSS ϵ (%) catturata da vasche di transito uniche	145
Grafico 4.54 - confronto tra le masse TSS ϵ (%) catturate da vasche di transito e di cattura per vasche poste in parallelo	146
Grafico 4.55 - confronto tra le masse TSS ϵ (%) catturate da vasche di transito e di cattura per vasche poste in serie	146
Grafico 4.56 - confronto tra le masse TSS ϵ (%) catturate da vasche di transito e di cattura per vasche uniche	147
Grafico 4.57 - masse TSS ϵ (%) catturate dalle 3 tipologie di rete per vasche di transito	155
Grafico 4.58 - masse TSS ϵ (%) catturate dalle 3 tipologie di rete per vasche di cattura	155
Grafico 4.59 - confronto delle tipologie di rete per le masse TSS ϵ (%) trattenute dalle vasche di cattura per le 4 dimensioni di vasca per ogni distanza L. in blu sono rappresentate le reti con vasche in serie, in rosso le reti con vasche uniche, in verde le reti con vasche parallele.	157
Grafico 4.60 - masse scaricate da tutte le tipologie di rete in funzione di L. In blu vasche in serie, in rosso vasche uniche, in verde vasche in parallelo. In alto sono rappresentate le vasche di transito mentre sotto le vasche di cattura	159

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

La seguente tesi illustra i principali risultati di studi e simulazioni relativi all'impiego delle vasche di prima pioggia nel controllo degli scarichi fognari generati da eventi meteorici.

L'obbiettivo è quello di confrontare e verificare l'efficienza di una o più vasche di prima pioggia di transito o di cattura inserite in reti che convogliano le sole acque meteoriche, provenienti da due bacini distinti. Si analizza quindi l'influenza della distanza tra i due bacini (definita come distanza tra le immissioni in un collettore delle reti fognarie provenienti dai corrispettivi bacini) sugli scarichi di inquinanti per le due tipologie di vasche (*transito* e *cattura*) e volume del relativo serbatoio di invaso. Inoltre per ogni distanza, volume e tipologia di vasca, si è studiato il problema facendo riferimento a tre modelli di rete differenti: *reti con vasche in parallelo*, *reti con vasche in serie* e *reti con un'unica vasca*.

L'intero studio è stato suddiviso in quattro parti distinte: nella prima parte (capitolo 1) viene svolta un'analisi generale del problema dello scarico nei corpi idrici ricettori da parte delle reti fognarie di inquinanti e delle tipologie di soluzioni presenti in letteratura per mitigare questo fenomeno.

Nella seconda parte (capitolo 2) viene descritto invece il modello numerico utilizzato per l'analisi del problema (modello informatico InfoWorks) e i parametri di inizializzazione delle simulazioni idrauliche/qualitative.

Nella terza parte invece (capitolo 3) vengono presentati in dettaglio i casi di studio, l'evento meteorico considerato e un riassunto di tutte le simulazioni effettuate.

Nell'ultima parte (capitolo 4 e 5) vengono proposti i commenti e le analisi dei risultati numerici ottenuti, con i dovuti confronti tra i vari casi analizzati.

1.1 Introduzione

È stato ampiamente dimostrato come le acque pluviali di dilavamento di aree urbanizzate siano molto contaminate e possono determinare un rilevante impatto negativo sulla qualità del corpo idrico ricettore.

A causa di un errata impostazione progettuale, spesso nei sistemi fognari separati le acque meteoriche raccolte dalla fognatura pluviale vengono scaricate direttamente al ricettore senza trattamento, causando l'immissione in esso di una grande quantità di inquinanti. Anche in sistemi fognari misti, gli scaricatori di piena vengono dimensionati al fine di portare a depurazione una portata q_0 pari ad un multiplo R , in genere compreso fra 2 e 5, della portata media in tempo asciutto q_{nm} provocando così lo scarico di praticamente tutte le portate meteoriche al ricettore.

Numerose ricerche hanno dimostrato l'inadeguatezza di questo approccio convenzionale ai fini del controllo ambientale; in particolare, è stato bene evidenziato che le portate meteoriche conferite secondo i criteri convenzionali sono troppo piccole per garantire una riduzione dei carichi inquinanti scaricati al ricettore ([18] *Mignosa P., Paoletti A., Passoni G*; [19] *Bornatici L., Ciaponi C., Papiri S.*; [21] *Papiri S.*). D'altra parte, l'aumento di q_0 ai fini di una migliore protezione del ricettore sarebbe difficilmente praticabile, in quanto determinerebbe all'ingresso degli impianti di depurazione portate incompatibili con la loro capacità di trattamento.

La necessità, quindi, di inviare al depuratore una quantità importante della massa di inquinanti veicolate dalle acque meteoriche di dilavamento, senza aumentare le portate usualmente addotte in tempo di pioggia agli impianti di depurazione, suggerisce come soluzione atta ad una migliore tutela del ricettore, di usufruire di appositi sistemi di invaso, nei quali possano essere accumulate le prime acque di pioggia, alle quali è normalmente associata una frazione importante della massa di inquinanti.

Questi invasi, detti *vasche di prima pioggia*, hanno la funzione di accumulare, fino al loro completo riempimento, i deflussi con portata eccedente il valore q_0 , per inviarli poi alla depurazione con portate compatibili con l'impianto.

L'impiego delle vasche di prima pioggia anche lungo la rete è da ritenersi preferibile, rispetto a scaricatori di piena, in quanto esse consentono, a parità di volumi di acque meteoriche convogliati alla depurazione, di intercettare tutte le acque di prima pioggia che presentano le più alte concentrazioni di inquinante, come confermato da numerose ricerche sperimentali, tra le quali [22] *Barco O.J., Ciaponi C., Papiri S.*

Le vasche di prima pioggia rappresentano quindi un intervento strutturale molto efficace nell'ambito del controllo della qualità degli scarichi fognari in tempo di pioggia. Tuttavia, ad oggi, per questi manufatti, non esistono consolidati criteri di progettazione che consentano di mettere in relazione l'entità dei parametri di dimensionamento con l'efficacia che si intende conseguire in termini di riduzione del carico inquinante scaricato, anche con riferimento alle specifiche caratteristiche dell'area servita.

Ulteriori elementi di incertezza riguardano l'incidenza, sull'efficacia delle vasche, esercitata dalle modalità del loro inserimento nell'ambito del sistema fognario. Infatti le complesse strutture urbane e le diverse disposizioni dei bacini scolanti rispetto alla rete, inducono alla possibile progettazione di sistemi di vasche di prima pioggia diversi e più complessi rispetto al semplice caso bacino-vasca tipicamente considerato in letteratura.

In questa tesi, si vuole appunto investigare sull'impatto migliorativo nei confronti dei ricettori di vasche di prima pioggia inserite in reti che raccolgono le acque meteoriche provenienti da due bacini distinti e separati, lungo il collettore che trasporterà i flussi al depuratore. Si effettueranno quindi simulazioni sull'effetto di una o più vasche poste in modo differente lungo il collettore in funzione della distanza tra le immissioni delle acque meteoriche in arrivo dai due bacini, e le grandezze delle vasche stesse.

1.2 Qualità delle acque meteoriche di dilavamento

L'inquinamento associato alle acque di scorrimento superficiale delle acque urbanizzate è ormai riconosciuto come una delle maggiori cause dell'alterazione della qualità dei corpi idrici ricettori, come osservato in letteratura da [23] e [24] *Fuchs S., Brombach H., Weiß G (2004)*. Nelle aree urbane, infatti, le acque meteoriche dilavano un miscuglio eterogeneo di sostanze disciolte, colloidali e sospese, che comprendono metalli, composti organici e inorganici.

Durante gli eventi di pioggia, infatti, l'acqua meteorica di scorrimento opera il dilavamento delle superfici urbane asfaltate causando il trasporto in fognatura di sostanze inquinanti tra le quali principalmente solidi sedimentabili.

Il fenomeno che determina il dilavamento ed il trasporto della maggior quantità di carico inquinanti, operato dal primo volume di acqua ruscellata è noto con il nome di *first flush*. Il carico inquinante, movimentato dai fenomeni di dilavamento, è influenzato dalla qualità dell'atmosfera, dall'uso del suolo urbano e dalle condizioni delle superfici stradali (maggiori concorrenti delle masse totale immesse in fognatura).

In particolare l'origine delle sostanze depositate sulle superfici delle aree antropizzate è quanto mai varia: attività domestiche quotidiane (discariche abusive, deposizioni fecali di animali, grassi, tensioattivi); attività collegate al traffico veicolare (idrocarburi, sottoprodotti della combustione di carburanti, metalli rilasciati in seguito a fenomeni di corrosione, usura pneumatici); attività riguardanti siti in costruzione (polveri, solidi sedimentabili derivanti da fenomeni erosivi); attività svolte in siti produttivi (demolizioni auto, distributori di carburante, autolavaggi).

Durante i periodi di tempo secco (assenza di precipitazioni) tali sostanze inquinanti si accumulano sulla superficie dei bacini di drenaggio nel tempo; il fenomeno è attenuato solamente per effetto della rimozione naturale dovuta al traffico veicolare o al vento, oppure ancora dalla rimozione diretta operata dai mezzi di pulizia delle strade.

Tuttavia, la mancanza di una definizione univoca in termini quantitativi del fenomeno del *first flush*, comporta un'oggettiva difficoltà nella caratterizzazione delle acque di prima pioggia, sulla base di parametri tecnicamente rappresentativi. La mancata caratterizzazione e determinazione dei volumi interessati da tale fenomeno, rende particolarmente difficoltoso il corretto dimensionamento delle strutture atte a contenerli come le vasche di prima pioggia.

Nell'ambito della gestione dei sistemi di drenaggio urbano, l'interesse della ricerca si è pertanto indirizzato, in primo luogo, alla caratterizzazione delle acque di prima pioggia e successivamente ai possibili interventi per mitigarne l'impatto sui corpi idrici ricettori.

In questo ambito negli ultimi decenni si sono susseguiti una serie di studi volti all'analisi dei processi di accumulo e trasporto di inquinanti, dalle aree antropizzate alla rete di drenaggio associata ai primi istanti dell'evento meteorico e considerata quindi maggiormente inquinante.

Nella seguente tesi vengono utilizzati i parametri di accumulo e di dilavamento delle superfici drenanti attraverso il software di simulazione idraulica InfoWorks, come si vedrà nel capitolo 2.4, dove si caratterizzeranno le superfici dei bacini e verranno definite le modalità di calcolo degli effetti dell'evento meteorico sul fenomeno del dilavamento (*wash off*).

1.3 Tipologia delle vasche di prima pioggia

La classificazione più diffusa per quanto riguarda le vasche di prima pioggia è caratterizzata principalmente per il diverso modo di inserimento all'interno della rete fognaria (*vasche in linea o fuori linea*), per le differenti modalità di alimentazione (*vasche di transito o di cattura*), per le differenti modalità di svuotamento (*svuotamento in continuo o intermittente*).

Le vasche inoltre possono essere inserite in un contesto di *rete mista* o *separata* (dove le acque meteoriche sono divise da quelle degli scarichi civili). Come in [4] *Bornatici, Ciaponi, Papiri (2004)* e [24] *Brombach H., Weiß G., Fuchs S.* si sottolinea che ai fini del controllo dell'impatto qualitativo sul corpo idrico ricettore, contrariamente all'opinione di vari addetti ai lavori, il sistema separato con scarico libero delle acque meteoriche presenta prestazioni inferiori rispetto al sistema unitario con controllo attuato mediante semplici scaricatori di piena. Questo tipo di controllo, indipendentemente dal sistema fognario in cui è applicato, è comunque inadeguato per perseguire una significativa riduzione del carico inquinante scaricato in tempo di pioggia, a meno di non ricorrere a valori della portata di inizio sfioro decisamente elevati, dell'ordine di 10 volte la portata nera media nei sistemi unitari e dell'ordine di 5 l/(s ha_{imp}) nei sistemi pluviali. Queste portate, incompatibili con le tradizionali capacità di trattamento degli impianti di depurazione, molto spesso non creano problemi di compatibilità idraulica lungo la rete dove, quindi, si può ottenere un efficace controllo degli scarichi meteorici dimensionando opportunamente gli scaricatori di piena. Nella sezione finale della fognatura, in testa all'impianto di depurazione, dove è invece necessario limitare la portata in ingresso all'impianto, solo l'impiego di vasche di prima pioggia consente una significativa riduzione degli indicatori di impatto (massa inquinante scaricata, numero annuo degli scarichi, concentrazione media e concentrazione massima degli inquinanti). Con questi presidi, l'impatto sul ricettore è pressoché identico tra sistemi unitari e separati dotati di attrezzature (scaricatori e vasche) analoghe; ne consegue che gli aspetti relativi ad una migliore tutela ambientale non possono costituire un argomento determinante nella scelta fra i due diversi sistemi fognari.

1.3.1 Vasche in linea o fuori linea

Indipendentemente dal tipo di sistema fognario, le vasche si dicono *in linea*, quando l'invaso è realizzato direttamente in serie al collettore fognario, così da essere interessato da tutta la portata che defluisce in fognatura. La capacità di invaso può essere ottenuta costruendo una vera e propria vasca, oppure assegnando ad un tratto di collettore una sezione maggiorata rispetto a quella connessa con un normale dimensionamento (supertubo). La portata in ingresso coincide sempre con la portata proveniente dal sistema a monte, mentre la portata in uscita è regolata da una bocca di efflusso ("bocca di controllo"), dimensionata in modo da limitare la portata al valore massimo q_u ammesso nel sistema di valle, sia esso costituito dal proseguimento della rete fognaria o da un impianto di depurazione. In corrispondenza del deflusso generato da un evento meteorico, la portata in arrivo da monte eccedente q_u viene temporaneamente invasata in vasca e, una volta che questa sia completamente riempita, viene scaricata nel ricettore.

Le vasche si dicono, invece, *fuori linea*, quando l'invaso è realizzato in derivazione rispetto alla rete fognaria ed è accoppiato ad un apposito manufatto partitore (scaricatore di piena). Lo scaricatore alimenta la vasca una volta che la portata in arrivo supera il valore limite di inizio sfioro q_u , fissato in modo da risultare compatibile con il sistema di valle. Il valore di q_0 è fissato con gli stessi criteri adottati per la definizione delle portate in uscita dalle vasche in linea. In corrispondenza del deflusso generato da un evento meteorico, la portata in arrivo da monte eccedente q_0 è convogliata e temporaneamente invasata in vasca e, una volta che questa sia completamente riempita, viene scaricata nel ricettore. Lo svuotamento della vasca, ai fini del conferimento alla depurazione dell'acqua di pioggia in essa invasata, può essere attuato con diverse possibili modalità; in genere, lo svuotamento viene attivato ad evento meteorico terminato, così che la portata di svuotamento non si sovrapponga, nella fognatura a valle, con la portata meteorica lasciata defluire dallo scaricatore. In **Figura 1.1** lo schema riassuntivo.

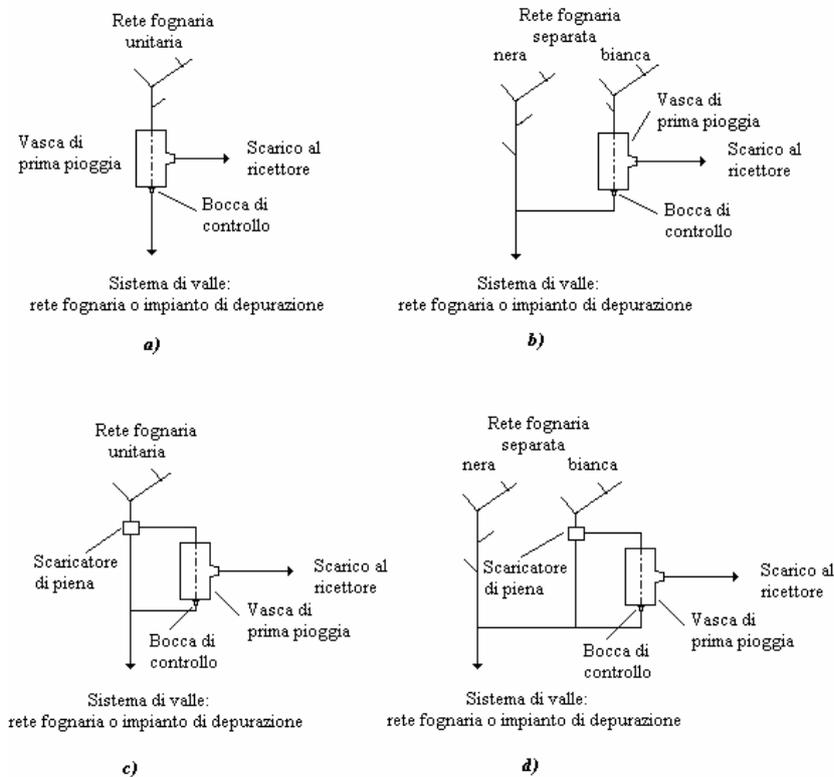


Figura 1.1 - schemi impiantistici di vasche di prima pioggia in sistemi fognari unitari e separati: in linea a) e b), e fuori linea c) e d).

Per quanto riguarda le possibili scelte circa l'inserimento delle vasche nell'ambito della fognatura, è ormai assodato che l'efficacia delle vasche in linea e di quelle fuori linea è, a parità di volume, sostanzialmente analoga.

1.3.2 Vasche di transito e di cattura

Il confronto fra i due schemi funzionali porta a riconoscere che nei due casi l'azione di intercettazione delle acque di prima pioggia è sostanzialmente analoga: in entrambi gli schemi, infatti, tutte le portate che eccedono il valore ammesso a valle

sono temporaneamente accumulate nella vasca fino al suo completo riempimento. Ammettendo quindi per lo scaricatore di piena che alimenta la vasca fuori linea un funzionamento idraulico ideale, uguale a quello della bocca di efflusso della vasca in linea, il volume di acqua meteorica accumulato nelle due vasche è lo stesso.

Tuttavia, a fronte di un comportamento analogo per quanto riguarda l'azione di intercettazione delle acque di prima pioggia, si possono avere significative differenze per quanto riguarda le caratteristiche qualitative delle acque conferite al trattamento e di quelle scaricate nel ricettore, dipendentemente dalle modalità con cui la vasca viene svuotata ai fini del conferimento alla depurazione delle acque raccolte e con cui, a riempimento avvenuto, le portate in eccesso sono scaricate nel ricettore. Per quanto riguarda questo secondo aspetto, è possibile individuare due situazioni limite ([5] *Oliveri E., Viviani G., La Loggia G, 2001*).

Nella prima, che corrisponde allo schema delle così dette *vasche di cattura*, una volta che la vasca si è riempita, le portate in eccesso rispetto a quelle ammesse a valle sono intercettate a monte della vasca e scaricate nel ricettore senza che possano miscelarsi con il volume già accumulato.

Nella seconda, che corrisponde allo schema delle così dette *vasche di transito*, una volta che la vasca si è riempita, le portate in eccesso rispetto a quelle ammesse a valle entrano comunque nella vasca, miscelandosi con l'acqua già accumulata e provocandone lo sfioro verso lo scarico. Nella sua connotazione limite, lo schema contempla che la portata in arrivo sia scaricata nel ricettore, dopo aver attraversato la vasca (mediante uno sfioro localizzato nella sua sezione di valle) e che l'attraversamento della vasca in condizioni di turbolenza determini una miscelazione completa delle portate in arrivo con il volume già accumulato.

1.4 Vasche di prima pioggia in bacini distinti

La classificazione vista nel paragrafo precedente, non tiene conto però delle diverse tipologie progettuali riguardanti reti complesse, dove possono essere presenti più vasche collegate da un unico collettore a cui afferiscono più bacini, oppure la presenza di vasche molto grandi che recepiscono le acque meteoriche di bacini differenti, che si immettono a distanze diverse lungo il collettore che giungerà alla vasca. In questa sede verranno analizzati sistemi di vasche in linea di transito o di cattura in continuo, su tre tipologie di rete differenti studiati per la mitigazione delle masse scaricate al corpo idrico ricettore che possono essere riassunte come *reti con vasche in parallelo, in serie o uniche*.

È noto infatti come spesso, soprattutto per bacini molto grandi oppure molto distanziati, si scelga di inserire nella rete ai fini visti precedentemente una o più vasche, collocate in modo tale da catturare e portare a depurazione una parte delle masse inquinanti provenienti da una parte o dalla totalità di più bacini.

Con la definizione di *reti con vasche in parallelo* (**Figura 1.2 (a)**) si definiscono quei modelli di rete dove le vasche di prima pioggia sono poste subito a valle dei bacini a cui fanno riferimento, immettendo nel collettore che giungerà alla centrale di depurazione le portate q_u stabilite. In questo modo le due vasche risultano essere assolutamente indipendenti e assimilabili del tutto ai casi di studio convenzionali per la verifica delle vasche di prima pioggia che servono un unico bacino subito a monte di essa.

Le reti con *vasche in serie* (**Figura 1.2 (b)**) invece rappresentano una situazione più complessa ma spesso utilizzata, soprattutto in presenza di grossi bacini, le cui reti di fognatura convogliano le acque dividendo l'intero bacino in 2 o più bacini separati. Il sottobacino più a monte, possiede come organo di mitigazione una vasca di prima pioggia riferita come volume e q_u al proprio bacino di riferimento, e tale portata viene poi immessa attraverso un collettore di lunghezza variabile (lunghezza sulla quale è stata effettuata l'indagine simulativa) ad una seconda vasca collegata a

monte alla rete fognaria del secondo sottobacino. Il volume di questa vasca quindi sarà in relazione al bacino subito a monte, mentre la q_u dovrà essere pari alla portata relativa a quella sopportabile dalla centrale di depurazione per l'intero bacino (formato dai due sottobacini). La lunghezza di tale collettore fornirà una traslazione delle portate provenienti dalla vasca più a monte con un possibile effetto sull'eventuale azione sulla mitigazione della seconda vasca.

Le *reti con vasche uniche* (**Figura 1.2** (c)) rappresentano invece il caso in cui a valle di un grosso bacino o di più bacini in serie si sceglie di posizionare un'unica vasca di volume all'ettaro pari alla dimensione totale della superficie scolante formata dalla somma di tutti i sottobacini. Bacini differenti, con reti fognarie proprie sono collegate tra di loro da un collettore di lunghezza variabile che giungerà poi nella vasca, la quale permetterà di catturare le masse di inquinanti e permetterà il passaggio di una portata adeguata per il funzionamento del depuratore.

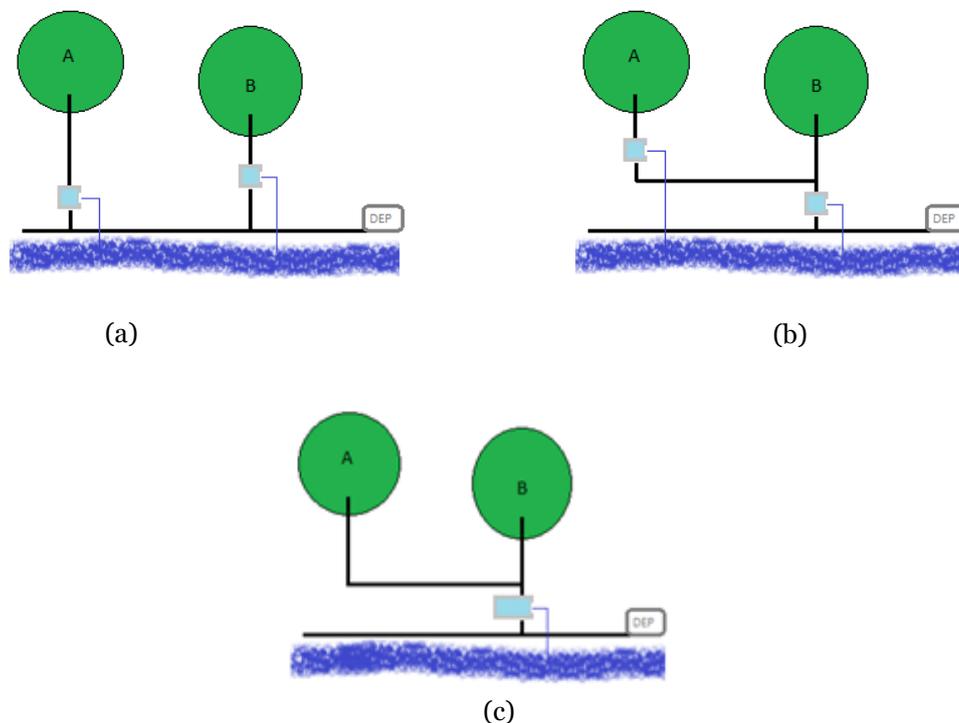


Figura 1.2 - (a) reti con vasche in parallelo; (b) reti con vasche in serie; (c) reti con vasca unica.

CAPITOLO 2

MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE

L'analisi delle diverse capacità di mitigazione delle vasche di prima pioggia viste nei capitoli successivi è svolta attraverso un modello informatico fisicamente basato: INFOWORKS. Il software, attraverso complessi algoritmi di calcolo di cui si descriveranno in seguito le principali formule utilizzate, è in grado di effettuare simulazioni idrauliche e di qualità di reti fognarie complesse.

Ciò avviene attraverso l'inserimento di elementi costituenti le reti, che si suddividono in puntuali, lineari e sottobacini. Per ogni elemento, di cui in seguito la descrizione di quelli utilizzati, è necessario inserire i dati geometrici e gli eventuali coefficienti utili per l'elaborazioni di calcolo impiegate dal programma.

Oltre agli elementi fisici distinti come collettori, vasche, sfioratori, camerette, bacini e orifizi, è necessario inserire l'evento o gli eventi di pioggia che si abbattono sui bacini. La lettura dei risultati, quindi, è conseguenza di tre step fondamentali: inserimento dei dati geometrici, inserimento dei dati di pioggia e set-up di simulazione. Quest'ultimo serve ad inserire la "risoluzione" della simulazione e a definire principalmente i tempi in cui avviene l'analisi.

Essendo il software molto sensibile ai dati inseriti, in genere per modellare nel modo più veritiero possibile le reti occorre effettuare un paragone costante delle portate ottenute con i relativi dati reali, estrapolati da campagne di misura. Ciò non

sempre è possibile, e per questa ragione occorre modellare la rete in modo tale da poter ottenere risultati generali paragonabili a quelli ottenuti da reti reali.

Se da un lato ciò può essere visto come una forte semplificazione dei fenomeni studiati, dall'altro permette di poter ottenere modelli di rete semplici ma assolutamente descrittivi dei complessi meccanismi che avvengono in un modello che simula il comportamento idraulico in moto vario. Infatti è ben noto come ogni rete sia assolutamente influenzata dalle proprie singolarità come cambi di pendenze, malfunzionamenti, reti in pressioni, moto retrogrado, tutti elementi che il software è in grado di calcolare, ma che al fine utile della ricerca non donano un carattere generale ai risultati.

Per tali ragioni, come specificato nel Capitolo 3, si opterà per la modellazione di reti semplici, ma ben rappresentative di quelle realmente esistenti.

Successivamente vengono spiegati i modelli di calcolo dei principali elementi utilizzati all'interno della rete.

2.1 Elementi puntuali: nodes e storage

Gli elementi puntuali costituiscono la rappresentazione modellistica di punti di immissione di portata, camerette di giunzione tra 2 o più collettori, vasche e outfoull.

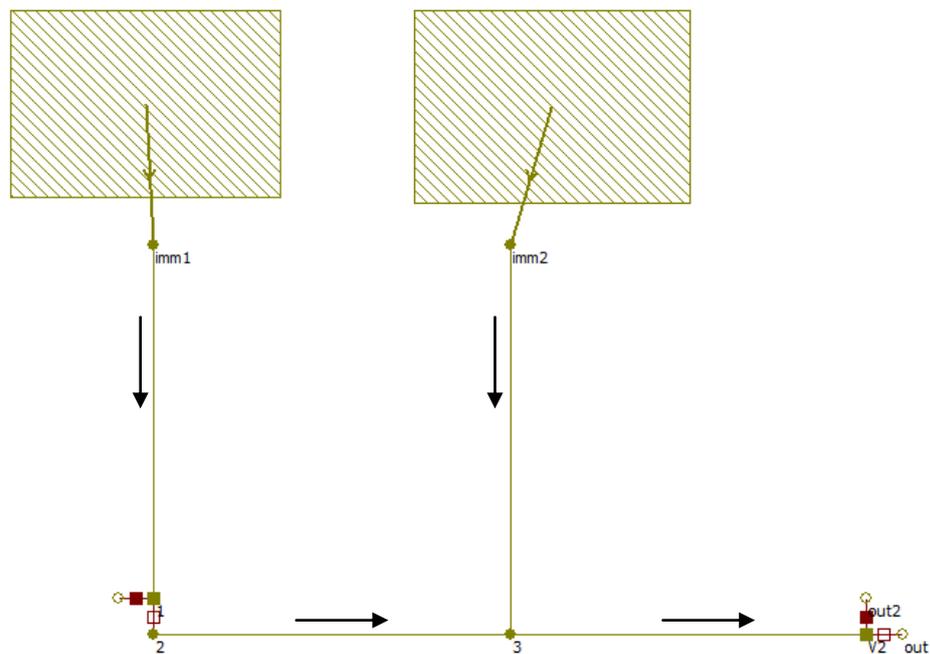


Figura 2.1 - esempio di rete visualizzata in infoworks

Come da **Figura 2.1** si possono distinguere **imm1** e **imm2** che rappresentano i punti di immissione nella rete delle acque provenienti dai bacini; i nodi **2** e **3** rappresentano le camerette di giunzione tra più collettori. **V2** e **V1** rappresentano vasche di dimensione specifica e i pallini vuoti rappresentano i punti di outfoull, che possono essere pensati come i punti di scarico della rete o immissioni a centrali di depurazione.

Ogni elemento nodes è costituito da diverse informazioni:

- Altezza del suolo
- Grandezza della cameretta
- Area della vasca a diverse altitudini (solo per elementi storage)
- Parametri di filtrazione

Nelle reti progettate l'altezza del suolo non incide nei calcoli di simulazione, dato che tutte le reti sono state progettate in modo che ciascun collettore non vada in pressione. In questo modo viene evitato qualsiasi fenomeno di esondazione nelle camerette e nella vasche e, per questa ragione, si sceglie di definire un'altezza di suolo tale da poter garantire semplicemente il completo sotterramento di tutta la rete.

La grandezza della cameretta viene posta tendente a zero, in modo tale che non si presenti accumulo di acqua, mentre per la dimensione delle vasche viene scelta un'opportuna superficie a parità di altezza per definire le varie dimensioni delle vasche successivamente analizzate.

Il software utilizza l'equazione differenziale della variazione del volume all'interno della vasca (2.1) unita all'equazione imposta della portata in uscita:

$$q_e - q_u = \frac{\partial V}{\partial t} \quad 2.1$$

Dove:

- q_e è la portata in entrata
- q_u è la portata in uscita (dipende da ciò che è posto a valle della vasca)
- V è il volume della vasca

I parametri di filtrazione vengono posti in modo tale da non presentare nessun fenomeno di filtrazione in nessun tipo di nodo.

2.2 Elementi lineari: condotte, soglie, orifici, paratoie

Gli elementi lineari costituiscono tutte le strutture in cui avviene scorrimento e quindi passaggio di portata. Infoworks modella ogni elemento come nella seguente

Figura 2.2:

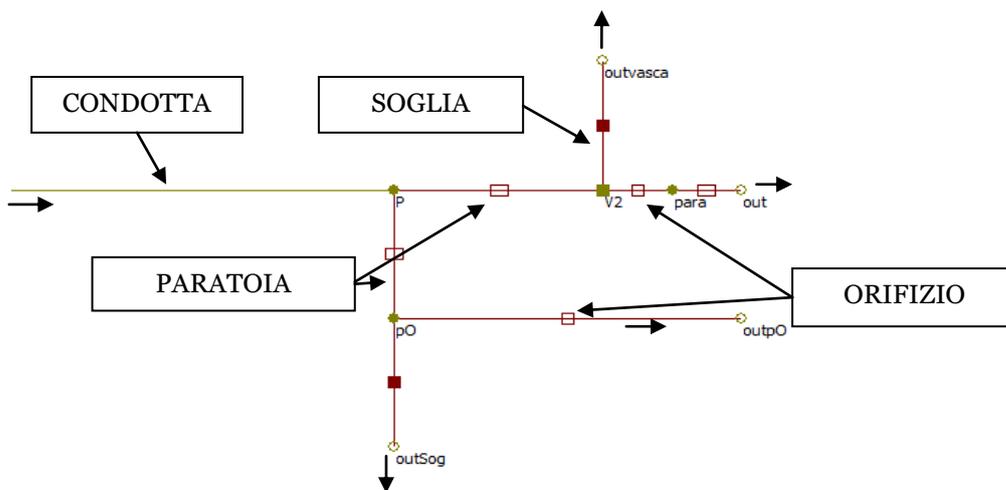


Figura 2.2 - visualizzazione di elementi lineari (vasca unica fuori linea)

2.2.1 Condotte

L'elemento Condotte rappresenta la modellazione in Infoworks di tubi o collettori presenti nella rete. Esso è definito da due nodi, uno di monte e uno di valle ai quali corrispondono i due scorrimenti UP e DOWN. La condotta può avere sezione semplice (circolare in questo caso) o complessa e può essere chiusa o aperta.

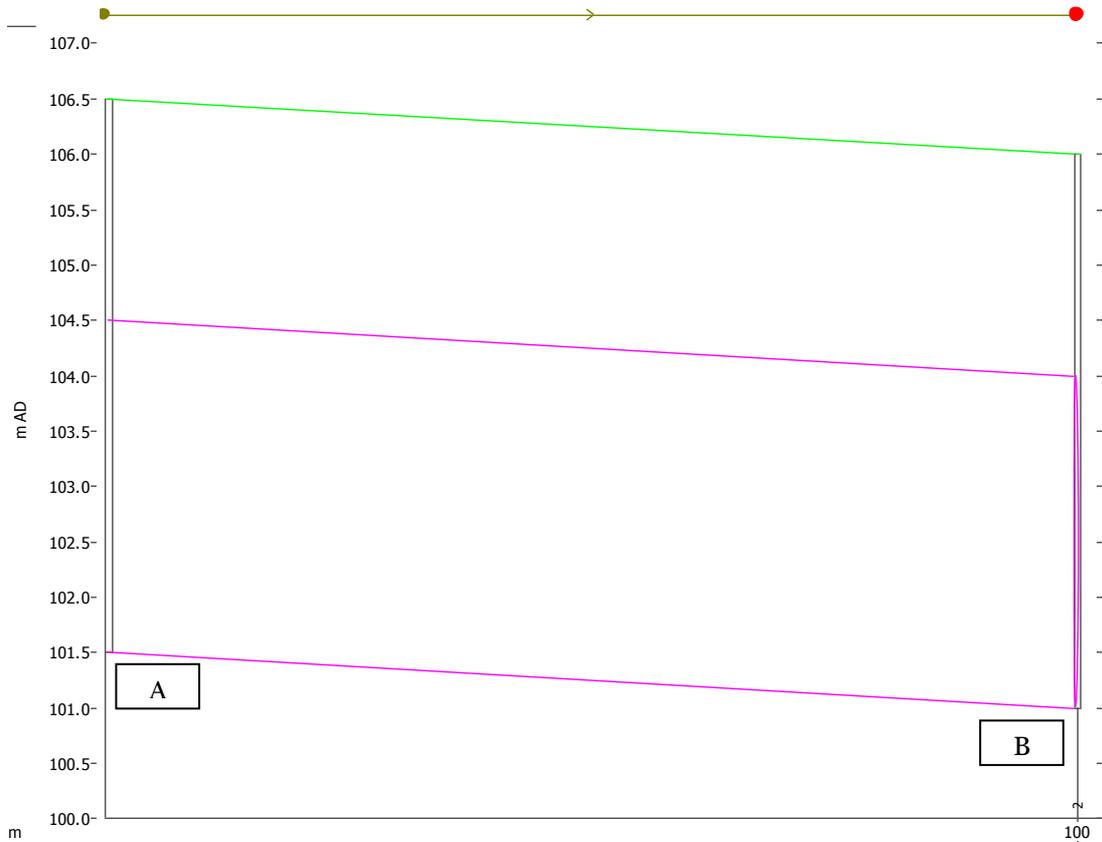


Figura 2.3 - sezione longitudinale di una condotta di forma circolare

In **Figura 2.3** si può notare nel punto A la quota di scorrimento UP e in B la quota di scorrimento DOWN. La linea verde rappresenta la quota del terreno. Per quanto riguarda sezioni semplici come quella circolare le caratteristiche da inserire quindi sono le seguenti:

- Diametro della condotta (mm)
- Scorrimento UP e DOWN (m AD)
- Scabrezza di Manning

Le equazioni che governano il modello di simulazione sono le Equazioni di De Saint – Venant che corrispondono alle equazioni di conservazione della massa e dei momenti.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad 2.2$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\cos\theta \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0 \quad 2.3$$

- Q è la portata (m³/s)
- A è l'area bagnata(m²)
- g è l'accelerazione di gravità(m/s²)
- θ l'inclinazione del letto rispetto all'orizzontale(degrees)
- S₀ rappresenta la pendenza del letto
- K è il coefficiente di trasporto

Il software inoltre è in grado di effettuare simulazioni sia per condotte a pelo libero (come nei casi in esame) sia per condotte in pressione, caso non analizzato come accennato in precedenza, avendo progettato le reti in modo tale da avere riempimento a pelo libero al massimo del 70% della sezione.

2.2.2 Soglia

La soglia è un elemento lineare con passaggio di portata in cui vengono definite le seguenti caratteristiche:

- Tipologia di soglia: standard, altezza variabile, contratta ecc..
- Livello in mAD della cresta
- Coefficienti di portata primario e secondario

Le reti costruite possiedono soglie di tipo standard, che si estendono lungo tutta la lunghezza del nodo di riferimento. La portata al di sopra della soglia viene calcolata attraverso due equazioni:

- *Free discharge (2.4)*: l'altezza del pelo libero in downstream rispetto alla soglia non influisce sull'altezza in upstream. Ciò accade quando il pelo libero downstream è più basso rispetto all'altezza della soglia stessa.
- *Drowned discharge (2.5)*: l'altezza del pelo libero in downstream influisce sull'altezza in upstream. Ciò accade quando l'altezza del pelo libero in downstream è superiore dell'altezza della soglia stessa.

Per soglie di tipo standard, vengono utilizzate le equazioni di Kindsvater e Carter:

$$Q_0 = C_d \sqrt{g} B H_{up}^{3/2} \quad 2.4$$

$$Q = C_d \sqrt{g} B H_{up} (H_{up} - H_{dw})^{1/2} \quad 2.5$$

- Q_0 è la portata libera (free discharge)
- Q è la portata influenzata dal battente downstream (Drowned discharge)
- C_d il coefficiente di portata
- B è la lunghezza della soglia
- H_{up} il battente in upstream
- H_{dw} il battente in downstream

I valori limite di C_d spaziano tra 0,01 / 999. Viene utilizzato, laddove possibile, all'interno delle reti un coefficiente molto elevato per far sì che si crei un battente al di sopra della soglia il più piccolo possibile. Questo fa sì di poter modellare in modo del tutto teorico una soglia che scarica tutta la portata al di sopra dell'altezza della soglia corrispondente ad una portata data, e nel caso di soglia posta in concomitanza di una vasca, permette di scaricare l'intero volume superiore al volume stesso della vasca senza creare battente. Questo artificio semplifica di molto la progettazione standardizzando reti di tipo diverso.

2.2.3 Orifice control

L'orifice control rappresenta un potente strumento di controllo delle portate in arrivo da vasche o camerette. Può essere immaginato come un foro (quindi di lunghezza trascurabile) che mette in relazione le portate tra due nodi, quello in UP-STREAM e in DOWNSTREAM. Viene definito attraverso le seguenti caratteristiche:

- Livello di scorrimento
- Diametro
- Coefficienti di portata primari e secondari
- Portata limite passante dall'orifizio

La portata limite rappresenta la massima portata passante all'interno dell'orifizio, accumulando a monte i volumi in eccesso. Per questa ragione viene utilizzato come strumento di controllo delle portate in uscita dalle vasche e per la costruzione di sfioratori lungo le reti. In questo modo si garantisce lo scarico da parte dello sfioratore di tutta la portata oltre a quella limite in arrivo da monte.

L'equazione che determina il funzionamento dell'orifice control in condizione di free discharge (unica tipologia presente nelle reti) è:

$$Q = C_d A_0 \sqrt{g} (D_0)^{1/2} \quad 2.6$$

Dove:

- Q è la portata transitante massima in funzione del diametro
- C_d il coefficiente di portata
- A_0 l' area in sezione dell'orifizio
- D_0 il diametro dell'orifizio

Il limite massimo di C_d è 999. Imponendo una portata limite in concomitanza con un coefficiente molto elevato è possibile semplificare la progettazione in quanto la portata massima transitabile all'interno dell'orifizio risulta essere molto elevata rispetto a quella imposta. In questo modo il diametro può risultare ininfluenza, rendendo la progettazione più semplice, senza dover per ogni rete modificare la dimensione dell'orifizio (ad esempio per la progettazione di vasche con volumi differenti, è possibile con C_d molto grandi modificare semplicemente la superficie della vasca per ottenere i volumi desiderati tutte con la medesima altezza di sfioro e dimensione dell'orifizio con portata imposta).

2.2.4 Elementi di tipo Sluice (paratoie mobili)

All'interno della rete vengono posti degli elementi mobili di tipo Sluice, che servono per regolare il passaggio o meno dell'acqua all'interno della vasca. Tali elementi interagiscono con l'effettivo scorrere delle portate solo nel momento di chiusura o apertura della paratoia. Infatti nel momento in cui essa è totalmente aperta non influisce sulle altezza del pelo libero e sulle portate e in modo diametralmente opposto, nel momento in cui sono totalmente chiuse, risulteranno essere semplicemente un muro che non permette passaggio di portata.

Il momento critico della progettazione di Sluice mobili risulta essere quindi il transitorio di apertura e chiusura. Tale elemento viene definito attraverso:

- Livello di scorrimento di riferimento
- Lunghezza della paratoia
- Coefficiente di portata primario e secondario
- Velocità di chiusura e apertura

Nel momento in cui avviene la chiusura o l'apertura della paratoia la variazione del profilo di pelo libero a monte di esso viene espresso attraverso la seguente relazione:

$$Q = C_d B H \sqrt{g} (D_u)^{1/2} \quad 2.7$$

Dove:

- Q è la portata in arrivo da monte (m^3/s)
- C_d è il coefficiente di riduzione di portata
- B lunghezza della paratoia (m)
- H è il battente a monte della paratoia (m)
- D_u è l'apertura della paratoia rispetto al fondo (m)

Per quanto riguarda le paratoie mobili D_u risulta essere ovviamente variabile. Tale processo è gestito dal sistema *RTC* (real time control), che definisce le condizioni di apertura e chiusura delle Paratoie. Si vedrà in seguito come sono state progettate ai fini della ricerca.

2.3 Elementi Sottobacini

Gli elementi Sottobacini rappresentano ovviamente i Bacini scolanti presenti nella rete. Essi vengono definiti attraverso:

- Area totale
- Area di scolo
- Indice di uso suolo
- Popolazione
- Portate nere, industriali e parassite
- Pendenza media

L'indice dell'uso suolo (*run-off surface index*) rappresenta la definizione delle superfici differenti presenti all'interno del bacino. In esso vengono scelti i modelli di run-off e le condizioni al contorno per ogni tipologia di superficie scolante. I tre parametri fondamentali che descrivono le diverse superfici sono:

- Perdita iniziale
- Volume di run-off
- Routing model

Le perdite iniziali rappresentano i volumi di pioggia persi sul suolo e per la ricerca effettuata vengono imposti pari a 1mm, che rappresenta la perdita minima. Il volume di run-off, invece, è definito da un coefficiente costante variabile tra 0 e 1, che rappresenta la percentuale di volume immesso in rete. Tale coefficiente è totalmente indipendente dal modello e dalle perdite iniziali scelte. Esso viene utilizzato per semplificare, attraverso un taglio netto dei volumi immessi, le perdite causate da un diverso tipo di pavimentazione o superficie scolante. Questa procedura è consigliata per bacini con superfici totalmente impermeabili o permeabili là dove il deflusso

non dipenda significativamente dalle condizioni antecedenti (perdite iniziali e modelli di scolo).

Il routing model definisce il modello di run-off. Si è scelto di utilizzare il *Wallingford Procedure Model*, secondo cui il deflusso viene calcolato usando due serbatoi uguali in serie e in cui il coefficiente di riferimento dipende dalla densità di pioggia, dalla superficie e dalla pendenza media del bacino.

Consideriamo quindi per ogni tipo di superficie presente nel bacino due serbatoi applicati in serie, il cui deflusso viene calcolato attraverso un'equivalente relazione immagazzinamento-uscita:

$$S = k \cdot q \quad 2.8$$

Dove:

$$k = C_j^*{}^{-0.39} \quad 2.9$$

$$i^* = 0.5(1 + i_{10}) \quad 2.10$$

Dove i_{10} è l'intensità media di pioggia in uno step temporale di 10 minuti. La relazione che lega il valore C alle caratteristiche del bacino è la seguente:

$$C = 0.117 \cdot S - 0.13 \cdot A^{0.24} \quad 2.11$$

Dove:

- S è la pendenza (m/m)
- A l'area del bacino (m²)

La combinazione delle due equazioni dei serbatoi, relativi alla superficie, con l'equazione di continuità porta ad un'equazione differenziale ordinaria del secondo ordine:

$$k^2 \frac{\partial^2 q}{\partial t} + 2k \frac{\partial q}{\partial t} + q = i_n \quad 2.12$$

L'insieme delle equazioni 2.12, 2.8 e 2.11 determinano gli idrogrammi in ingresso nella rete proveniente dai bacini di scolo.

2.4 Modello di qualità delle acque

Il software oltre a simulare il comportamento idraulico delle acque all'interno della rete, è in grado di modellare il deposito ed il trasporto di sedimenti e inquinamento lungo la rete.

Tale procedimento viene effettuato parallelamente alla simulazione idraulica. Infatti per ogni step di calcolo idraulico viene effettuato il calcolo del trasporto di inquinanti/sedimenti provenienti dai bacini e dalle acque nere.

Per effettuare ciò occorre caratterizzare le superfici inquinate e definire i parametri di accrescimento e accumulo dei sedimenti sulle superfici.

2.4.1 Caratterizzazione delle superfici inquinate

Nel modello InfoWorks il calcolo della crescita e del dilavamento degli inquinanti, dalla superficie del bacino scolante e nei pozzetti, viene calcolato utilizzando il *Surface Pollutant Model*. Tale modello tratta i sedimenti, e i relativi inquinanti ad essi adesi, separatamente dagli inquinanti disciolti.

I primi crescono sulla superficie del bacino durante i periodi di tempo secco, ovvero il periodo di tempo che intercorre fra due distinti eventi meteorici). Nel corso di

una pioggia tali sedimenti vengono dilavati dalla superficie ed entrano nel sistema di drenaggio. Questo processo viene indicato come *Washoff Model*.

Anche gli inquinanti disciolti accrescono nei pozzetti durante i periodi di tempo secco, e vengono in seguito riportati in sospensione nella rete dal deflusso, causato da un evento di pioggia. Questo processo viene indicato come *Gully Pot Model*.

I due modelli sopracitati vengono modellati in modo assolutamente indipendente da Infoworks. Nell'immagine in **Figura 2.4** è possibile vedere schematizzati i due processi del Surface Pollutant Model.

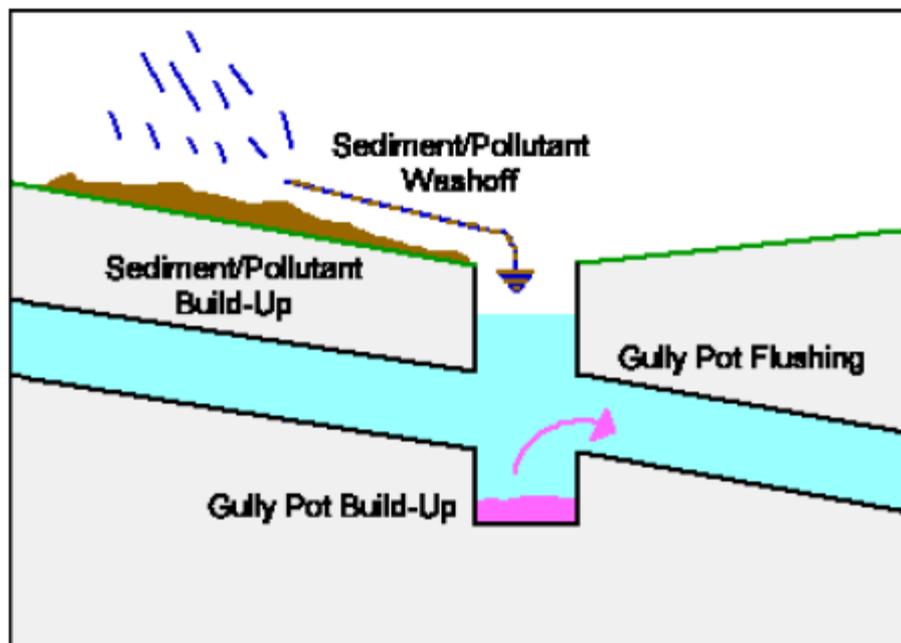


Figura 2.4 - schema del modello di deposito ed erosione dei sedimenti

Il modello ha la capacità di modellare nove differenti inquinanti e la modellazione di essi è completamenti di tipo conservativo, ciò comporta che:

- gli inquinanti non interagiscono tra di loro

- un inquinante legato ad un sedimento non può legarsi ad un inquinante disciolto e viceversa
- un inquinante legato ad un tipo di sedimento non può legarsi ad un altro tipo
- la simulazione degli inquinanti avviene solo a causa del trasporto
- un inquinante non può crescere o essere dilavato ad oltranza

Tra le caratteristiche del bacino viene definito un Pollution Index. Esso richiama le diverse proprietà della qualità dell'acqua, riferita alla superficie di un bacino, presenti in un editor in cui sono assegnati i parametri relativi ai processi sopra descritti. ogni Pollution Index vengono definiti i seguenti parametri:

Ogni Pollution Index è definito attraverso i seguenti parametri:

- Pollution Index ID
- diverse equazioni per ogni inquinante legato ai sedimenti
- differenti equazioni per ogni inquinante disciolto
- un fattore di crescita per i sedimenti della superficie
- il volume dei pozzetti

La **Figura 2.5** mostra lo schema operativo del Surface Pollutant Model durante una simulazione.

In ogni superficie quindi è possibile definire il quantitativo di sedimenti ed inquinanti presenti prima dell'evento meteorico, la capacità di accumulo di essi in tempo secco e definire la capacità della pioggia di dilavare la superficie trasportando la massa all'interno della rete.

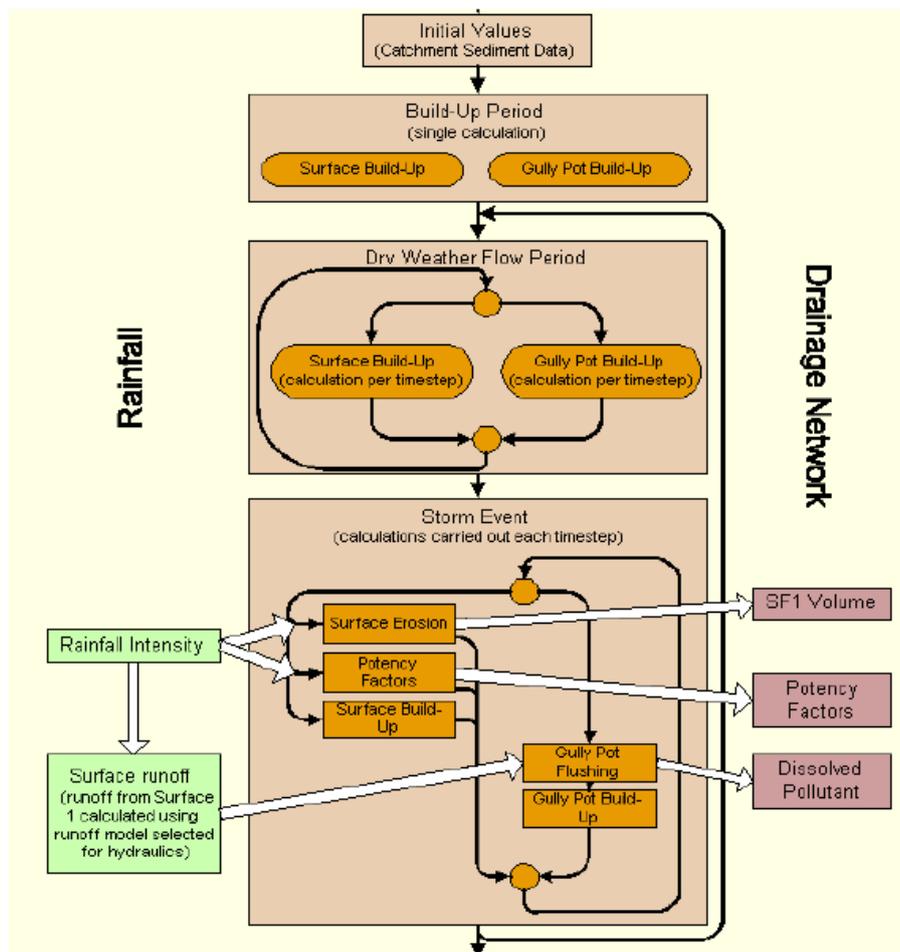


Figura 2.5 - schema operativo del surface pollutant index

2.4.2 Accumulo di inquinanti sulla superficie del bacino

L'equazione di crescita degli inquinanti si basa sull'ipotesi che il tasso di accumulo di un inquinante, su una superficie pulita, sia lineare, ma al crescere della massa sulla superficie il tasso di crescita diminuisce esponenzialmente. L'equazione in questione è la seguente:

$$\frac{dM}{dt} = P_S - K_1 \cdot M \quad 2.13$$

Dove:

- M è la massa presente per unità di superficie (kg/ha)
- P_s è il fattore di crescita *Buildup Factor*, spesso noto anche come *accu* (kg/ha giorno)
- K_1 è il fattore di decadimento *Decay Factor* (giorno⁻¹)

In **Tabella 2.1** vengono riportati i valori caratteristici di P_s .

L'equazione porta ad un valore massimo asintotico che non può mai essere superato e pari a P_s/K_1 (kg/ha).

Land Use	Surface Buildup Factor (kg/ha/day)	Origin
Residential (dense)	25	French Calibration
Residential	6	French Calibration
Town Centre (commercial)	25	US Calibration (EPA)
Industrial	35	US Calibration (EPA)
Mixed Suburban	6	French Calibration

Tabella 2.1 - valori di P_s tipici

Nel corso di una simulazione l'erosione e la crescita dei sedimenti vengono calcolate in parallelo per ogni passo temporale. Infatti durante un evento meteorico la massa presente sulla superficie dipende anche dal tasso di erosione e, per questo termine, l'equazione di crescita è risolta usando un'approssimazione di Eulero.

La massa di sedimenti al termine di ogni passo temporale è data dalla differenza tra la massa calcolata senza erosione con la quantità di sedimenti erosi.

In InfoWorks l'equazione utilizzata per determinare la massa di sedimenti al termine di un periodo di secco o al termine di un passo temporale è ottenuta integrando l'equazione seguente:

$$M_0 = M_d \cdot e^{-K_1 \cdot NJ} + \frac{P_s}{K_1} (1 - e^{-K_1 \cdot NJ}) \quad 2.14$$

Dove:

- M_0 è la massa di sedimenti al termine del periodo di calcolo (Kg/ha)
- M_d è la massa di sedimenti presente inizialmente (kg/ha)
- P_s è il fattore di crescita Buildup Factor spesso noto anche come Accu (kg/ha giorno)
- K_1 è il fattore di decadimento Decay Factor (giorno⁻¹)
- NJ è la durata del tempo di secco o del passo temporale (giorni)

2.4.3 Dilavamento superficiale

Grande importanza in questo lavoro assume l'influenza generata dal dilavamento superficiale sul fenomeno di drenaggio. Infatti, il dilavamento non è di facile interpretazione empirica e comporta un affatto trascurabile componente di condizionamento per il processo nella sua interezza.

In InfoWorks si assume che il flusso di inquinante, all'ingresso in rete di ogni bacino, è proporzionale alla quantità di inquinanti disciolti o in sospensione nel deflusso presente sul bacino. Vengono sistematicamente calcolati:

- la quantità di sedimenti erosi dalla superficie e tenuti in sospensione del deflusso causato dalla pioggia;
- la quantità di sedimenti entranti nella rete di drenaggio usando il modello del serbatoio lineare;
- la quantità di ogni inquinante legato ai sedimenti entrante in rete.

La massa di sedimenti erosi dal bacino è funzione dell'intensità di pioggia e della massa presente sulla superficie, come evidenziato dalla relazione seguente:

$$\frac{dM_e}{dt} = K_a \cdot M(t) - f(t) \quad 2.15$$

dove:

- M_e è la massa di inquinante disciolto o in sospensione (kg/ha)
- $M(t)$ è la massa di inquinante depositata sulla superficie (kg/ha)
- K_a è il fattore di erosione legato all'intensità di pioggia (l/s)
- $f(t)$ è la portata inquinante (kg/ha·s)

Il fattore di erosione è a sua volta espresso dall'equazione:

$$K_a = C_1 \cdot i(t)^{C_2} + C_3 \cdot i(t) \quad 2.16$$

Dove:

- C_1 è un coefficiente amplificativo
- C_2 è un coefficiente adimensionale
- C_3 è un coefficiente adimensionale di riduzione
- $i(t)$ = intensità di pioggia netta (m/s)

In particolare in letteratura troviamo C_2 espresso con il nome di *Wash* e C_1 con il nome di *Arra* in una formulazione di K_a del tutto compatibile:

$$K_a = arra \cdot i(t)^{wash} \quad 2.17$$

Se C_2 e *Wash* sono uguali in quanto coefficienti adimensionali, per poter inserire correttamente il parametro C_1 con il proprio corrispettivo valore di *Arra* occorre utilizzare la relazione 2.18 :

$$C_1 = \frac{141732.3^{wash}}{3600} arra \quad 2.18$$

La massa di inquinante disciolto o in sospensione è infine espressa dalla relazione:

$$M_e(t) = K \cdot f(t) \quad 2.19$$

Con K coefficiente del serbatoio lineare.

La massa di ogni inquinante legato ai sedimenti entrante in rete viene calcolata utilizzando un *potency factor* (K_{pn}). Il *potency factor* dipende dall'intensità di pioggia e lega la massa di sedimenti alla massa di inquinante e viene calcolato tramite la relazione:

$$K_{pn} = C_1 \cdot (IMP_k - C_2)^{C_3} + C_4 \quad 2.20$$

dove:

IMP_k è l'intensità massima di pioggia per un periodo di 5 minuti [mm/h] e i vari C_i sono coefficienti amplificativi, come in precedenza.

La massa di inquinante legata ai sedimenti dilavati è data da:

$$f_n(t) = K_{pn}(i) \cdot f_m(t) \quad 2.21$$

dove:

- $f_n(t)$ è la massa di inquinante per unità di superficie e di tempo (kg/ha·s)
- $f_m(t)$ è la massa solida per unità di superficie e di tempo (kg/ha·s)
- K_{pn} è il potency factor

2.4.4 Modello di calcolo della qualità delle acque nella rete

Una volta accumulati e dilavati i sedimenti all'interno delle superfici dei bacini, il software è in grado di calcolare il trasporto solido e di inquinanti all'interno della rete fognaria. Tale processo avviene mediante due modelli di calcolo, più quello relativo alla sedimentazione: il modello di rete, il modello delle condotte e, come detto in precedenza, il modello erosione/sedimentazione strettamente correlato a quello delle condotte.

Modello della rete

Il modello di rete valuta la concentrazione degli inquinanti disciolti e dei sedimenti sospesi ai nodi. L'equazione al nodo è data dalla conservazione della massa. Gli inquinanti in ingresso sono dati: dalle acque di dilavamento superficiale, dalle acque nere, da eventuali altre acque inquinante in ingresso (come ad esempio industriali o parassite, che con gli altri due tipi di acque compongono le così dette risorse esterne), infine vanno anche compresi quegli apporti idrici provenienti dai condotti afferenti al nodo.

$$\frac{dM_j}{dt} = \sum_i Q_i \cdot c_i + \frac{dM_{sj}}{dt} - \sum_0 Q_0 \cdot c_0 \quad 2.22$$

dove:

- M_j è la massa di sedimenti sospesi o inquinanti disciolto al nodo j-esimo (kg)
- Q_i è la portata entrante al nodo dal condotto i-esimo (m^3/s)
- c_i è la concentrazione di inquinante nella portata entrante al nodo j-esimo da condotto i-esimo (kg/m^3)
- M_{sj} è la massa di inquinante entrante al nodo j-esimo da risorse esterne (kg)
- Q_0 è la portata uscente dal nodo j-esimo al condotto 0 (m^3/s)
- c_0 è la concentrazione di inquinante nella portata uscente dal nodo j-esimo al condotto 0 (kg/m^3)

Si assume, per semplicità, che non avvenga sedimentazione al nodo, e gli inquinanti disciolti e i solidi sospesi entranti siano ben mescolati al nodo a causa della turbolenza, cioè:

$$M_j = c_j V_j \quad 2.23$$

dove:

- c_j è la concentrazione al nodo j-esimo (kg/m^3)
- V_j è il volume d'acqua al nodo j-esimo (m^3)

Ciò permette di dire che: $c_0 = c_j$

Il metodo pesato sul tempo descritto da *Johnson and Ries* è utilizzato per discretizzare l'equazione di conservazione della massa per ogni nodo.

$$\frac{c_j^{n+1}V_j^{n+1} - c_j^nV_j^n}{\Delta t} = \vartheta \left(\sum_i Q_i^{n+1} c_i^{n+1} - \sum_0 Q_0^{n+1} c_0^{n+1} + \frac{dM_{sj}^{n+1}}{dt} \right) + (1 - \vartheta) \left(\sum_i Q_i^n c_i^n - \sum_0 Q_0^n c_0^n + \frac{dM_{sj}^n}{dt} \right) \quad 2.24$$

dove:

$0 < \theta < 1$ è un parametro di peso.

Un valore di $\theta > 0.5$ è necessario per la stabilità. Il massimo livello di precisione è dato da $\theta = 0.5$, ma la soluzione può essere oscillatoria.

Modello del condotto

Il modello del condotto è utilizzato per calcolare il trasporto dei sedimenti sospesi e degli inquinanti disciolti, e l'erosione e sedimentazione nei sedimenti nei condotti. Per ogni time-step il processo di trasporto e quello di sedimentazione – erosione vengono risolti separatamente.

Si assume che:

- il flusso nei condotti sia mono – dimensionale;
- i solidi sospesi e gli inquinanti disciolti siano trasportati lungo il condotto con velocità pari a quella media locale del flusso;
- la concentrazione dei sedimenti sospesi e degli inquinanti disciolti sia completamente miscelata attraverso la sezione del condotto;
- la dispersione dei solidi sospesi e degli inquinanti disciolti lungo il condotto sia trascurabile;
- il depositarsi dei sedimenti sospesi non influenza la parte idraulica e dipenda da una determinata velocità.

L'equazione che regola il trasporto dei sedimenti sospesi e degli inquinanti disciolti è basata sulla conservazione della massa.

$$\frac{dc}{dt} + u \cdot \frac{dc}{dx} = 0 \qquad 2.25$$

dove:

- c è la concentrazione di inquinante (kg/m³)
- u è la velocità del flusso (m/s)
- t è il tempo (s)
- x è la coordinata spaziale (m)

La condizione al contorno a monte è calcolata dal modello di rete, mentre la capacità di trasporto del flusso è calcolata per mezzo di uno dei tre modelli di erosione – sospensione presenti in InfoWorks.

L'equazione di advezione è risolta per ogni condotto utilizzando lo schema *Holly-Preissmann*, un metodo semi – lagrangiano. La soluzione dell'equazione di advezione viene considerata costante.

$$\frac{Dc}{Dt} = 0 \tag{2.26}$$

lungo la traiettoria x

$$\frac{dx}{dt} = u \tag{2.27}$$

L'equazione differenziale è risolta con la regola del punto medio:

$$X^n = X^{n+1} - \Delta t \cdot u^{n+\frac{1}{2}} \cdot X \left(t^{n+\frac{1}{2}} \right) \tag{2.28}$$

con le velocità all'istante temporale medio calcolate mediando le due velocità agli istanti temporali più recenti, e la posizione all'istante temporale medio calcolata per iterazione; ciò comporta un metodo che è del secondo ordine rispetto al tempo.

Dal momento che la posizione in fondo alla traiettoria all'istante temporale noto precedente, X^n , generalmente non coincide con un punto computazionale, il valore in questione è calcolato per iterazione. La soluzione generata da questo schema è completamente stabile e non ci sono restrizioni sulla lunghezza del passo temporale.

Erosione e deposito dei sedimenti

InfoWorks, come detto, supporta tre differenti modelli per il calcolo erosione – deposito nei tubi:

- Ackers White Model
- Velikanov Model
- Kul Model

Sono state assunte le seguenti ipotesi:

- i sedimenti sospesi sono ben miscelati;
- l'erosione è istantanea;
- le forze di coesione sono ignorate;
- il valore massimo d'altezza dei sedimenti non può superare l'80% della dimensione della tubazione;
- il depositarsi dei sedimenti è regolato da una determinata velocità.

Per questo studio si è optato per il modello di Ackers White; il calcolo del deposito – erosione avviene al termine di ogni passo temporale del modello di qualità delle acque dopo il calcolo dell'equazione di advezione.

Ad ogni punto di calcolo lungo il condotto, viene calcolata una capacità di trasporto adimensionale C_v , che rappresenta la massima concentrazione che può essere portata dal flusso.

$$C_v = J \left(\frac{W_e R}{A} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{d_{50}}{R} \right)^\beta \cdot \lambda_c^r \left[\frac{|u|}{\sqrt{g(s-1)R}} - K \lambda_c^r \left(\frac{d_{50}}{R} \right)^\varepsilon \right]^m \quad 2.29$$

dove:

- R è il raggio idraulico (m)
- W_e è la larghezza effettiva del condotto (m)
- A è l'area trasversale del flusso (m^2)
- u è la velocità locale del flusso (m/s)
- s è il peso specifico del sedimento (kg/m^3)
- g è l'accelerazione di gravità (m/s^2)
- d_{50} è la dimensione media del sedimento (m)

La capacità di trasporto adimensionale è convertita a concentrazione massima tramite:

$$C_{max} = C_v \rho s$$

Se la concentrazione effettiva è superiore a quella massima il sedimento in eccesso viene depositato. Se la concentrazione effettiva è minore di quella massima il fondo viene eroso fino a che le due concentrazioni non si eguagliano ($C_{max} = C_{eff}$).

Per semplicità viene assunto che l'erosione sia istantanea mentre il tasso di sedimentazione dipende dalla velocità di deposito del sedimento (InfoWorks User Guide).

2.5 Simulazione e analisi dei risultati

Una volta introdotti i dati geometrici e impostate tutte le condizioni iniziali della rete è possibile effettuare le simulazioni idrauliche e di qualità della rete.

Tali simulazioni sono gestite da un'interfaccia grafica nel quale è possibile inserire i riferimenti alla rete in esame e l'evento meteorico ad esso associato. Dopo di che, occorre definire le condizioni di simulazione impostando i seguenti dati:

- Time step di simulazione idraulica
- Time step di output dei risultati
- Inizio della simulazione
- Durata della simulazione
- Impostazione del time step sulla simulazione di qualità
- Scelta del tempo di build up

Il time step di simulazione rappresenta la risoluzione dei passi temporali utilizzati per il calcolo idraulico. Più il time step è piccolo, maggiore sarà l'accuratezza dei dati. Può essere scelto anche un time step relativo solo alle simulazioni di qualità, che può essere più grande di quello idraulico per ridurre l'onere di calcolo, diminuendo però la precisione dei risultati.

Il tempo necessario per la simulazione dipende principalmente da tre fattori: la complessità della rete, la durata della simulazione e il time step scelto. In questo lavoro viene scelto di operare, come si vedrà in seguito, attraverso tempi di pioggia pari ad un anno solare. Per tale ragione il tempo di calcolo del software risulta molto elevato, nonostante la semplicità della rete.

Di fondamentale importanza risulta essere anche la scelta del time step di output, che rappresenta la risoluzione dei risultati grafici e tabellari.

Infoworks è in grado di fornire per ogni istante di calcolo tutti i valori necessari per l'analisi di svariati fenomeni: portata volumetrica, portata di massa, concentrazione

di sedimenti, velocità, altezza del pelo libero, volumi transitanti in un arco temporale, masse totali ecc..

In modo automatico il software è in grado, quindi, di calcolare gli integrali nel tempo di portata volumetrica e di portata di massa, permettendo di ridurre i tempi di analisi dei risultati tabellari. Infatti risulta essere assolutamente più intuitivo ed utile ai fini del lavoro svolto osservare i dati totali di volume e di massa in posizioni opportune.

Inoltre è possibile costruire attraverso l'interfaccia *Graph*, grafici differenti e anche molto complessi per poter mettere in relazione dati differenti su di un unico piano.

L'analisi dei risultati risulta, quindi, essere assolutamente completa e corretta solo dopo un'attenta analisi dei dati di input. Infatti come si può notare, per inizializzare il software è necessaria l'introduzione di un grande numero di dati, spesso di difficile acquisizione (basti pensare a tutti gli elementi idrologici dei bacini come le perdite iniziali e la permeabilità di sistemi urbani complessi). Per tale ragione è possibile inserire nel software i risultati di analisi reali, da confrontare con le analisi in simulazione, in modo tale da poter modificare le condizioni iniziali e avvicinarsi il più possibile alla realtà. Nel caso di un lavoro di ricerca, come quello effettuato in questa sede, non avendo a disposizione dati reali per il confronto, è necessario impostare i dati di input attraverso formulazioni il più generali possibili, in modo da poter ottenere dei risultati di carattere generale, facilmente trasportabili nella realtà.

CAPITOLO 3

CASI DI STUDIO

Le reti di fognatura sono per antonomasia molto complesse e diversificate. I parametri fisici in gioco sono molti, e spesso anche di difficile reperibilità. Basti pensare ai parametri idrologici e delle diverse superfici urbane che variano da luogo a luogo in base al tipo di terreno, al tessuto urbano presente in una determinata area o alle opere preesistenti. Ad aggiungersi ad essi vengono poi i diversificati problemi progettuali locali, che sono causa di reti assolutamente diverse per pendenze, diametri, manufatti e materiali.

Diventa quindi fondamentale attraverso l'esperienza e l'analisi di modalità progettuali differenti, tracciare linee guida per identificare quali siano i principali metodi usati in ambito urbano nella costruzione di vasche di prima pioggia su sistemi a doppio bacino come visti nel primo capitolo.

Una volta definite le tipologie di rete da analizzare occorre costruire un modello informatico semplice, ma ben rappresentativo per quanto riguarda il problema in esame.

Tale modello di rete dovrà essere costruito attraverso una serie di considerazioni atte a simulare in modo del tutto universale ogni tipologia di rete, anche complessa, attraverso una rete semplice ma coerente con le problematiche reali. Per fare ciò occorre formulare delle ipotesi di partenza dalle quali non si può prescindere lungo l'analisi. Tale passaggio risulta essere assolutamente fondamentale per poter ridur-

re le incognite di base potendone variare solo alcune per poter studiare il fenomeno analizzato. In questo caso verrà fatta variare la distanza tra le immissioni di due bacini differenti e la grandezza delle vasche di prima pioggia, nonché la tipologia.

La modellazione quindi, avviene su tre aree progettuali: modellazione dei bacini idrografici, modellazione della rete di fognatura con manufatti e vasche, modello di calcolo idraulico e di qualità. Per quanto riguarda la modellazione di calcolo si è scelto di utilizzare il modello informatico fisicamente basato (Infoworks) ampiamente analizzato nel Capitolo 2.

3.1 Schemi di rete

Nella seguente tesi, ci occuperemo dell'analisi di reti pluviali separate, dove la pioggia caduta sulla superficie del bacino viene raccolta separatamente dalle cosiddette acque nere (scarichi civili, industriali ecc.). Una parte di essa viene portata a depurazione e il restante volume viene scaricato in corsi d'acqua passanti presso il bacino di riferimento. Per ridurre tale scarico, vengono utilizzate delle vasche, definite come *vasche di prima pioggia*, che migliorano l'efficienza della rete, accumulando volumi e scaricando un minor quantitativo di inquinamento nei ricettori. Quando i bacini sono molto grandi, oppure sono disposti in modo tale da poter essere allacciate le loro reti di fognatura da più o meno lunghi collettori, vengono utilizzate tendenzialmente tre tipologie di rete, come in **Figura 3.1**, che servono porzioni di bacino o bacini differenti.

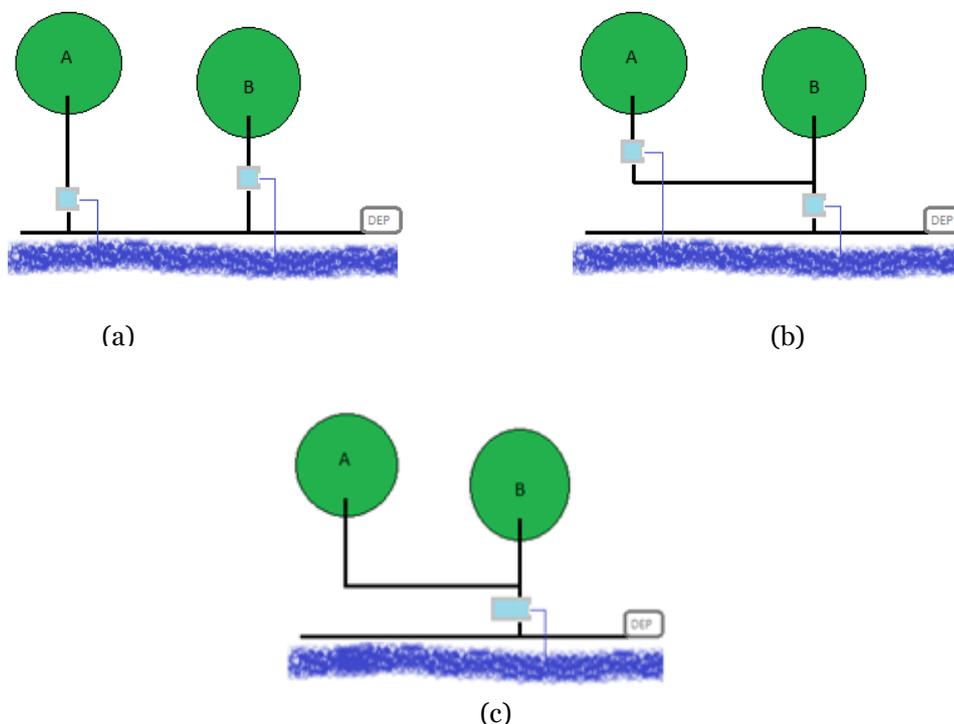


Figura 3.1 - tipologie di vasche in reti a doppio bacino. (a) vasche in parallelo; (b) vasche in serie; (c) vasca unica.

Vengono definite tre tipologie di rete.

- Reti a 2 bacini con vasche parallele (**Figura 3.1 (a)**), dove ogni vasca serve un proprio bacino di riferimento senza interagire tra di loro. La grandezza della vasca viene definita in base alla grandezza del bacino di riferimento.
- Reti a 2 bacini con vasche poste in serie(**Figura 3.1 (b)**), dove la prima vasca serve il bacino A, mentre la seconda vasca serve il bacino B più la portata in uscita dalla prima vasca. La grandezza delle vasche è relativa alla grandezza dei propri bacini di riferimento, mentre la portata in uscita per la prima vasca è relativa alla grandezza del proprio bacino A, la seconda è relativa alla grandezza della somma dei bacini afferenti alla vasca.
- Reti a 2 bacini con vasca unica (**Figura 3.1 (c)**), dove entrambi i bacini afferiscono all'unica vasca presente, di dimensione e portata in uscita relativa alla grandezza dei due bacini.

Oltre alle tipologie di rete, vengono studiati anche due soluzioni di vasche differenti: vasche di transito in linea e di cattura continue (con by-pass) in linea come in **Figura 3.2**. Nei capitoli successivi vengono definiti i parametri attraverso i quali sono stati definiti i bacini, le vasche e le condotte.

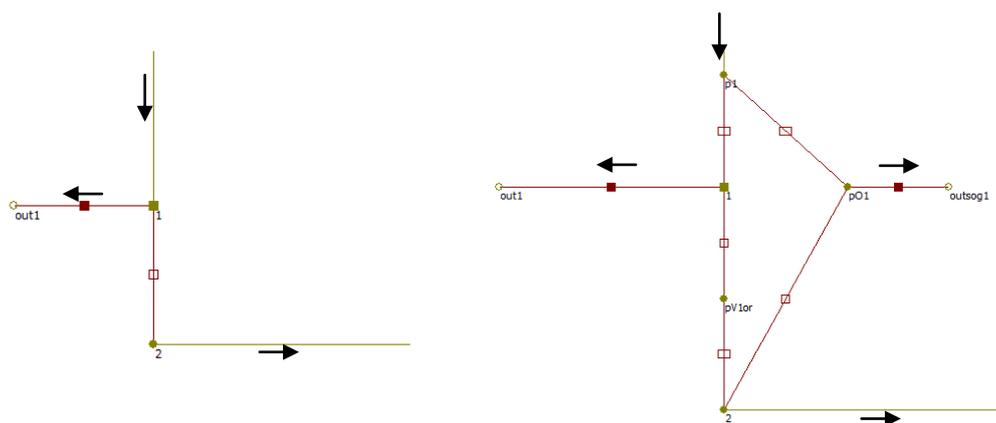


Figura 3.2 - a sinistra VASCA IN LINEA; a destra VASCA CON SISTEMA BY-PASS

3.2 Definizione dei bacini idrografici

Il bacino idrografico viene modellato cercando di semplificare il più possibile la sua conformazione. Essendo impossibile tracciare delle linee guida medie per la formulazione di bacini reali, a causa della variegata e diversificata forma, grandezza e urbanizzazione differente, si sceglie di definire due bacini di uguali dimensioni e di uguale impermeabilità.

La ragione per cui si sceglie di utilizzare due bacini uguali, che ovviamente genereranno lo stesso idrogramma, nasce dalla necessità di analizzare il problema nella sua formulazione più semplice.

Innanzitutto viene posta la condizione di utilizzare un bacino totalmente impermeabile, rappresentante la parte impermeabile equivalente di un bacino variegato. In seguito vengono riassunti i parametri utilizzati per la rappresentazione dei bacini:

Area del bacino	100 ha
Area impermeabile	100 ha
Area contribuente	100 ha
Inclinazione	0 m/m
Perdite iniziali	0,001 m
Coefficiente di Run-off	1

Tabella 3.1 - *parametri dei bacini*

Viene scelto di utilizzare un bacino di tale dimensione, previa verifica come indicato nel capitolo 3.8, e non un bacino unitario per avere un maggior dettaglio dei risultati, riportati poi all'ettaro unitario impermeabile. Ciò accade perché il software impone un limite di calcolo per le portate imposto ad 1 l/s (0,001 m³/s) e simulando

con bacini di piccola dimensione si rischia di avere delle portate troppo vicine a tale limite approssimando dei piccoli volumi che possono comunque inficiare sui risultati finali prodotti da eventi multipli in un anno.

3.3 Dimensionamento dei collettori nelle diverse reti

Ogni rete è stata progettata in modo tale che gli scarichi al ricettore possano essere confrontati. Per fare ciò occorre che tutte le 3 diverse tipologie siano assolutamente compatibili, in modo che si possano studiare i fenomeni solo sulle due incognite stabilite: lunghezza del condotto tra le immissioni dei due bacini e grandezza delle vasche.

Essendo l'idrogramma in uscita dai bacini uguale per tutte le tipologie occorre progettare i rami affinché il riempimento non superi il 70% dell'altezza del condotto, e che ogni vasca non influenzi con il suo riempimento il moto dell'acqua in arrivo da monte. In **Figura 3.3** sono rappresentate le 3 tipologie di reti dove si evidenzia che i collettori 1 e 2 risultano essere uguali per tutte le reti avendo solo il ruolo di trasportare le medesime portate in arrivo dai bacini uguali per tutte le tipologie. Il collettore indicato con il numero 3 rappresenta invece il ramo di traslazione delle portate la cui lunghezza L rappresenta il dato di variabilità studiato per ogni rete assieme alla grandezza delle vasche. Ovviamente per la tipologia (a) il ramo 3 risulta essere totalmente ininfluenza rispetto agli scarichi nel ricettore, contrariamente a quanto accade per le tipologie (b) e (c) dove svolge un ruolo fondamentale. Anch'esso viene modellato affinché il riempimento non superi il 70% e non influenzi la portata in uscita dalle vasche. Le lunghezze di 3 studiate per ogni tipologia di rete e grandezza delle vasche sono 100, 200, 500, 1000, 3000, 5000, 7500, 10000 m.

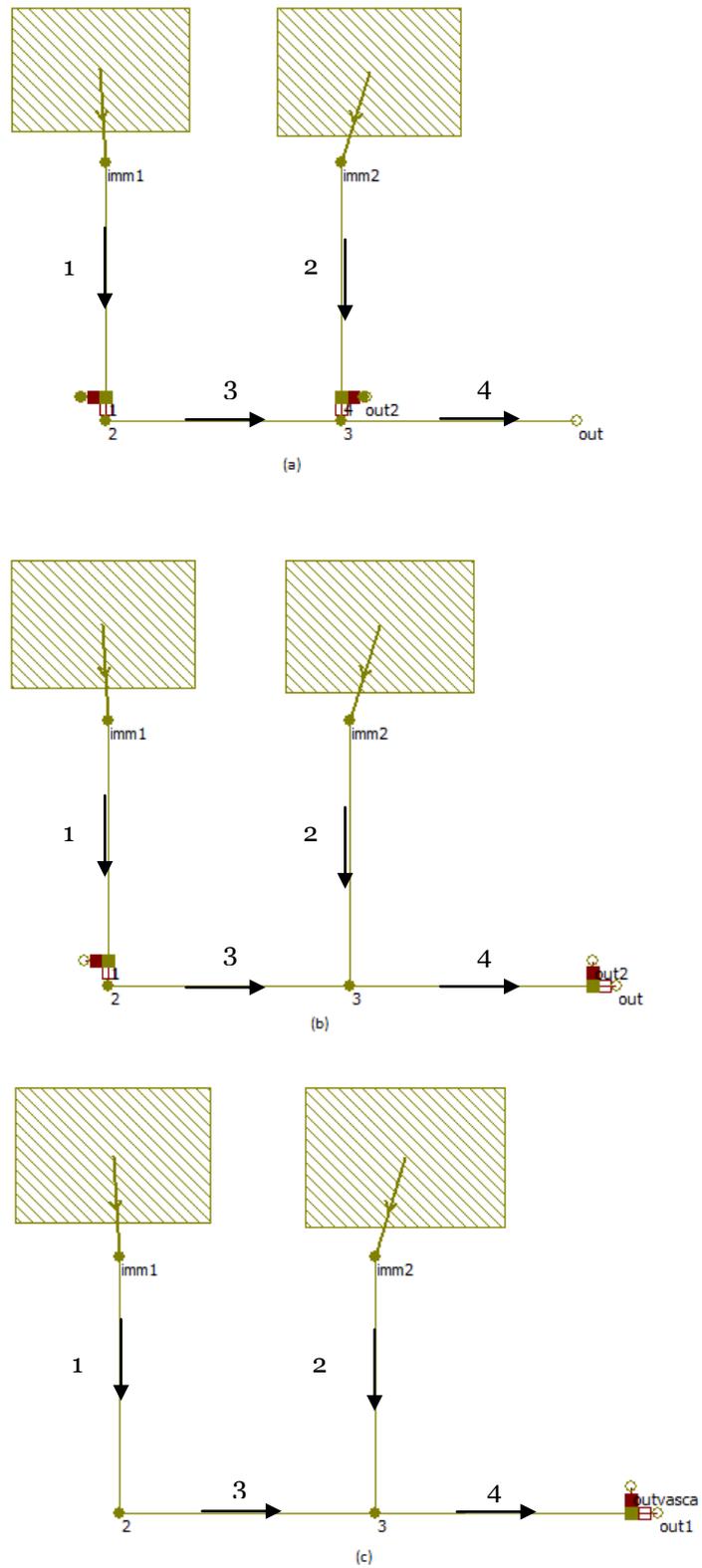


Figura 3.3 - reti modellate attraverso InfoWorks

I rami 4 nelle reti (b) e (c) rappresentano un piccolo tratto di traslazione per l'immissione alla seconda vasca nelle reti in serie, o nell'unica vasca di reti con vasca unica. Come per gli altri collettori, anche quest'ultimo viene progettato in modo tale che non vi sia riempimento superiore al 70%. In ultima analisi viene scelta una lunghezza per i collettori 1, 2 e 4 pari a 100m, in modo tale da influire il meno possibile sull'idrogramma in ingresso a valle di ogni collettore, limitando al minimo i fenomeni di laminazione delle portate volumetriche e rispettive concentrazioni di sedimenti. Queste lunghezze assumono un ruolo importante soprattutto per la variazione dei diametri in reti con vasche di cattura. Infatti si può notare come i collettori 1,2 e 4 abbiano un diametro più grande nelle reti con vasche di cattura rispetto a quelle con vasche di transito (**Tabella 3.2**). Questo è necessario per l'innalzamento del livello idrico causato dall'abbassamento delle paratoie mobili, che generano una perturbazione nel collettore a monte di esso. Per coerenza di calcolo viene quindi verificato che su di una breve lunghezza (100m) l'idrogramma in uscita da questi collettori non è influenzato dal diametro di quest'ultimi. In questo modo il volume scaricato dalle due tipologie di vasche è assolutamente confrontabile.

Per quanto riguarda invece le pendenze dei rami è stato necessario confrontare gli scarichi ottenuti su reti uguali, variando questo dato. Essendo impossibile infatti definire una pendenza media caratteristica di tutte le reti reali esistenti occorre definire l'influenza della pendenza sul fenomeno studiato (capitolo 3.8).

Evidenziata la pressoché totale uguaglianza dei risultati ottenuti con pendenze diverse (da 1% a 5‰), si è scelto di operare con la pendenza media di 5‰ per tutti i collettori.

In seguito vengono riassunti in **Tabella 3.2** tutti i dati dei collettori utilizzati.

	Diametro (mm)	Lunghezza (m)	Pendenza (m/m)
vasche in parallelo (a) di transito			
1	3000	100	0,005
2	3000	100	0,005
3	-	-	-
4	-	-	-
Vasche in serie (b) di transito			
1	3000	100	0,005
2	3000	100	0,005
3	1000	100 - 10000	0,005
4	3000	100	0,005
Vasca unica (c) di transito			
1	3000	100	0,005
2	3000	100	0,005
3	3000	100 - 10000	0,005
4	4000	100	0,005
Vasche in parallelo (a) di cattura			
1	6000	100	0,005
2	6000	100	0,005
3	-	-	-
4	-	-	-
Vasche in serie (b) di cattura			
1	6000	100	0,005
2	6000	100	0,005
3	1000	100-10000	0,005
4	6000	100	0,005
Vasche uniche (c) di cattura			
1	3000	100	0,005
2	3000	100	0,005
3	3000	100-10000	0,005
4	7500	100	0,005

Tabella 3.2 - valori di diametro e lunghezza dei collettori utilizzati

3.4 Dimensionamento delle vasche di prima pioggia

Il dimensionamento delle vasche (sia di transito che di cattura) viene effettuata su due principi:

- La vasca non deve causare rigurgito a monte di essa quando è totalmente piena e lo scarico non deve influire sul moto delle portate in arrivo da monte.
- La vasca deve essere tale da poter essere confrontabile in tutte le sue dimensioni differenti.

Il sistema vasca(storage)-orifizio-soglia (vedi capitolo 2) permette di semplificare la rappresentazione del funzionamento della vasca, creando vasche il cui battente massimo risulta essere lo stesso per qualsiasi volume attraverso degli artifici. In **Figura 3.4** - schema *vasca-orifizio-soglia* lo schema del sistema utilizzato:

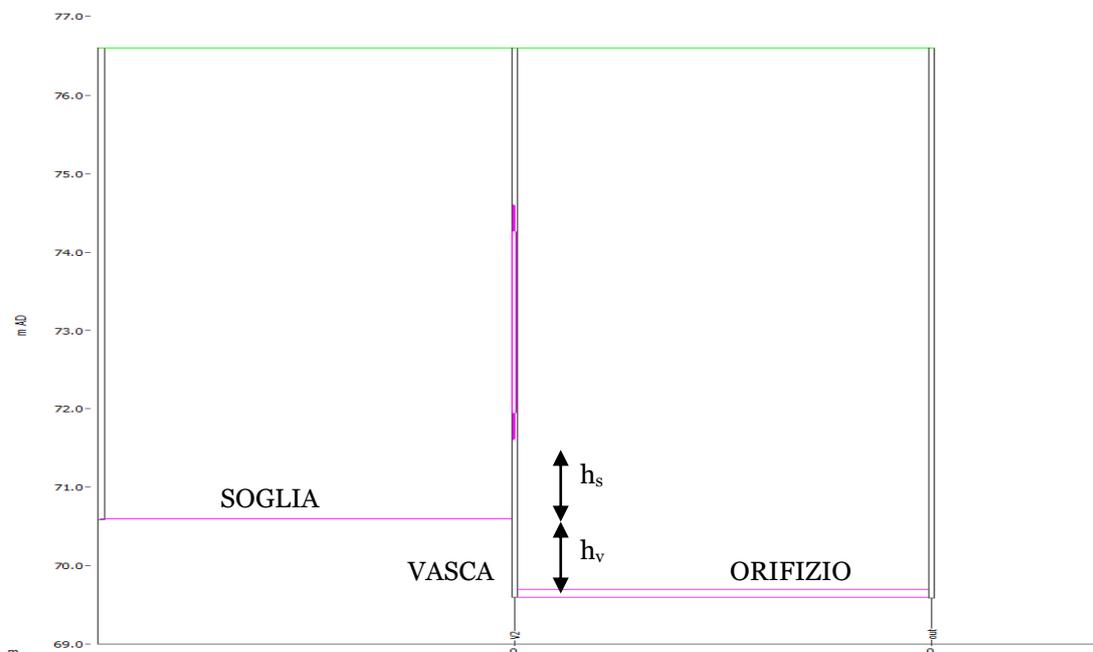


Figura 3.4 - schema *vasca-orifizio-soglia*

L'altezza h_s rappresenta la distanza tra lo scorrimento del collettore in arrivo da monte e l'altezza di sfioro. Tale distanza è stata posta tale che il battente al disopra della soglia non vada a superare il livello di scorrimento nel collettore. Esso è stato posto pari a 1m. Ad ogni modo l'imposizione di un coefficiente di portata sulla soglia molto grande (vedi capitolo 2.2.2) permette di creare un battente molto piccolo.

L'altezza della vasca h_v è stata posta pari ad 1m per tutte le tipologie delle vasche. Infatti imponendo a valle della vasca un orifizio, la portata in uscita di essa non è influenzata dall'altezza del battente idrico, ma viene imposta a priori minore o al più pari della portata limite (Q_u). In questo modo si ottiene accumulo di volume in vasca solo nel momento in cui la portata in ingresso risulti essere superiore a Q_u . La portata limite è stata calcolata come il volume di acqua da portare a depurazione, trovata attraverso la dotazione idrica giornaliera per il numero di abitanti moltiplicata per il rapporto di diluizione R (3.1). Per semplicità di calcolo viene imposta che la dotazione idrica sia pari ad 300 l/s Ab e il numero di abitanti teorico pari a 100 Ab/ha , con R uguale a 3.

$$Q_u = R \frac{\text{dotazione idrica} \times Ab}{86400} \quad 3.1$$

Q_u è stato assunto quindi pari a circa 1 l/s ha_{imp} .

Per quanto riguarda il volume di invaso, per tutte le vasche è stata imposta la medesima altezza di sfioro pari ad 1m attraverso la quale è possibile modificare la grandezza della vasca inserendo diverse superfici. In tal modo risulta essere molto semplificata la variazione dei volumi delle vasche, rendendole inoltre assolutamente compatibili avendo le medesime condizioni al contorno nonostante diversi invasi.

I volumi considerati delle vasche sono: 25, 50, 75, 100 m^3/ha_{imp} .

Tale modellazione delle vasche è uguale sia per sistemi con vasche di transito, sia per sistemi con vasche di cattura (con bypass delle portate). La differenza tra i due modelli risiede nella differente tipologia di struttura presente a monte della vasca. Nelle vasche di transito il collettore immette direttamente in vasca i volumi, mentre

il sistema con by pass risulta essere più complesso e viene visto nel dettaglio in seguito.

Vasche di cattura con sistema by pass

I volumi in arrivo da monte vengono immessi direttamente in vasca fino al riempimento di quest'ultima. A questo punto l'immissione viene bloccata, e si costringe il flusso attraverso una via diversa (detta in questa sede BYPASS) nel quale vengono sfiorate tutte le portate al di sopra della Q_u imposta come detto precedentemente.

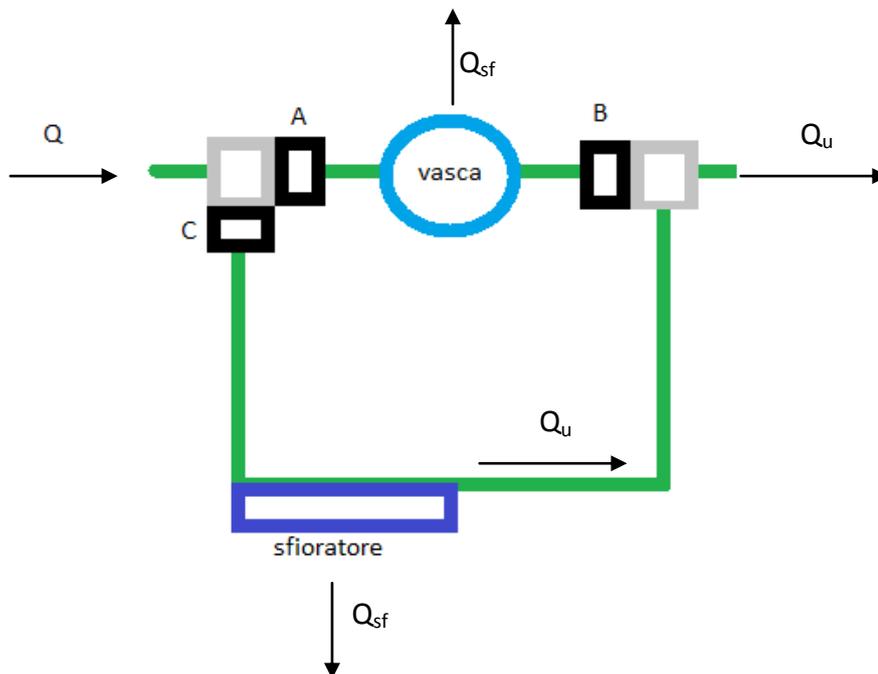


Figura 3.5 - schema di funzionamento vasca di cattura con by pass

In **Figura 3.5** viene visualizzato lo schema di funzionamento della vasca con sistema bypass, attraverso i seguenti step consequenziali:

- 1- Tempo asciutto: le paratoie A e B sono aperte mentre C è chiusa.
- 2- Evento meteorico (livello in vasca minore di h_v come da **Figura 3.4**): come per 1, A e B sono aperte e C chiusa. Quando $Q > Q_u$ la vasca inizia a riempirsi aumentando il livello idrico.
- 3- Livello in vasca uguale o maggiore di h_v : le paratoie A e B si chiudono non permettendo il passaggio di portata all'interno del sistema vasca-soglia-orifizio. Contemporaneamente si apre la paratoia C, permettendo il passaggio attraverso la zona bypass. Tutte le portate superiori a Q_u vengono scaricate da uno sfioratore. A valle della vasca la portata è sempre Q_u .
- 4- Quando $Q < Q_u$: si chiude la paratoia C e si riaprono le paratoie A e B. In questo modo la vasca si svuota o al più rimane allo stesso livello in quanto la portata in entrata risulta essere minore o al più uguale rispetto alla portata in uscita.

Questo schema di funzionamento è uguale per qualsiasi dimensione, tipologia di vasca ed evento meteorico.

Per modellare in infoworks tale artefatto con paratoie mobili, occorre procedere alla definizione di elementi gestiti da un RTC (real time control) che determina le condizioni di apertura e chiusura delle paratoie e modellare il sistema bypass in modo coerente. Ovviamente la schematizzazione della vasca rimane la stessa vista precedentemente in questo capitolo.

In **Figura 3.6** viene visualizzata la schematizzazione del sistema bypass di una vasca di cattura continua.

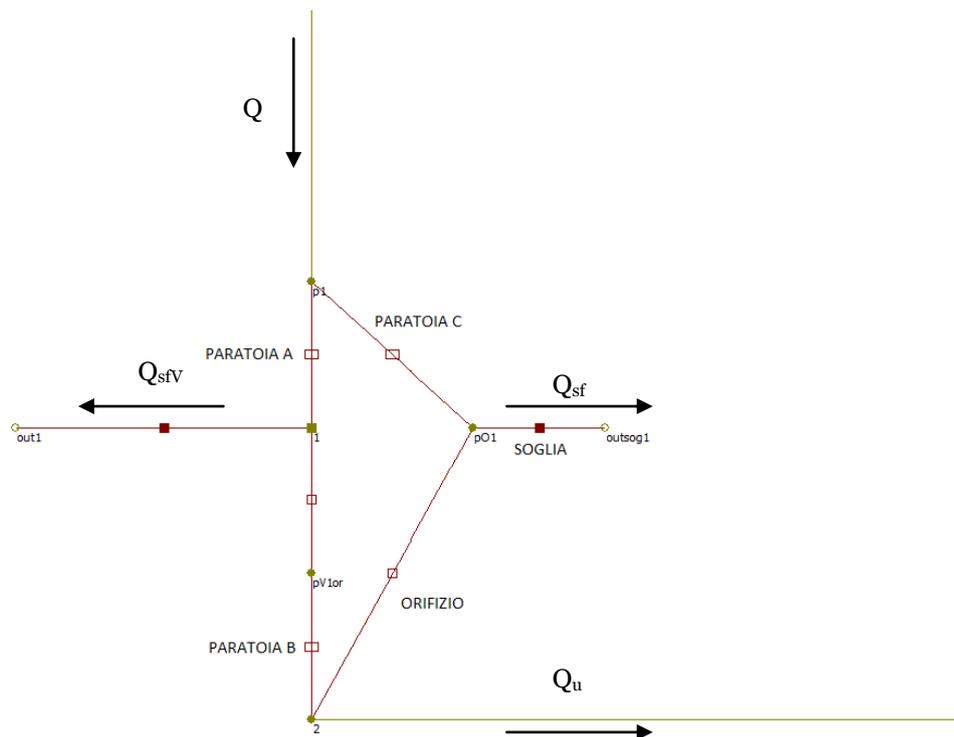


Figura 3.6 - modello in InfoWorks di vasche fuori linea con sistema di bypass

Il modello del bypass viene costruito attraverso un sistema paratoia-soglia-orifizio. La paratoia deve essere costruita con una massima apertura pari alla dimensione del collettore a monte di essa e un livello di chiusura pari a zero. RTC gestisce le velocità di chiusura/apertura e le condizioni di movimento. In esso si definiscono le condizioni attraverso i parametri di riferimento per i due movimenti: il riferimento al livello idrico in vasca che impone la condizione di apertura per la paratoia C e di chiusura per le paratoie A e B (condizione di vasca); il riferimento alla portata transiente nel collettore a monte della vasca che determina la chiusura di C e l'apertura di A e B (condizione di portata subito a monte della vasca). La velocità di chiusura della soglia deve essere sufficientemente bassa da non provocare errori nelle simu-

lazioni del software. Si definisce una velocità tale che l'apertura e la chiusura di qualsiasi paratoia avvenga pari a 100 secondi. Non è possibile aumentare questo valore per evitare fenomeni di colpo d'ariete ed errori da parte del modello di calcolo. Il sistema soglia-orifizio, corrisponde alla modellazione di uno sfioratore di portata lungo un collettore. Viene utilizzata l'iterazione dei due elementi per garantire l'effettivo passaggio di portata limite e il conseguente scarico dell'eccesso. La portata limite imposta nell'orifizio è pari a Q_u mentre l'altezza della soglia di sfiora viene definita impostandola pari al livello di valle nel collettore subito a monte per portata costante pari a Q_u . Come descritto precedentemente vengono utilizzati coefficienti di portata molto elevati sia per le soglie che per l'orifizio. In seguito vengono riassunte le portate limite, le altezze di sfioro e le condizioni di chiusura e apertura delle paratoie:

vasche in parallelo	
Q_{u1}	100 l/s
Q_{u2}	100 l/s
Soglia	0,315 m
Condizione di vasca 1 e 2	100 m AD
Condizione di portata 1 e 2	100 l/s

Tabella 3.3 - portate limite, soglie e condizioni di apertura/chiusura paratoie vasche in parallelo

Vasche in serie	
Q_{u1}	100 l/s
Q_{u2}	200 l/s
Soglia 1	0,315 m
Soglia 2	0,329 m

Condizione di vasca 1	100 m AD
Condizione di portata 1	100 l/s
Condizione di vasca 2 (L 100m)	91,1 m AD
Condizione di vasca 2 (L 200m)	90,6 m AD
Condizione di vasca 2 (L 500m)	90,1 m AD
Condizione di vasca 2 (L 1000m)	87,6 m AD
Condizione di vasca 2 (L 3000m)	77,6 m AD
Condizione di vasca 2 (L 5000m)	67,6 m AD
Condizione di vasca 2 (L 7500m)	55,1 m AD
Condizione di vasca 2 (L 10000m)	42,6 m AD
Condizione di portata 2	200 l/s

Tabella 3.4 - portate limite, soglie e condizioni di apertura/chiusura paratoie vasche in serie

Vasca unica	
Q_u	200 l/s
Soglia	0,395 m
Condizione di vasca (L 100m)	98,8 m AD
Condizione di vasca (L 200m)	97,8 m AD
Condizione di vasca (L 500m)	94,8 m AD
Condizione di vasca (L 1000m)	89,8 m AD
Condizione di vasca (L 3000m)	69,8 m AD
Condizione di vasca (L 5000m)	49,8 m AD
Condizione di vasca (L 7500m)	24,8 m AD
Condizione di vasca (L 10000m)	-0,2 m AD
Condizione di portata	200 l/s

Tabella 3.5 - portate limite, soglie e condizioni di apertura/chiusura paratoie vasca unica

3.5 Selezioni dei parametri di deposito e wash-off

Come visto nei capitoli 2.4.2 e 2.4.3 i parametri per determinare la qualità finale degli scarichi attraverso le simulazioni di calcolo sono quelli relativi al deposito di sedimenti e relativo wash off. In questa sede si è scelto di operare attraverso valori medi di ogni parametro.

Per quanto riguarda il fenomeno di deposito, viene ricordata la formulazione empirica di accumulo:

$$M_0 = M_d \cdot e^{-K_1 \cdot NJ} + \frac{P_s}{K_1} (1 - e^{-K_1 \cdot NJ}) \quad 3.2$$

Dove:

- M_0 è la massa di sedimenti al termine del periodo di calcolo (Kg/ha)
- M_d è la massa di sedimenti presente inizialmente (kg/ha)
- P_s è il fattore di crescita Buildup Factor spesso noto anche come Accu (kg/ha giorno)
- K_1 è il fattore di decadimento Decay Factor spesso noto come Disp (giorno⁻¹)
- NJ è la durata del tempo di secco o del passo temporale (giorni)

In tale modello il rapporto P_s/K_1 rappresenta il valore massimo verso cui tende la massa accumulabile sul bacino, nell'ipotesi che l'accumulo stesso sia asintoticamente limitato dall'azione erosiva esercitata dal vento, dal traffico e dalla degradazione biologica e biochimica.

Di fondamentale importanza è la taratura dei parametri, poiché anche in letteratura si trovano indicazioni alquanto generiche sui possibili valori da riferire al bacino in esame; ad esempio alcune indagini sperimentali hanno stabilito che il coefficiente di accumulo P_s è funzione del tipo di urbanizzazione:

- zone residenziali altamente abitate 10÷25 kg/(ha·giorno)

- zone residenziali scarsamente abitate 5÷6 kg/(ha·giorno)
- zone commerciali 15 kg/(ha·giorno)
- zone industriali 35 kg/(ha·giorno)

per tale modello di calcolo si è deciso di optare per un valore di P_s pari a 25 Kg/(ha·giorno) rappresentante un valore di accumulo esistente in zone residenziali altamente abitate.

Per quanto concerne il parametro K_1 , coefficiente di scomparsa, [7] e [8] *Novotny et al.* (1978;1985) hanno valutato che su alcuni bacini americani esso varia tra 0,2 giorno⁻¹ e 0,4 giorno⁻¹, mentre da sperimentazioni francesi tale coefficiente è stato stimato in 0,08 giorno⁻¹ ([9] e [10] *Bujon*, 1988). In questa sede si sceglie di operare con un valore medio di tale coefficiente pari a 0,2 giorno⁻¹. Per quanto riguarda invece il parametro di NJ, ovvero del tempo di accumulo iniziale nel tempo secco, si è scelto di operare un tempo di build-up pari a 16 giorni (384 ore). Tale tempo è stato scelto in quanto nella serie di eventi meteorici dell'anno 1985, il primo evento ha data 16 gennaio 1985 e presumibilmente si suppone che in tale anno sia stato il primo evento registrato, avendo quindi 16 giorni di tempo secco di accumulo. Il dilavamento operato invece dagli eventi meteorici, come visto precedentemente, viene operato da una legge empirica di tipo esponenziale espressa in seguito:

$$K_a = C_1 \cdot i(t)^{C_2} + C_3 \cdot i(t) \quad 3.3$$

Dove:

- C_1 è un coefficiente amplificativo detto anche arra
- C_2 è un coefficiente adimensionale detto anche wash
- C_3 è un coefficiente adimensionale di riduzione
- $i(t)$ = intensità di pioggia netta (m/s)

del tutto simile alla formulazione:

$$K_a = arra \cdot i(t)^{wash} \quad 3.4$$

In letteratura anglosassone per materiali di tipo sedimentabile (Ammon, 1979) vengono definiti i parametri arra e wash attraverso i seguenti range di valori:

- Arra = 2,9, 6,1 e 9,3 pollici^{-wash}·ora^(wash-1)
- wash = 0,5, 1, 1,5 e 2

si sceglie di operare con valori medi sia di arra che di wash rispettivamente con valori di 6 pollici^{-wash}·ora^(wash-1) e 1,5.

Per inserire il parametro Arra come parametro C₁ occorre effettuare la trasformazione

$$C_1 = \frac{141732.3^{wash}}{3600} arra \quad 3.5$$

Dove C₁ assumerà un valore pari a 90413 m^{-wash}·s^(wash-1).

In tabella di seguito vengono riassunti i valori utilizzati:

Accu (P_s)	25 kg/ha-giorno
Disp (K₁)	0,2 giorno ⁻¹
NJ	384 ore
C₁ (Arra)	90413 m ^{-wash} ·s ^(wash-1)
Wash (C₂)	1,5

Tabella 3.6 - parametri utilizzati per l'accumulo e il dilavamento delle superfici inquinate

3.6 Serie degli eventi di pioggia considerati

Per l'intero corpo delle simulazione, si sceglie di utilizzare una serie di eventi reali relativi all'anno solare 1985 registrati dalla stazione di MILANO posta in via Monviso.

Tale anno è caratterizzato dalla presenza di eventi che vengono considerati ben rappresentativi del regime medio pluviale annuo della zona di Milano. In seguito viene rappresentata in modo schematico l'intera serie nell'arco dell'anno 1985:

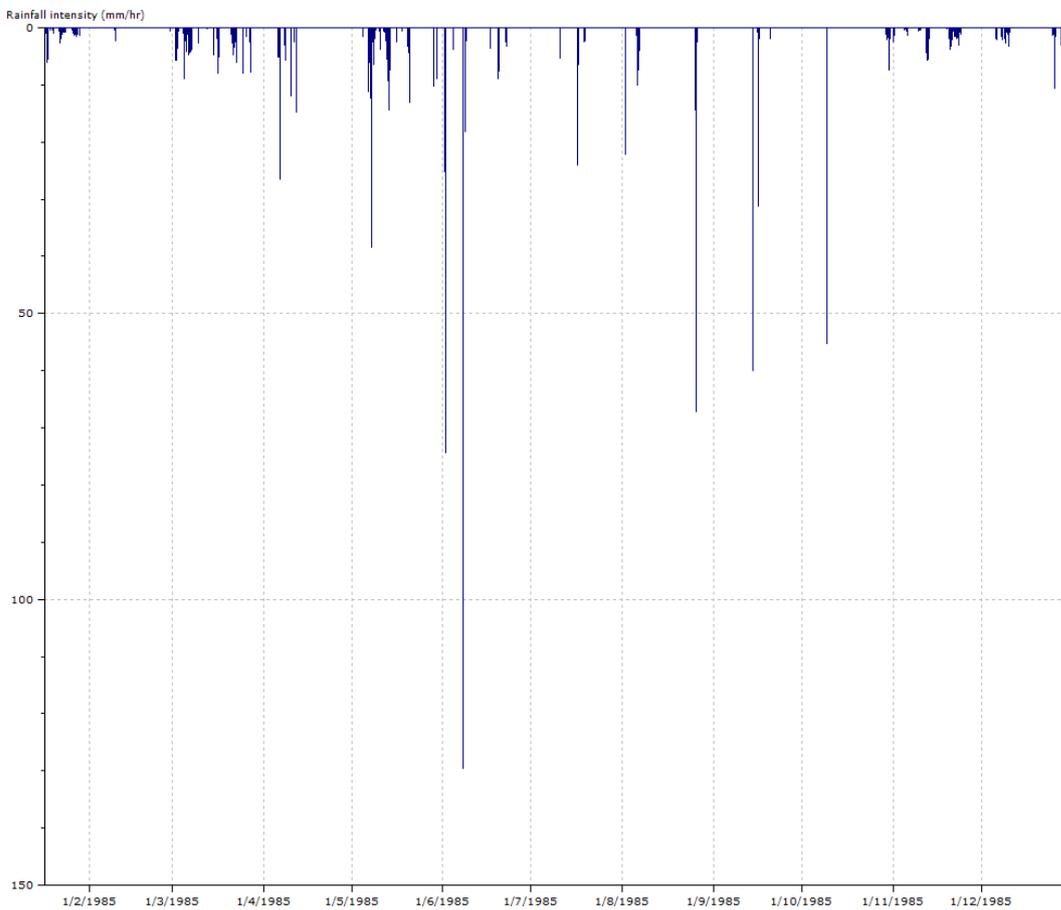


Figura 3.7 – serie di eventi considerati: anno 1985 staz. Milano via Monviso

3.7 Parametri di simulazione

I parametri di simulazione rappresentano le condizioni in cui avvengono le simulazioni di calcolo. Esse si suddividono in

- Time step di simulazione
- Time step di output
- Durata della simulazione
- Time step di simulazione di qualità

Per ogni rete si inseriscono i seguenti parametri:

Time step di simulazione	60 secondi
Time step di output	300 secondi
Durata della simulazione	1 anno
Time step di simulazione di qualità	60 secondi

Tabella 3.7 - *parametri di simulazione*

Si sceglie un time step di simulazione tale da ottenere una scansione ragionevolmente estesa della storica di eventi considerata vista al paragrafo precedente. Il time step di output rappresenta invece il delta temporale con la quale vengono visualizzati i dati grafici e tabellari. Impostando un valore di 300 secondi non si ha variazione sui risultati e nello stesso tempo si riduce il tempo di visualizzazione altrimenti molto elevato.

Per quanto riguarda i parametri di step riguardanti la simulazione di qualità, InfoWorks offre l'opportunità di diminuire la definizione dei risultati ottenuti per dimi-

nuire il tempo di calcolo. Si sceglie in modo obbligato di avere lo stesso time step delle simulazioni idrauliche per garantire la miglior esattezza possibile dei risultati. La durata dell'intera simulazione viene posta pari ad un anno come imposto dalla scelta della durata della serie di pioggia scelta.

3.8 Influenza della scala dei bacini e delle pendenze

In seguito si mostra la possibile influenza sul volume e la massa scaricata dalle vasche della scala dei bacini e delle pendenze dell'intera rete. Tale verifica risulta essere molto importante, al fine di evidenziare quali siano gli effettivi parametri che influenzano (con le condizioni al contorno scelte) i risultati numerici ottenuti.

3.8.1 Influenza delle scale dei bacini

Per definire una grandezza di bacino standard sul quale effettuare le simulazioni, occorre verificare che la grandezza del bacino, con corrispondenti grandezze di vasche e portata limite, non influisca sui volumi e le masse scaricate specifiche al variare della distanza. Per questa ragione vengono presi in esame gli scarichi ottenute mediante simulazioni su 3 distanze di riferimento (100, 1000, 10000 m) per ogni rete su bacini grandi 100ha o 1ha per grandezze di vasche pari a $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$. I parametri di simulazione e di qualità sono gli stessi imposti in precedenza, e quindi si paragonano i volumi scaricati specifici riferiti alle due dimensioni di bacino. In seguito vengono riportate le simulazioni effettuate per tale confronto:

tipologia rete	ha	Distanza L
vasche di transito in serie	100ha	100m
Vasche di transito in serie	1ha	100m
Vasche di transito in serie	100ha	1000m
Vasche di transito in serie	1ha	1000
Vasche di transito in serie	100ha	10000
Vasche di transito in serie	1ha	10000
Vasche di transito uniche	100ha	100
Vasche di transito uniche	1ha	100
Vasche di transito uniche	100ha	1000
Vasche di transito uniche	1ha	1000
Vasche di transito uniche	100ha	10000
Vasche di transito uniche	1ha	10000
Vasche di transito in parallelo	100ha	-
Vasche di transito in parallelo	1ha	-

Tabella 3.8 - simulazioni al variare della grandezza dei bacini su vasche di 50 m³/ha sulle 3 distanze caratteristiche L 100m, 1000m e 10000m

Come si può notare dai grafici l'influenza della grandezza del bacino risulta essere assolutamente ininfluente, garantendo per dimensioni differenti dall'ettaro unitario risultati assolutamente compatibili. Infatti i volumi e le masse scaricate in funzione delle distanze risultano totalmente indipendenti dalla grandezza del bacino, con ipotesi che ogni rete è ricostruita in funzione delle portate immesse e variando la grandezza delle vasche in funzione della grandezza del bacino a cui fanno riferimento. Di seguito sono riportati i grafici dei volumi e delle masse scaricate nelle soluzioni differenti:

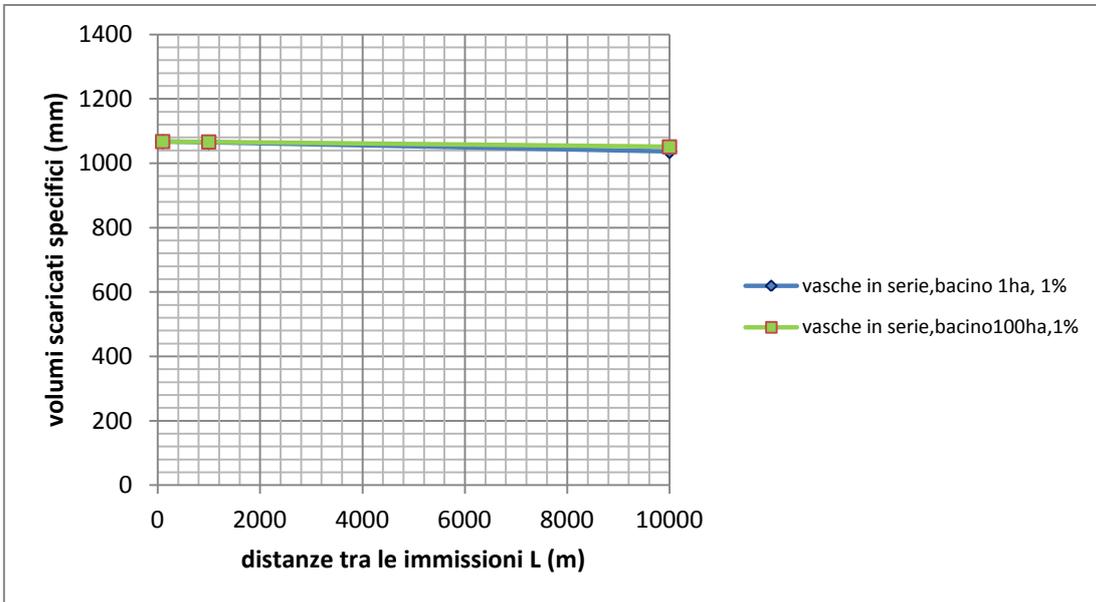


Grafico 3.1 - volumi scaricati specifici da VASCHE IN SERIE in funzione della distanza L per bacini di 100 ha e 1 ha

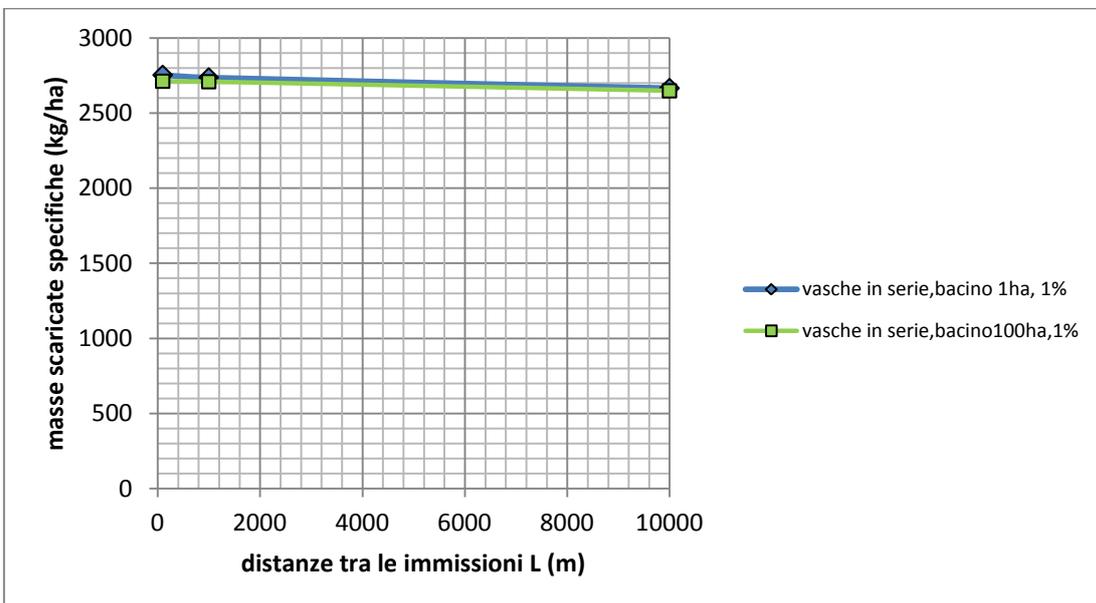


Grafico 3.2 - masse scaricate da VASCHE IN SERIE in funzione della distanza L per bacini di 100ha e 1 ha

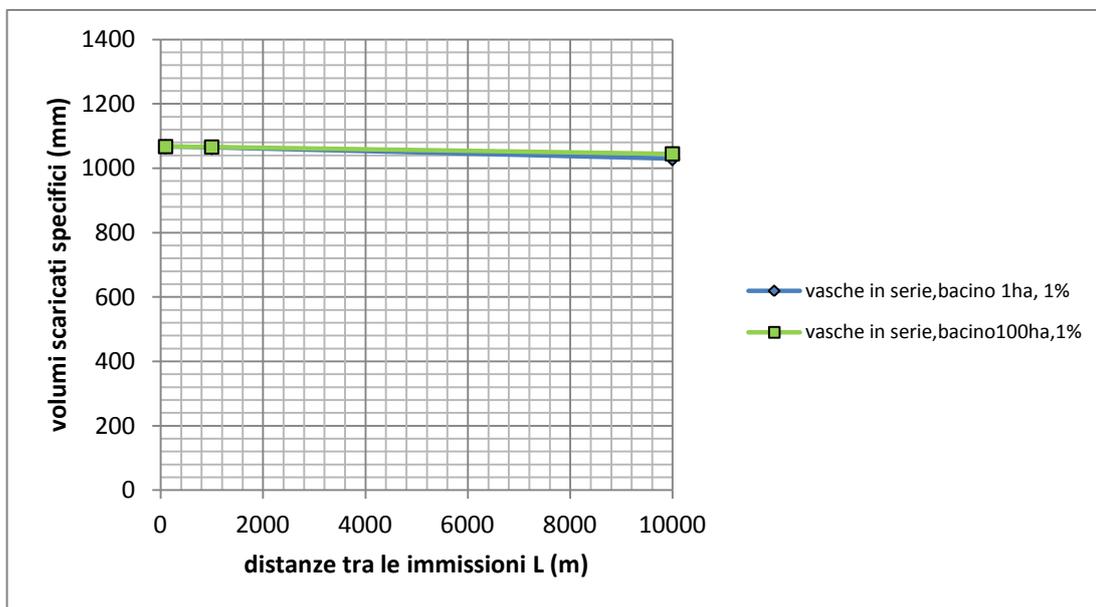


Grafico 3.3 - volumi scaricati specifici da VASCHE UNICHE in funzione della distanza L per bacini di 100 ha e 1 ha

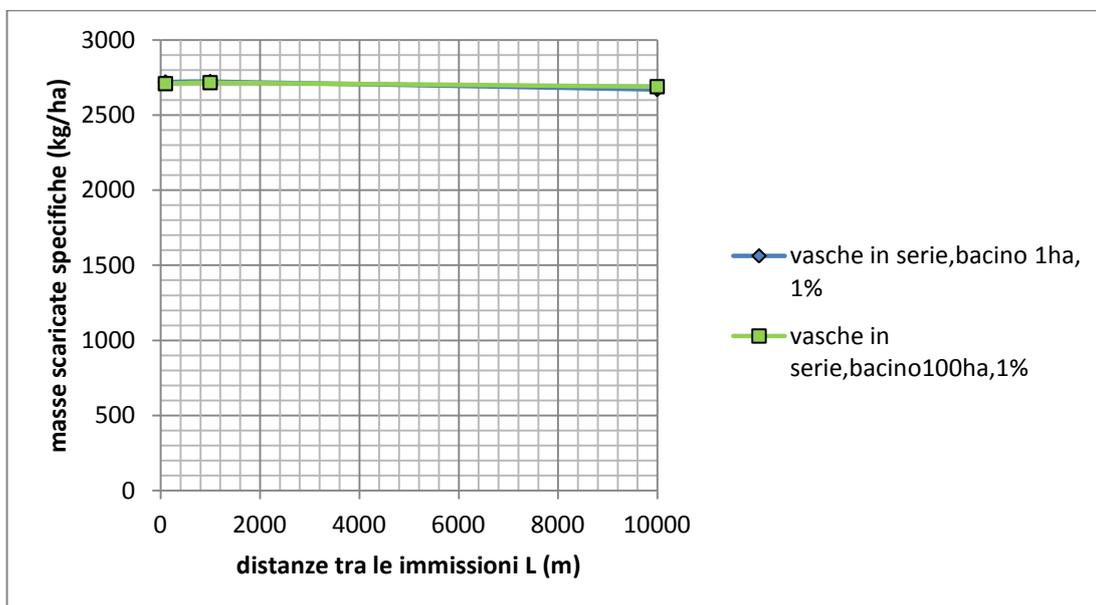


Grafico 3.4 - masse scaricate specifiche da VASCHE UNICHE in funzione della distanza L per bacini di 100 ha e 1 ha

Si può quindi scegliere di utilizzare una grandezza di 100ha come precedentemente specificato in virtù di una migliore approssimazione dei risultati.

3.8.2 Influenza delle pendenze dei collettori

Viene verificata che la pendenza dei collettori all'interno della rete non influisca sugli scarichi nei ricettori da parte delle vasche. Per tale ragione, come per la scala di bacino, vengono effettuate su 3 distanze di riferimento per vasche di $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ le simulazioni per verificare tale influenza.

tipologia rete	Pendenza (%)	Distanza L
vasche di transito in serie	1%	100m
Vasche di transito in serie	0,5%	100m
Vasche di transito in serie	1%	1000m
Vasche di transito in serie	0,5%	1000
Vasche di transito in serie	1%	10000
Vasche di transito in serie	0,5%	10000
Vasche di transito uniche	1%	100
Vasche di transito uniche	0,5%	100
Vasche di transito uniche	1%	1000
Vasche di transito uniche	0,5%	1000
Vasche di transito uniche	1%	10000
Vasche di transito uniche	0,5%	10000
Vasche di transito in parallelo	1%	-
Vasche di transito in parallelo	0,5%	-

Tabella 3.9 - simulazioni effettuate al variare della pendenza dei collettori

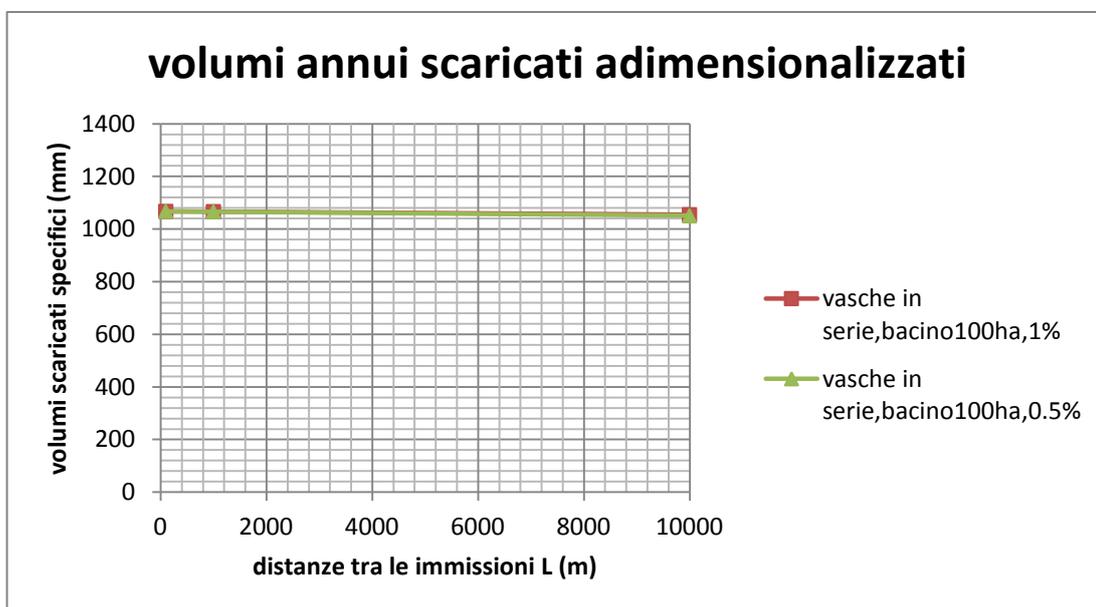


Grafico 3.5 - volumi scaricati specifici da VASCHE IN SERIE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza L

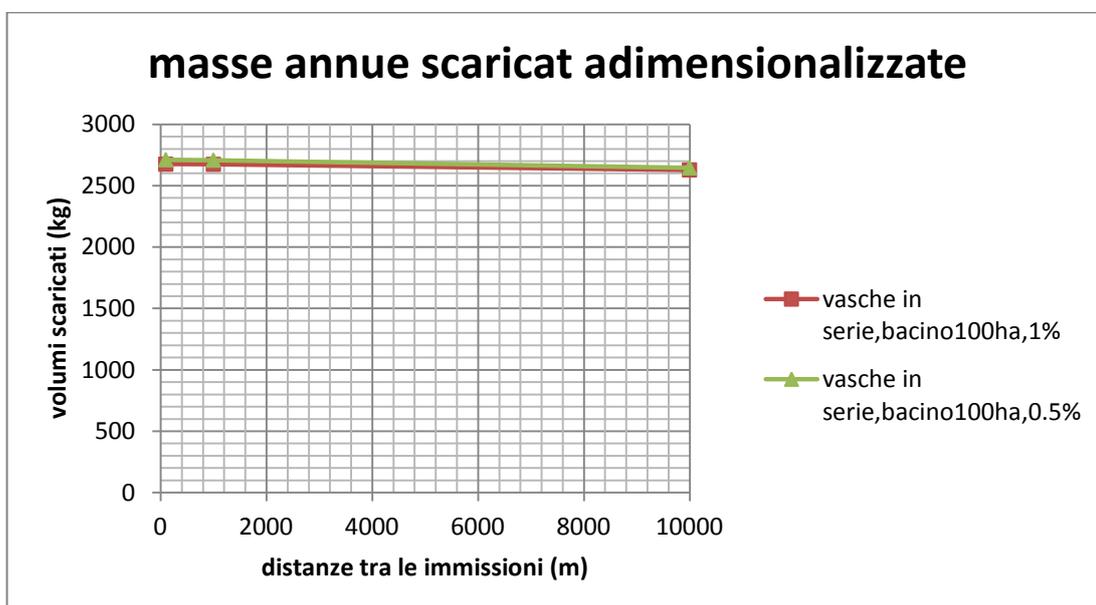


Grafico 3.6 - masse scaricate specifiche da VASDCHE IN SERIE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza

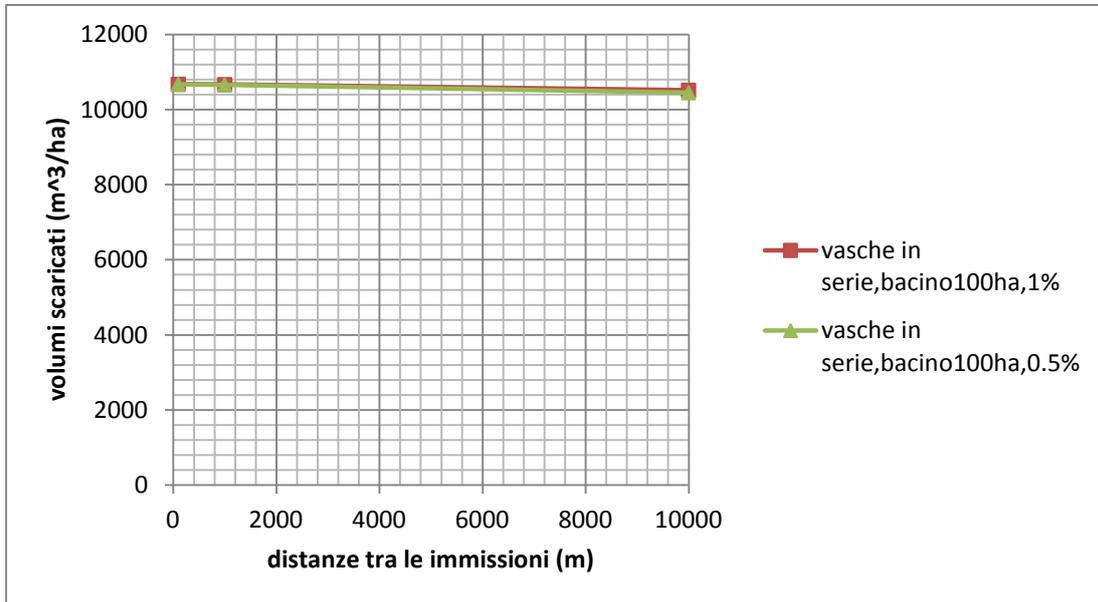


Grafico 3.7 - volumi scaricati specifici da VASCHE UNICHE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza L

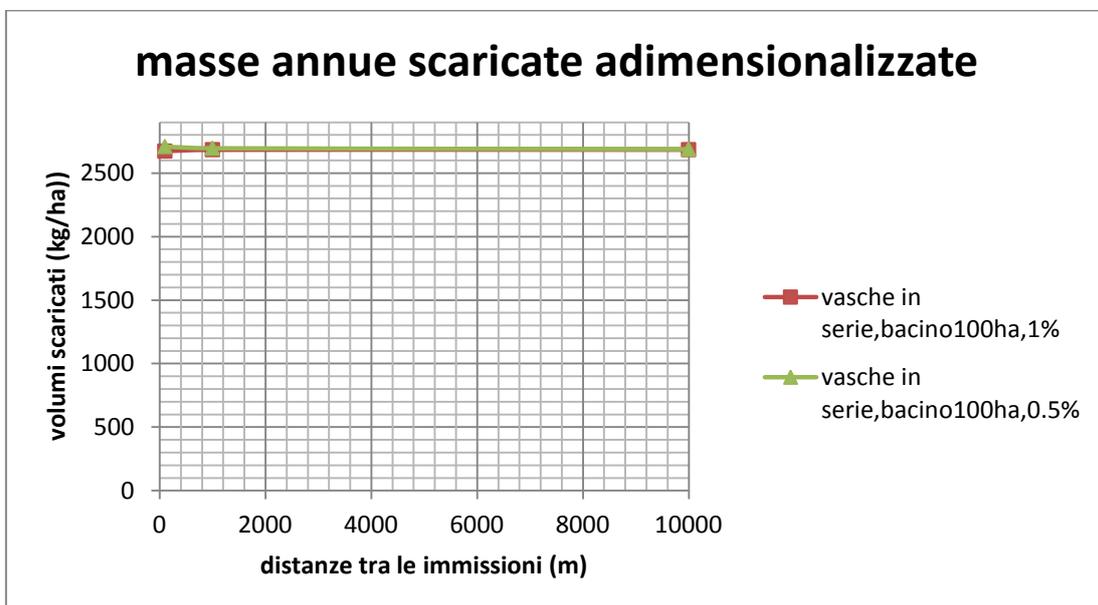


Grafico 3.8 - masse scaricate specifiche da VASDCHE UNICHE nelle due pendenze 1% e 0,5% al variare della distanza

Come visualizzato dai grafici si evince che il volume e la massa scaricata dalle vasche risulta totalmente indipendente dalle pendenze delle reti. In questo modo si sceglie la pendenza media di 0,5% per tutte le reti considerate.

3.9 Simulazioni effettuate

In seguito vengono riassunti in unica tabella le differenti simulazioni effettuate con le reti viste in precedenza in questo capitolo. Ogni simulazione è stata effettuata su di un tempo di un anno con serie di eventi visti in precedenza.

I dati di variabilità sono espressi dal volume delle vasche V_{vasca} (m³/ha) e dalla lunghezza L (m) del collettore 3 visto in **Figura 3.3** che rappresenta la distanza tra le immissioni in rete dei due bacini scolanti. La tipologia di rete, come visto in precedenza si divide in parallelo, serie o unica, mentre la tipologia di vasche è la distinzione tra vasche di transito e vasche di cattura:

N°	SIMULAZIONE	RETE	VASCHE	V_{vasca} (m ³ /ha _{imp})	L (m)
1	Vp_c_25	parallelo	cattura	25	-
2	Vp_t_25	parallelo	transito	25	-
3	Vp_c_50	parallelo	Cattura	50	-
4	Vp_t_50	Parallelo	Transito	50	-
5	Vp_c_75	Parallelo	Cattura	75	-
6	Vp_t_75	Parallelo	Transito	75	-
7	Vp_c_100	Parallelo	Cattura	100	-
8	Vp_t_100	Parallelo	Transito	100	-
9	Vs_t_25_100m	Serie	Transito	25	100
10	Vs_t_25_200m	Serie	Transito	25	200

11	Vs_t_25_500m	Serie	Transito	25	500
12	Vs_t_25_1000m	Serie	Transito	25	1000
13	Vs_t_25_3000m	Serie	Transito	25	3000
14	Vs_t_25_5000m	Serie	Transito	25	5000
15	Vs_t_25_7500m	Serie	Transito	25	7500
16	Vs_t_25_10000m	Serie	Transito	25	10000
17	Vs_c_25_100m	Serie	Cattura	25	100
18	Vs_c_25_200m	Serie	Cattura	25	200
19	Vs_c_25_500m	Serie	Cattura	25	500
20	Vs_c_25_1000m	Serie	Cattura	25	1000
21	Vs_c_25_3000m	Serie	Cattura	25	3000
22	Vs_c_25_5000m	Serie	Cattura	25	5000
23	Vs_c_25_7500m	Serie	Cattura	25	7500
24	Vs_c_25_10000m	Serie	Cattura	25	10000
25	Vs_t_50_100m	Serie	Transito	50	100
26	Vs_t_50_200m	Serie	Transito	50	200
27	Vs_t_50_500m	Serie	Transito	50	500
28	Vs_t_50_1000m	Serie	Transito	50	1000
29	Vs_t_50_3000m	Serie	Transito	50	3000
30	Vs_t_50_5000m	Serie	Transito	50	5000
31	Vs_t_50_7500m	Serie	Transito	50	7500
32	Vs_t_50_10000m	Serie	Transito	50	10000
33	Vs_c_50_100m	Serie	Cattura	50	100
34	Vs_c_50_200m	Serie	Cattura	50	200
35	Vs_c_50_500m	Serie	Cattura	50	500
36	Vs_c_50_1000m	Serie	Cattura	50	1000
37	Vs_c_50_3000m	Serie	Cattura	50	3000

38	Vs_c_50_5000m	Serie	Cattura	50	5000
39	Vs_c_50_7500m	Serie	Cattura	50	7500
40	Vs_c_50_10000m	Serie	Cattura	50	10000
41	Vs_t_75_100m	Serie	Transito	75	100
42	Vs_t_75_200m	Serie	Transito	75	200
43	Vs_t_75_500m	Serie	Transito	75	500
44	Vs_t_75_1000m	Serie	Transito	75	1000
45	Vs_t_75_3000m	Serie	Transito	75	3000
46	Vs_t_75_5000m	Serie	Transito	75	5000
47	Vs_t_75_7500m	Serie	Transito	75	7500
48	Vs_t_75_10000m	Serie	Transito	75	10000
49	Vs_c_75_100m	Serie	Cattura	75	100
50	Vs_c_75_200m	Serie	Cattura	75	200
51	Vs_c_75_500m	Serie	Cattura	75	500
52	Vs_c_75_1000m	Serie	Cattura	75	1000
53	Vs_c_75_3000m	Serie	Cattura	75	3000
54	Vs_c_75_5000m	Serie	Cattura	75	5000
55	Vs_c_75_7500m	Serie	Cattura	75	7500
56	Vs_c_75_10000m	Serie	Cattura	75	10000
57	Vs_t_100_100m	Serie	Transito	100	100
58	Vs_t_100_200m	Serie	Transito	100	200
59	Vs_t_100_500m	Serie	Transito	100	500
60	Vs_t_100_1000m	Serie	Transito	100	1000
61	Vs_t_100_3000m	Serie	Transito	100	3000
62	Vs_t_100_5000m	Serie	Transito	100	5000
63	Vs_t_100_7500m	Serie	Transito	100	7500
64	Vs_t_100_10000m	Serie	Transito	100	10000

65	Vs_c_100_100m	Serie	Cattura	100	100
66	Vs_c_100_200m	Serie	Cattura	100	200
67	Vs_c_100_500m	Serie	Cattura	100	500
68	Vs_c_100_1000m	Serie	Cattura	100	1000
69	Vs_c_100_3000m	Serie	Cattura	100	3000
70	Vs_c_100_5000m	Serie	Cattura	100	5000
71	Vs_c_100_7500m	Serie	Cattura	100	7500
72	Vs_c_100_10000m	Serie	Cattura	100	10000
73	Vu_t_25_100m	Unica	transito	25	100
74	Vu_t_25_200m	Unica	transito	25	200
75	Vu_t_25_500m	Unica	transito	25	500
76	Vu_t_25_1000m	Unica	transito	25	1000
77	Vu_t_25_3000m	Unica	transito	25	3000
78	Vu_t_25_5000m	Unica	transito	25	5000
79	Vu_t_25_7500m	Unica	transito	25	7500
80	Vu_t_25_10000m	Unica	transito	25	10000
81	Vu_c_25_100m	Unica	Cattura	25	100
82	Vu_c_25_200m	Unica	Cattura	25	200
83	Vu_c_25_500m	Unica	Cattura	25	500
84	Vu_c_25_1000m	Unica	Cattura	25	1000
85	Vu_c_25_3000m	Unica	Cattura	25	3000
86	Vu_c_25_5000m	Unica	Cattura	25	5000
87	Vu_c_25_7500m	Unica	Cattura	25	7500
88	Vu_c_25_10000m	Unica	Cattura	25	10000
89	Vu_t_50_100m	Unica	transito	50	100
90	Vu_t_50_200m	Unica	transito	50	200
91	Vu_t_50_500m	Unica	transito	50	500

92	Vu_t_50_1000m	Unica	transito	50	1000
93	Vu_t_50_3000m	Unica	transito	50	3000
94	Vu_t_50_5000m	Unica	transito	50	5000
95	Vu_t_50_7500m	Unica	transito	50	7500
96	Vu_t_50_10000m	Unica	transito	50	10000
97	Vu_c_50_100m	Unica	Cattura	50	100
98	Vu_c_50_200m	Unica	Cattura	50	200
99	Vu_c_50_500m	Unica	Cattura	50	500
100	Vu_c_50_1000m	Unica	Cattura	50	1000
101	Vu_c_50_3000m	Unica	Cattura	50	3000
102	Vu_c_50_5000m	Unica	Cattura	50	5000
103	Vu_c_50_7500m	Unica	Cattura	50	7500
104	Vu_c_50_10000m	Unica	Cattura	50	10000
105	Vu_t_75_100m	Unica	transito	75	100
106	Vu_t_75_200m	Unica	transito	75	200
107	Vu_t_75_500m	Unica	transito	75	500
108	Vu_t_75_1000m	Unica	transito	75	1000
109	Vu_t_75_3000m	Unica	transito	75	3000
110	Vu_t_75_5000m	Unica	transito	75	5000
111	Vu_t_75_7500m	Unica	transito	75	7500
112	Vu_t_75_10000m	Unica	transito	75	10000
113	Vu_c_75_100m	Unica	Cattura	75	100
114	Vu_c_75_200m	Unica	Cattura	75	200
115	Vu_c_75_500m	Unica	Cattura	75	500
116	Vu_c_75_1000m	Unica	Cattura	75	1000
117	Vu_c_75_3000m	Unica	Cattura	75	3000
118	Vu_c_75_5000m	Unica	Cattura	75	5000

119	Vu_c_75_7500m	Unica	Cattura	75	7500
120	Vu_c_75_10000m	Unica	Cattura	75	10000
121	Vu_t_100_100m	Unica	transito	100	100
122	Vu_t_100_200m	Unica	transito	100	200
123	Vu_t_100_500m	Unica	transito	100	500
124	Vu_t_100_1000m	Unica	transito	100	1000
125	Vu_t_100_3000m	Unica	transito	100	3000
126	Vu_t_100_5000m	Unica	transito	100	5000
127	Vu_t_100_7500m	Unica	transito	100	7500
128	Vu_t_100_10000m	Unica	transito	100	10000
129	Vu_c_100_100m	Unica	Cattura	100	100
130	Vu_c_100_200m	Unica	Cattura	100	200
131	Vu_c_100_500m	Unica	Cattura	100	500
132	Vu_c_100_1000m	Unica	Cattura	100	1000
133	Vu_c_100_3000m	Unica	Cattura	100	3000
134	Vu_c_100_5000m	Unica	Cattura	100	5000
135	Vu_c_100_7500m	Unica	Cattura	100	7500
136	Vu_c_100_10000m	Unica	Cattura	100	10000

CAPITOLO 4

ANALISI DEI RISULTATI

Vengono riportati in seguito i risultati ottenuti e le considerazioni fatte per ciascuna tipologia di rete e di vasca. Si prenderanno in esame i volumi scaricati specifici e le masse scaricate specifiche totali ai ricettori.

Tale analisi verrà svolta attraverso tre criteri: l'influenza della distanza dei bacini lungo il collettore sui volumi e sulle masse scaricate per ogni tipo di rete e vasca; l'influenza della grandezza delle vasche sui volumi scaricati e confronto dei risultati ottenuti con quelli presenti in letteratura; confronto tra vasche di transito e di cattura sulle masse scaricate totali e relativa efficacia dei due sistemi.

4.1 Influenza della distanza sui volumi e le masse

Si prendono in considerazione i tre modelli di rete visti in precedenza, facendo variare la lunghezza del collettore di collegamento tra le immissioni dei due bacini proposti. Come detto precedentemente, le distanze considerate variano tra i 100m e 10000m, oltre la quale difficilmente si trovano nella realtà reti con collegamenti così distanziati.

Per quanto riguarda i volumi scaricati, vengono proposti e analizzati i risultati delle vasche in transito, avendo un comportamento analogo in termini di volumi tratti, a meno di piccole differenze presenti a causa del tempo di chiusura e di apertura delle paratoie. Per questa ragione la distanza influisce esattamente nello stesso modo sui volumi per entrambe le tipologie di vasche. Ciò è anche scontato a causa dell'inizio dello scarico nel momento di riempimento della vasca: in pratica cambiano gli organi di scarico del volume, ma non cambiano i volumi invasati e le portate limite in gioco.

Per quanto riguarda invece le masse scaricate occorre effettuare un'analisi separata dei due sistemi, per la diversità dei fenomeni in gioco che determinano lo scarico di inquinanti al ricettore.

4.1.1 Influenza della distanza sui volumi scaricati

Come da **Figura 4.1** vengono proposti i risultati ottenuti per le 3 tipologie di rete al variare del parametro L. Come ovvio la lunghezza del collettore di riferimento non costituisce significato nel momento in cui ci si trova in una rete con vasche in parallelo, ma per rigore di analisi vengono proposti cmq i risultati uguali per tutte le distanze degli scarichi di volume provenienti da questa tipologia.

Si ribadisce che l'influenza di L sui due tipi di vasche di cattura o di transito è influente in quanto la progettazione dei due sistemi è stata fatta tale da rendere equivalente il volume scaricato al ricettore.

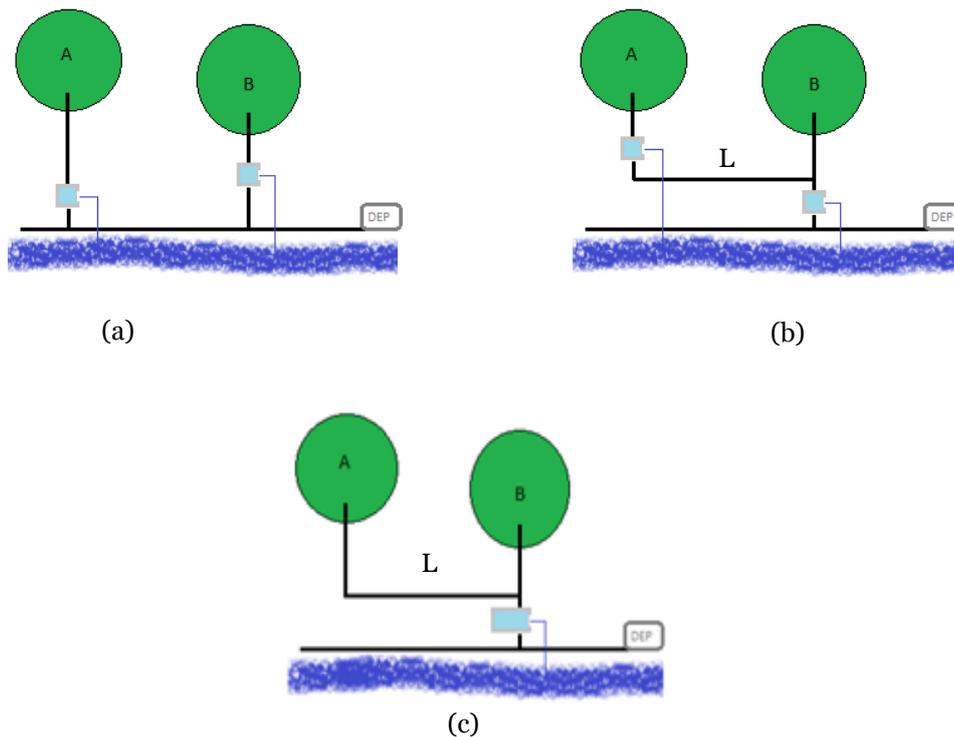


Figura 4.1 - tipologie di rete considerate (a) vasche in parallelo (b) vasche in serie (c) vasca unica; L rappresenta la lunghezza del collettore che unisce le due immissioni da A e B

In seguito i grafici dei risultati ottenuti dalle simulazioni proposte. Per i risultati numerici si fa riferimento all'appendice in coda all'elaborato. Si ricorda che i volumi scaricati sono annui, riferiti alla serie di eventi appositamente scelta. Ciò serve per verificare su pioggia reale il funzionamento dei sistemi lungo un anno reale di azione, riferita su eventi casuali nella forma e nelle dimensioni.

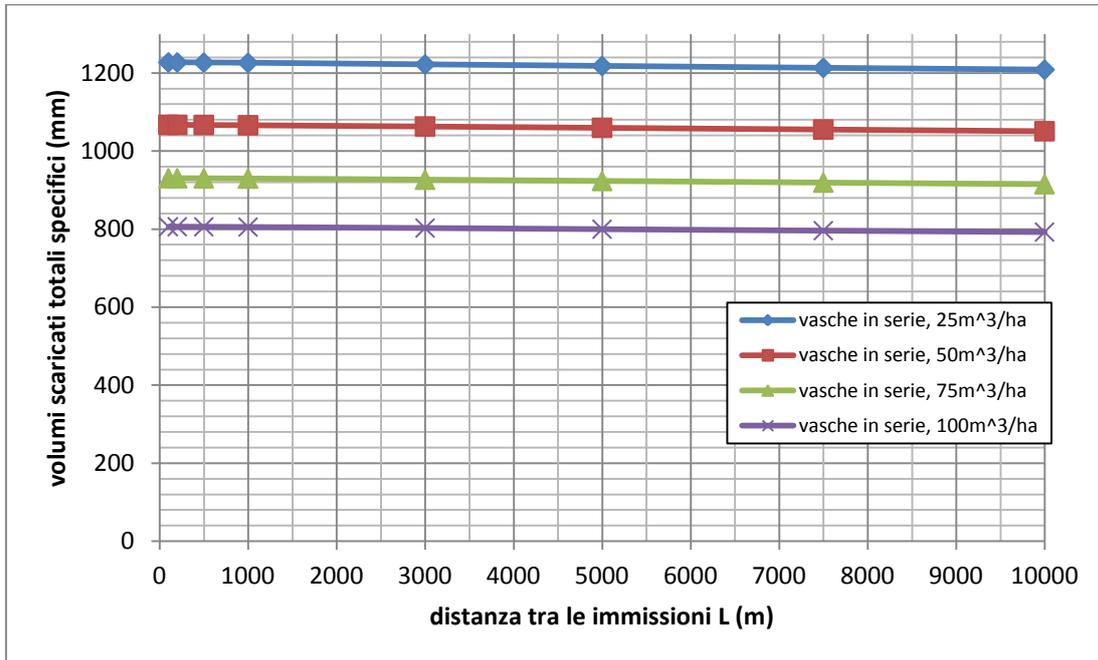


Grafico 4.1 - volumi totali specifici scaricati da VASCHE IN SERIE al variare della distanza tra i bacini

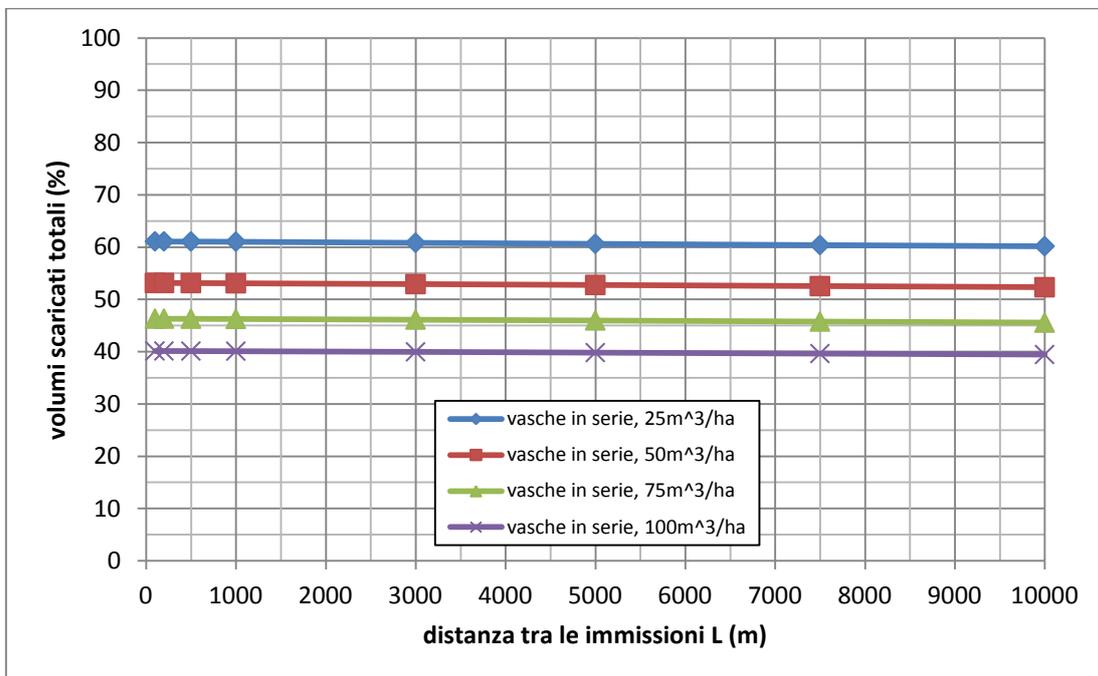


Grafico 4.2 – volumi % scaricati da vasche in serie al variare della distanza tra i bacini

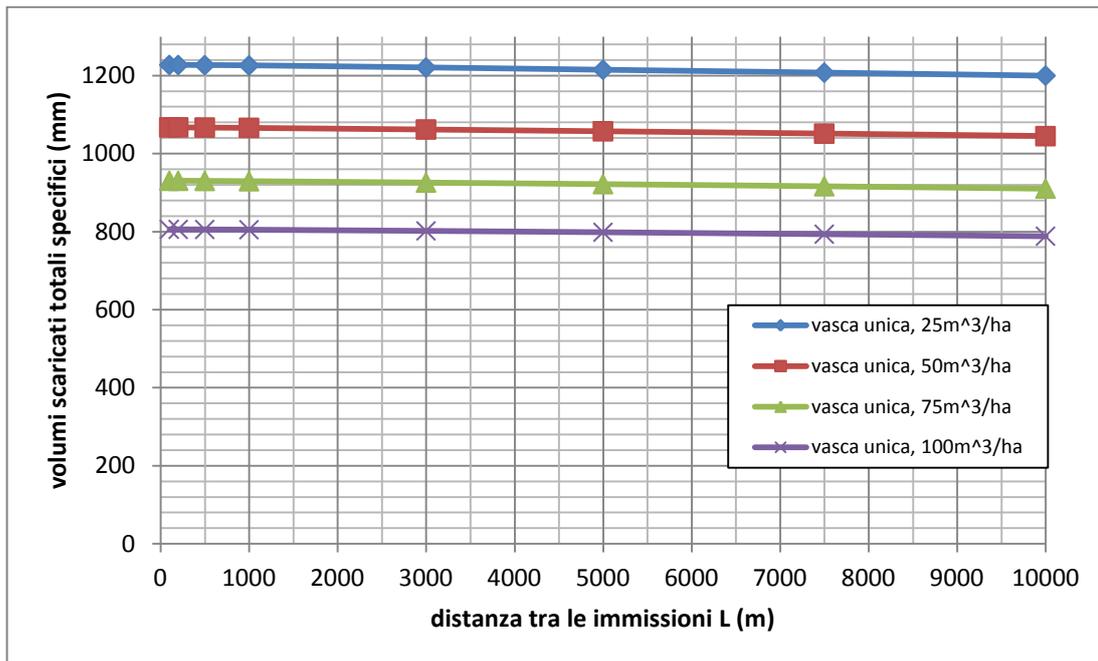


Grafico 4.3 - Volumi totali specifici scaricati da VASCHE UNICHE al variare della distanza tra i bacini

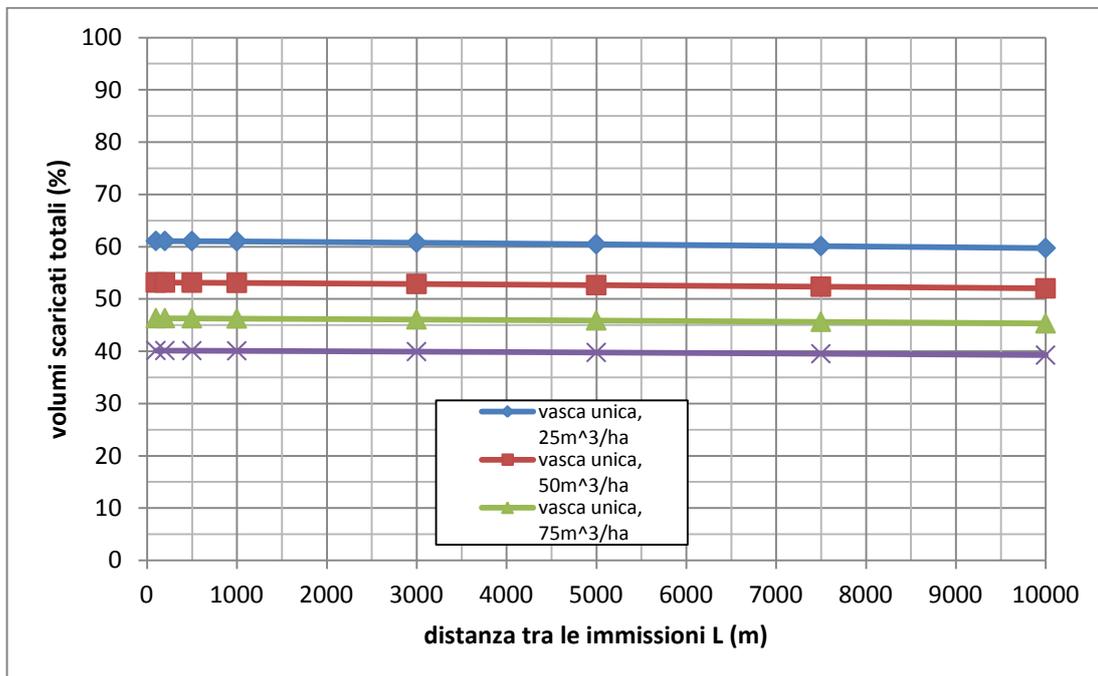


Grafico 4.4 - volumi % scaricati da VASCHE UNICHE al variare della distanza tra i bacini

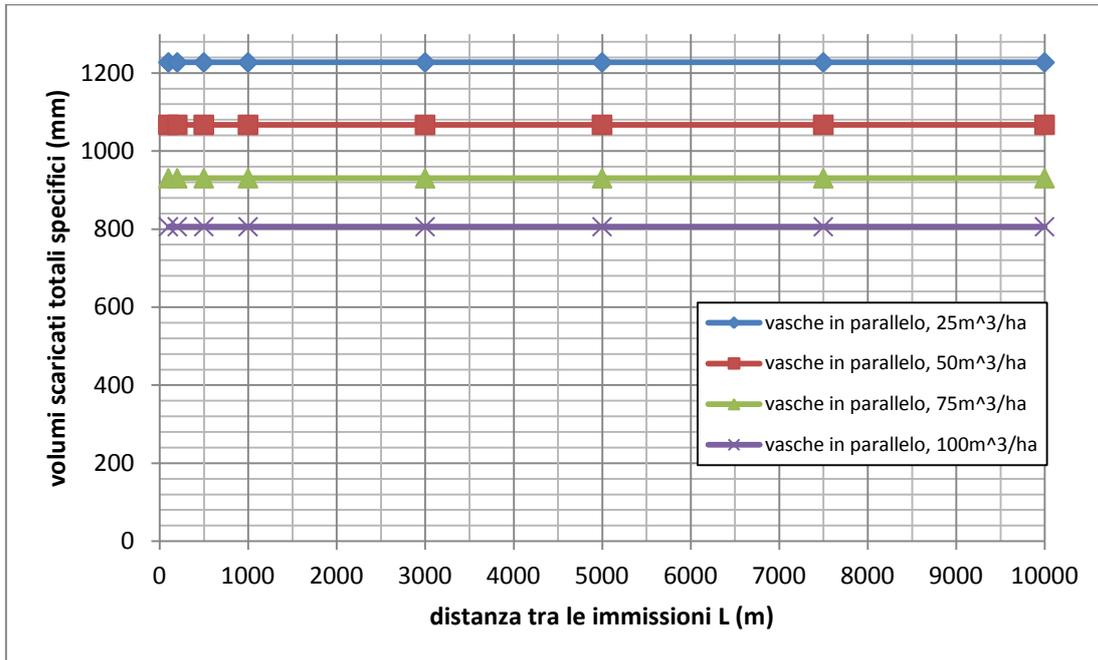


Grafico 4.5 - volumi scaricati totali specifici di VASCHE IN PARALLELO al variare della distanza tra i bacini

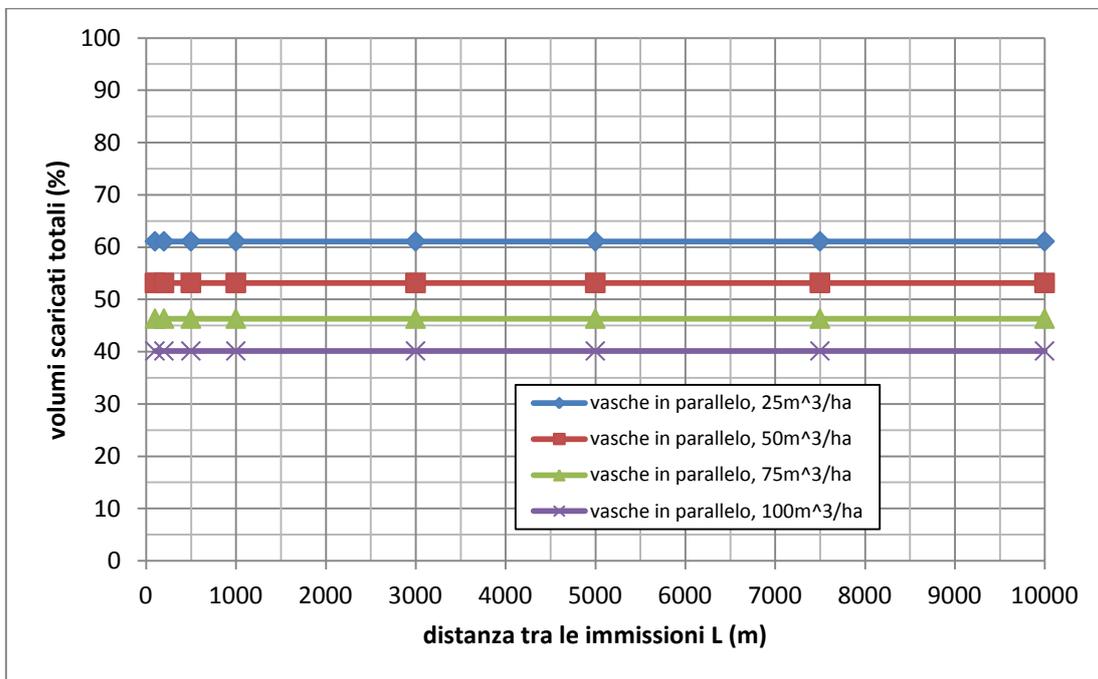


Grafico 4.6 – volumi % scaricati da VASCHE IN PARALLELO al variare della distanza tra i bacini

Come si può notare l'effetto della distanza sui volumi scaricati risulta essere **assolutamente molto basso** seppur presente. Infatti la prima considerazione da porre è che la distanza offre una diminuzione dei volumi scaricati al suo aumentare per le tipologie di vasche in serie e uniche.

Per definire al meglio tale diminuzione, se pur minima, bisogna innanzi tutto analizzare ogni tipologia di rete nel dettaglio, verificando per tutti i casi quali siano le cause del fenomeno.

Si propongono i confronti delle tre tipologie di rete per le quattro dimensioni di vasca con un dettaglio maggiore nell'intorno dei volumi stessi scaricati, per mostrare l'andamento qualitativo dell'effetto di L in modo più semplice, essendo questa variazione di volume molto bassa.

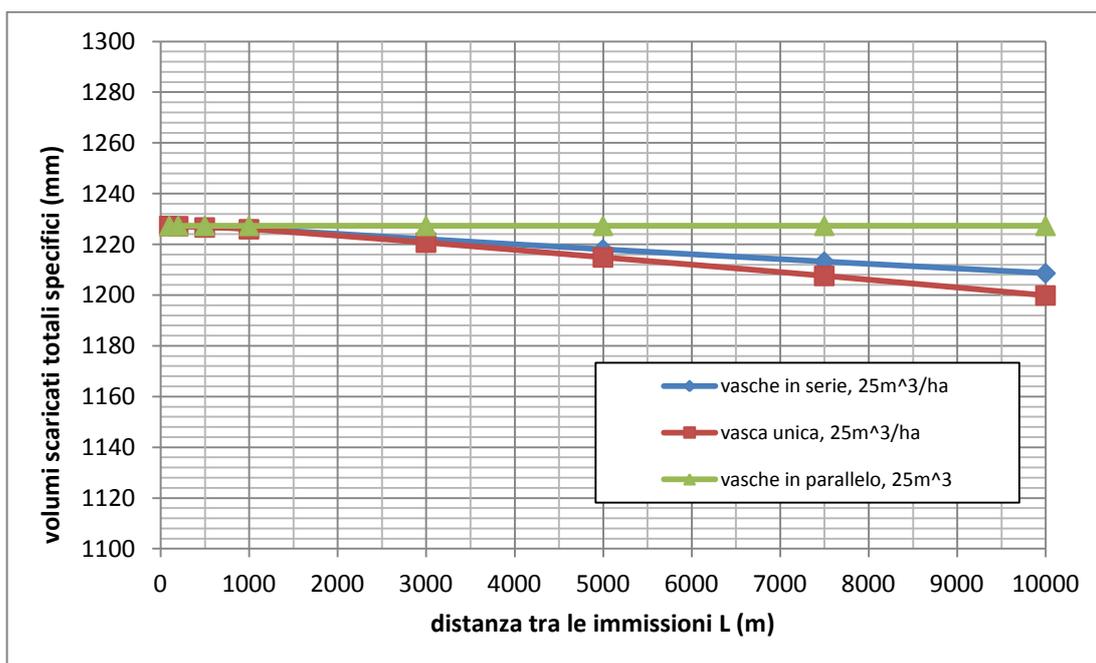


Grafico 4.7 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da 25 m³/ha_{imp})

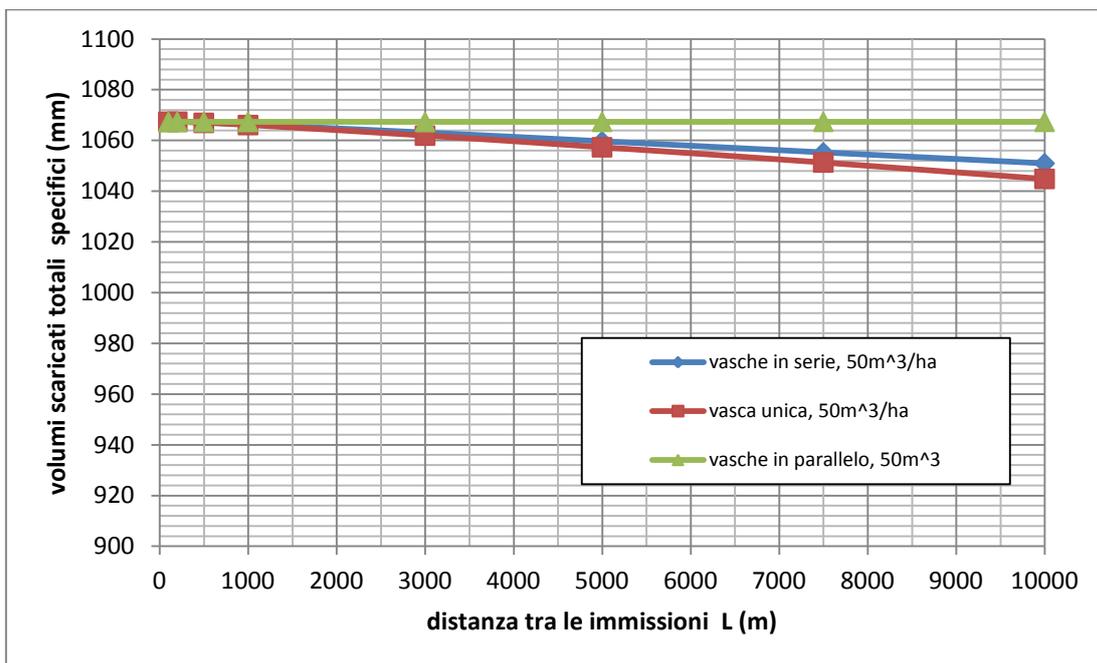


Grafico 4.8 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{imp}$)

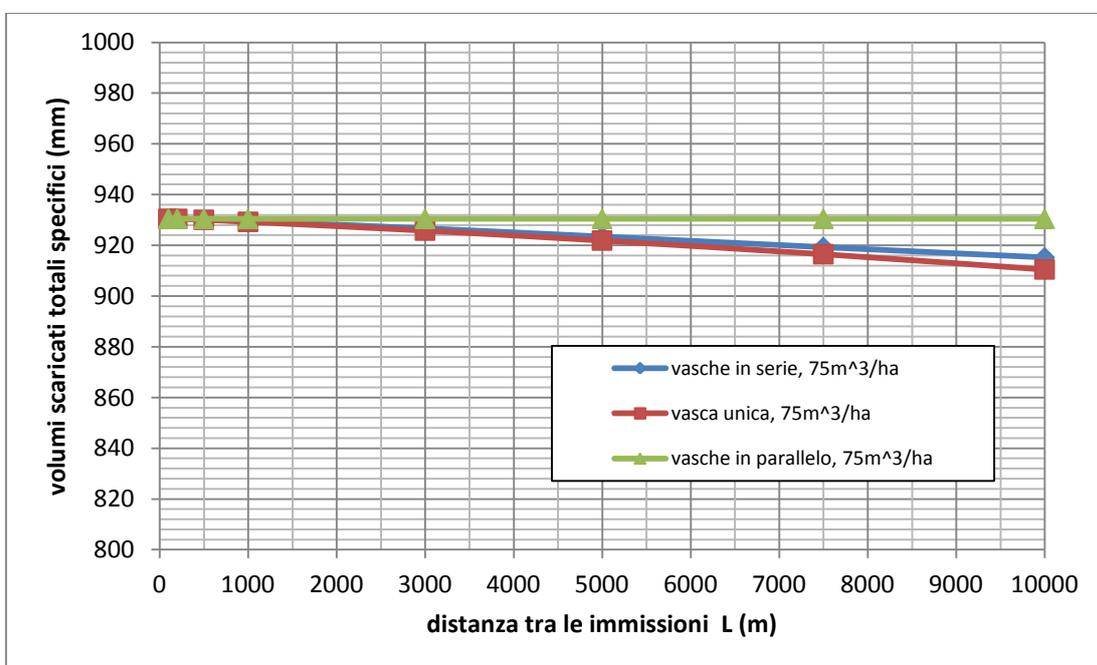


Grafico 4.9 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da $75 \text{ m}^3/\text{ha}_{imp}$)

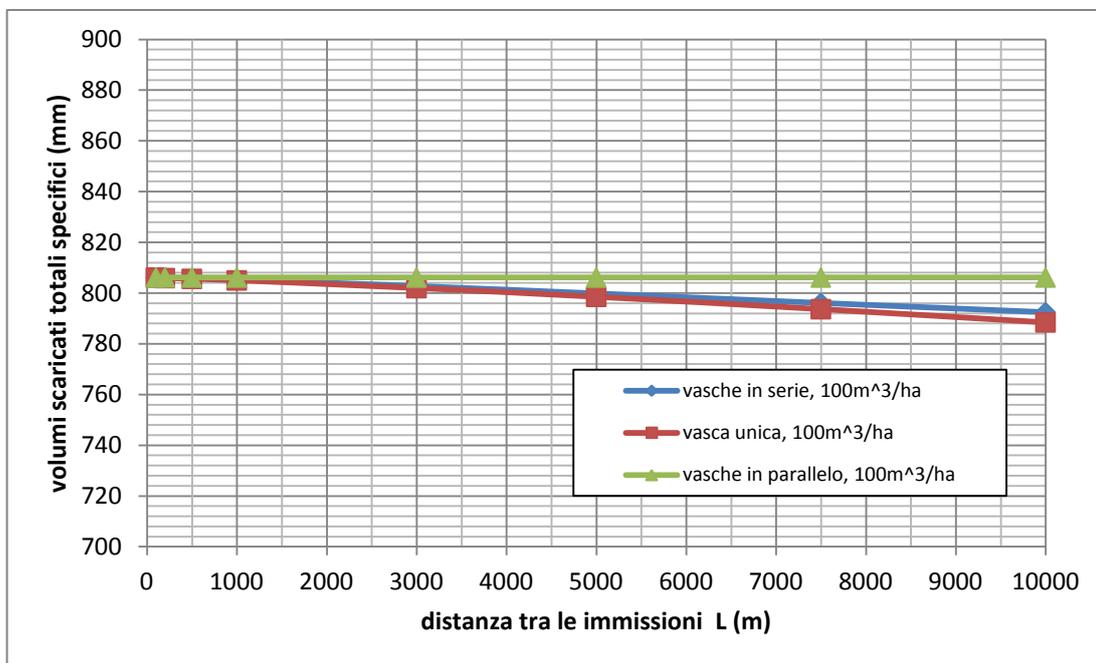


Grafico 4.10 - volumi scaricati dalle tre tipologie di rete in funzione della distanza tra i bacini (vasche da 100 m³/ha_{imp})

Sempre considerando come sia bassa l'influenza della distanza L, si può verificare come la rete con vasche in parallelo scarichi maggiormente rispetto alle altre due tipologie, e la vasca unica è quella che presenta un maggior beneficio in termini di volume scaricato lungo L.

Per distanze brevi, fino ai 1000m, l'effetto di L risulta per tutte le tipologie pressoché inesistente, e sia le vasche in serie che uniche scaricano il medesimo quantitativo delle vasche in parallelo. Ciò induce a considerare i sistemi del tutto equivalenti per brevi distanze per quanto riguarda i volumi.

Ora vediamo nel dettaglio per le reti con vasche in serie e uniche l'influenza di L sugli scarichi, tenendo come riferimento concettuale lo scarico delle vasche in parallelo, dipendendo solo ed esclusivamente dalla portata in arrivo del proprio bacino. In-



fatti il volume totale scaricato rappresenta la somma degli scarichi delle due vasche che sono logicamente identiche, afferendo a due bacini di egual caratteristiche.

Volumi scaricati da vasche in serie

Per descrivere il meccanismo di influenza di L sugli scarichi prendiamo come riferimento una dimensione qualsiasi della vasca, in quanto come si può notare dai grafici 4.4 a 4.7 l'andamento qualitativo in funzione della distanza è lo stesso, mentre la differenza dei volumi scaricati dipende semplicemente dalla maggiore o minore capacità di invaso di una vasca. Quello che emerge però è che all'aumentare della dimensione della vasca l'influenza, già bassa, di L si riduce maggiormente.

Per semplicità imporreemo con la dicitura (a) i risultati provenienti da vasche in parallelo e (b) quelli relativi a vasche in serie. In **Figura 4.2** il riassunto di tutte le diciture.

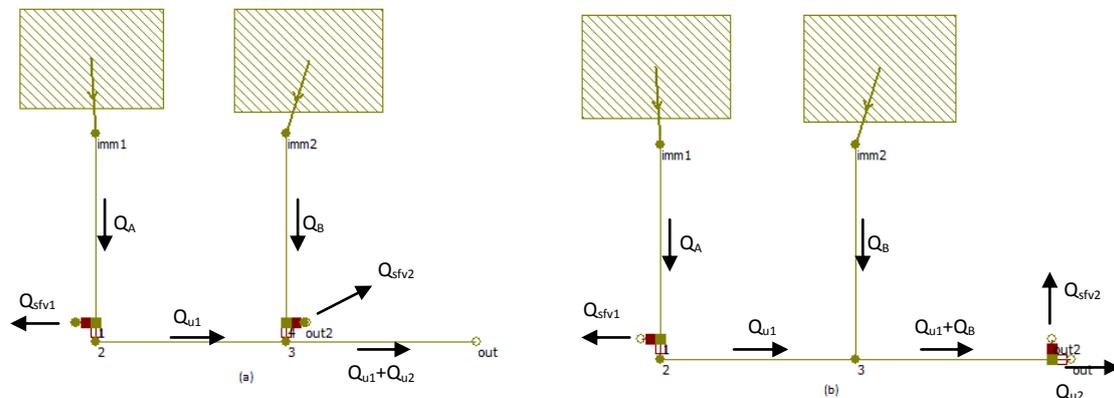


Figura 4.2 - (a) vasche in parallelo (b) vasche in serie

Per quanto riguarda lo scarico totale Q_{sf} è pari alla somma di Q_{sfv1} e Q_{sfv2} , rispettivamente i volumi scaricati annui dalla prima vasca V1 e dalla seconda vasca V2.

Per reti in parallelo $Q_{sfv1}(a)$ è uguale a $Q_{sfv2}(a)$, mentre per reti in serie sono leggermente differenti al variare di L : $Q_{sfv1}(b)$ rimane costante e pari a $Q_{sfv1}(a)$, mentre $Q_{sfv2}(b)$ diminuirà all'aumentare di L . (**Grafico 4.12**)

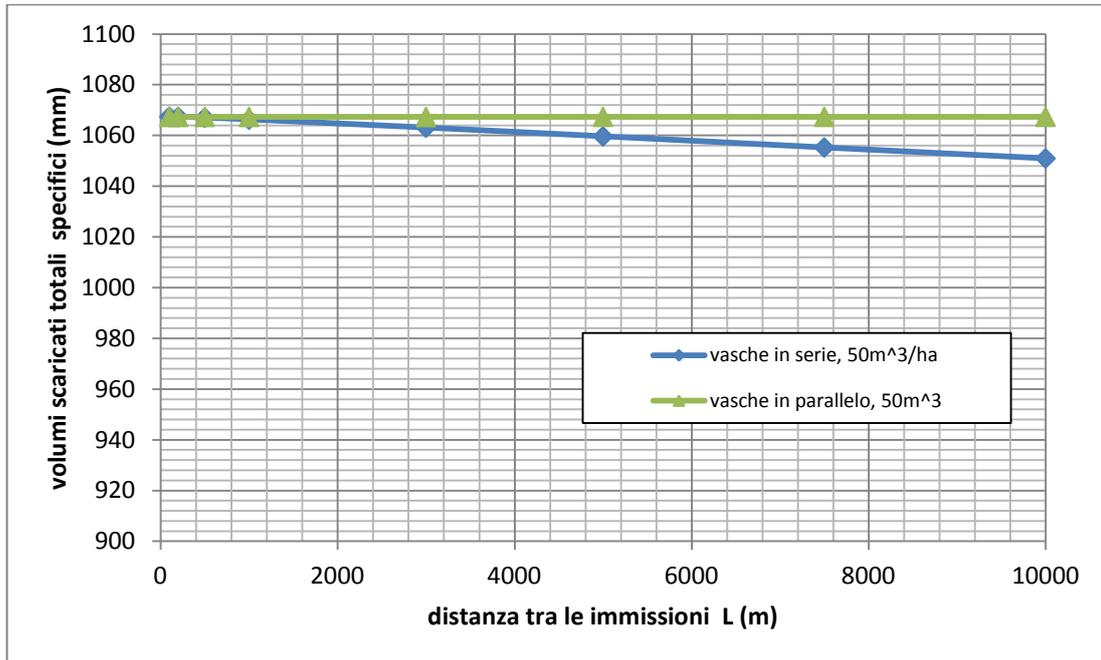


Grafico 4.11 - volumi scaricati da vasche in serie e parallele in funzione della distanza tra i bacini

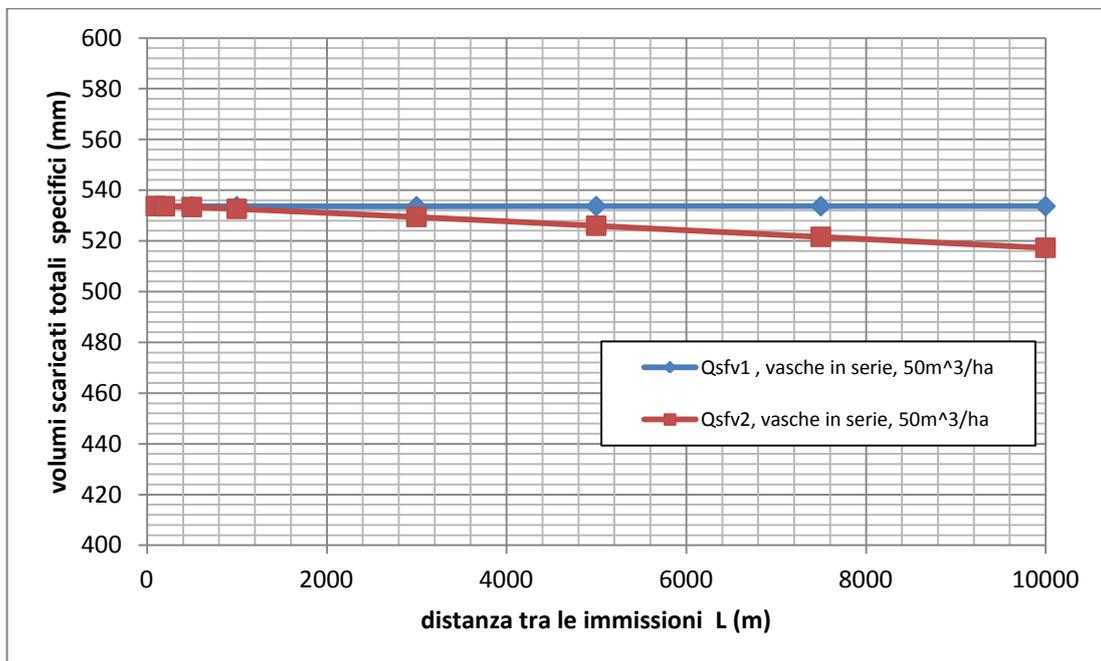


Grafico 4.12 - volumi scaricati dalle due vasche V1 e V2 in reti in serie

La vasca V1 scaricherà sempre lo stesso quantitativo di volume in quanto è totalmente indipendente rispetto a ciò che ha a valle. Il suo scarico dipende semplicemente dall'idrogramma uscente dal proprio bacino di riferimento e dalla propria grandezza di invaso. Essa è totalmente equivalente alla vasca V1 di un sistema posto in parallelo, e scarica esattamente lo stesso quantitativo di volume.

	$Q_{sfv1} (b) (mm)$	$Q_{sfv2} (b) (mm)$	$Q_{sfv1} (a) (mm)$	$Q_{sfv1} (a) (mm)$
100m	533,666	533,737	533,666	533,666
200m	533,664	533,663	533,664	533,664
500m	533,666	533,352	533,666	533,666
1000m	533,663	532,620	533,663	533,663
3000m	533,652	529,418	533,652	533,652
5000m	533,679	525,961	533,679	533,679
7500m	533,683	521,585	533,683	533,683
10000m	533,685	517,281	533,685	533,685

Tabella 4.1 - volumi scaricati da ogni vasca nelle due tipologie di rete (a) e (b)

La vasca V2 invece, produce una diminuzione di scarico, causata dall'effetto della traslazione data dalla distanza L e per la portata in uscita $Q_{u2} (b)$ maggiore di $Q_{u1} (b)$ riferita alla superficie di tutti i bacini a monte di essa. In tabella sono riassunti i valori e le grandezze relative all'ettaro:

	Vasche in serie	Vasche in parallele
Dimensione V1	50 m ³ /ha	50 m ³ /ha
Q_{u1}	1 l/s ha	1 l/s ha
Dimensione V2	50 m ³ /ha	50 m ³ /ha
Q_{u2}	2 l/s ha	1 l/s ha

Tabella 4.2 - parametri di portata limite e di volume vasca per reti in serie (caso 50m³/ha_{imp})

Come accennato sopra, la diminuzione del volume scaricato da parte della V2 è causato principalmente dall'effetto di traslazione della portata Q_{u1} rispetto alla portata Q_B in arrivo dal bacino più a valle del sistema. Il volume in ingresso nella vasca V2 sarà pari quindi alla somma delle due portate rispettivamente in arrivo dalla vasca e dal bacino. La somma delle due portate causerà un idrogramma in ingresso in V2 differente a seconda della distanza L considerata. Inoltre va ricordato, come detto nel capitolo 3, che Q_A e Q_B arrivano il primo nella vasca V2 e il secondo al collettore L nello stesso tempo e modo. L'unico ramo di traslazione risulta essere quindi L .

In seguito vengono visualizzati gli ideogrammi in ingresso alla vasca V2 lungo 3 distanze caratteristiche: 100m, 3000m e 10000m. A tali distanze abbiamo la presenza di casi differenti di traslazione delle portate. Gli ideogrammi proposti sono assolutamente qualitativi, in quanto se si fossero utilizzati quelli reali, la bassa portata in uscita rispetto a quella in entrata non avrebbe fornito una chiara idea della problematica, e inoltre, risulta essere impossibile analizzare il fenomeno per tutte le serie di eventi impiegati in un anno.

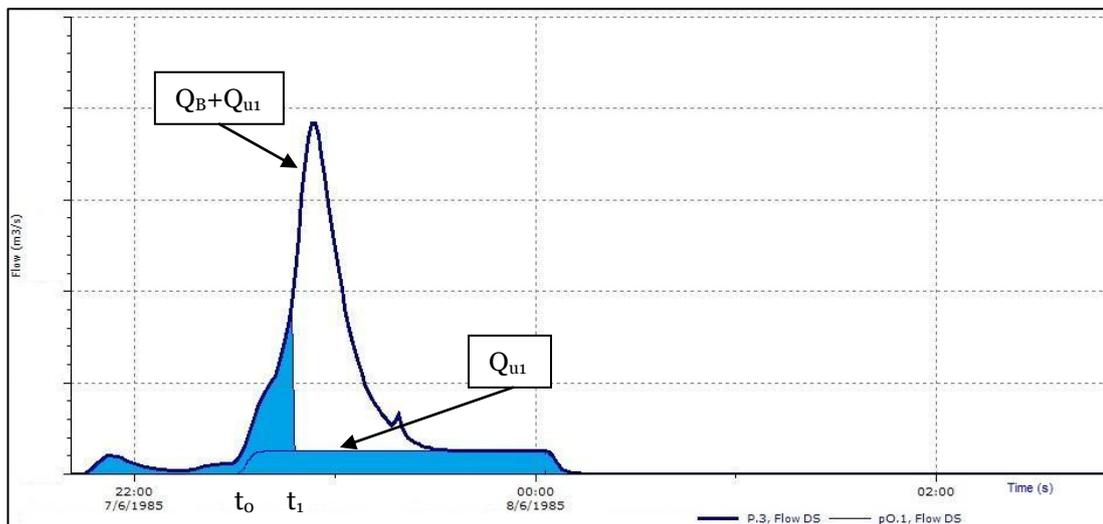


Figura 4.3 - portate entranti in V2 per L 100 m

In **Figura 4.3** si evince come la portata q_{u1} proveniente dalla vasca V1 sia di poco traslata rispetto a Q_A . In questa situazione l'idrogramma in ingresso in V2, è più o meno la somma di Q_B e Q_{u1} e quest'ultimo arriva praticamente sovrapposto a Q_B . La vasca porta a depurazione il volume invasato fino a riempimento (istante t_1) dopo di che incomincia lo sfioro del volume sotteso da Q_B+Q_{u1} rappresentato in bianco. Avendo però la V2 una capacità di uscita pari a 2 volte Q_{u1} (2 l/s ha_{imp}) se vediamo idealmente separate le due portate in ingresso in essa, la Q_{u2} è in grado di portare a depurazione interamente la Q_{u1} (che è esattamente la sua metà: 1 l/s ha) e ripristina la vasca in funzione di Q_B nella medesima velocità di V1 (avendo a disposizione idealmente ancora 1 l/s ha_{imp} di portata). Per questa ragione il volume sfiorato per distanze entro i 1000m da V2 è più o meno lo stesso di V1. Si può in definitiva sostenere che fino a quando L determina traslazioni di Q_{u1} tale che t_0 (tempo di arrivo della portata Q_{u1}) sia contenuto prima di t_1 (invaso totale della vasca), il volume scaricato da V2 risulterà pari a quello di V1. All'aumentare di L, invece, t_0 è sempre più distante dall'istante di arrivo della portata Q_B come da figura sottostante:

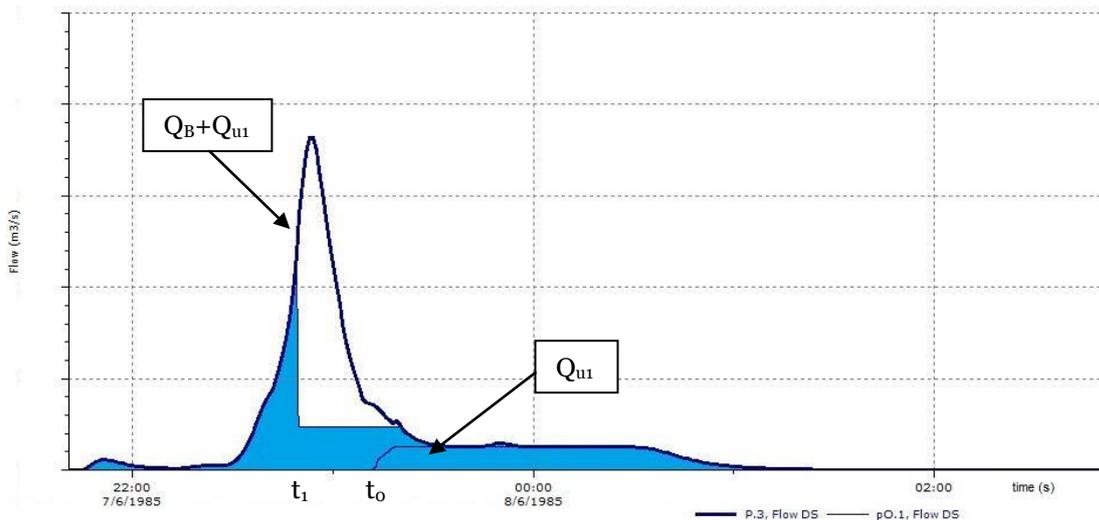


Figura 4.4 - portata entrante in V2 con L 3000 m

In questo caso la vasca per un tempo sempre maggiore, risulterà influenzata solo dalla portata Q_B proveniente dal bacino più a valle. In tal caso la portata in uscita della V2 è maggiore rispetto a quella relativa a V1, aumentando la capacità di invaso e diminuendo lo sfioro rispetto alla vasca V1.

Infatti l'idrogramma in ingresso in V1 e V2 risulta essere per un lungo periodo uguale, ma la portata uscente nella vasca V2, Q_{u2} , è doppia rispetto a Q_{u1} : all'aumentare di L, aumenta il tempo in cui i due idrogrammi sono uguali con un aumento in V2 della capacità di invaso rispetto a V1, in quanto sempre meno influenzata da Q_{u1} in arrivo da quest'ultima.

Intuitivamente quando t_0 risulta essere traslata oltre la fine di Q_B , abbiamo una condizione limite in cui l'intera portata Q_B agisce sulla vasca con portata di 2 l/s h_{imp} e la portata in arrivo dalla vasca di monte non influenza più lo scarico di volume in quanto inferiore a Q_{u2} .

Si intuisce come la portata limite sia la causa dell'efficacia di L sui volumi scaricati. Infatti aumentando tale condizione, le vasche possiedono una miglior capacità di ripristino, e quindi di invaso, facendo diminuire in modo molto maggiore il volume scaricato in funzione di L. Con una portata limite così bassa rispetto alla dimensione degli eventi che producono sfioro, l'effetto di L su vasche in serie risulta del tutto bassa. Risulta essere inoltre interessante verificare come il modello di analisi qui sopra scelta sia coerente con la serie di piogge variegata presenti nel corso dell'intero anno. Si può quindi affermare che tale comportamento studiato per questo singolo dato di pioggia descriva il comportamento di tutti gli eventi considerati.

Volumi scaricati da vasche uniche

Si analizza in modo del tutto simile al caso precedente il fenomeno della diminuzione del volume scaricato in funzione di L attraverso lo studio di un caso portato come esempio. Infatti anche in questo caso si può notare come qualitativamente l'azione di L sui volumi sfiorati sia simile per tutte le dimensioni delle vasche.

Anche in questo caso il volume scaricato dalle vasche in parallelo rappresenta un termine di paragone concettuale per meglio spiegare i fenomeni in gioco.

In seguito vengono definite le seguenti diciture: con (a) ci si riferisce a reti in parallelo, con (c) a reti con vasca unica.

Per quanto riguarda la dicitura delle vasche in parallelo si utilizza la stessa vista precedentemente, mentre per quella con vasca unica, si mostra con Q_u la portata limite dell'unica vasca V , con Q_{sf} il volume sfiorato da V . Ovviamente Q_A e Q_B rappresentano rispettivamente le portate in arrivo in vasca dal bacino di monte e di valle.

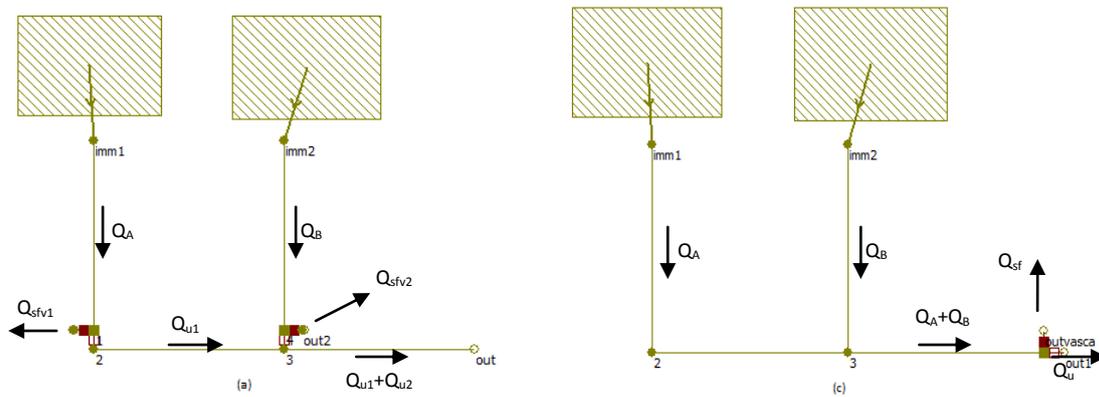


Figura 4.5 - (a) vasche in parallelo; (c) vasche in serie

Si riporta il dettaglio dei volumi scaricati da vasche in parallelo e uniche:

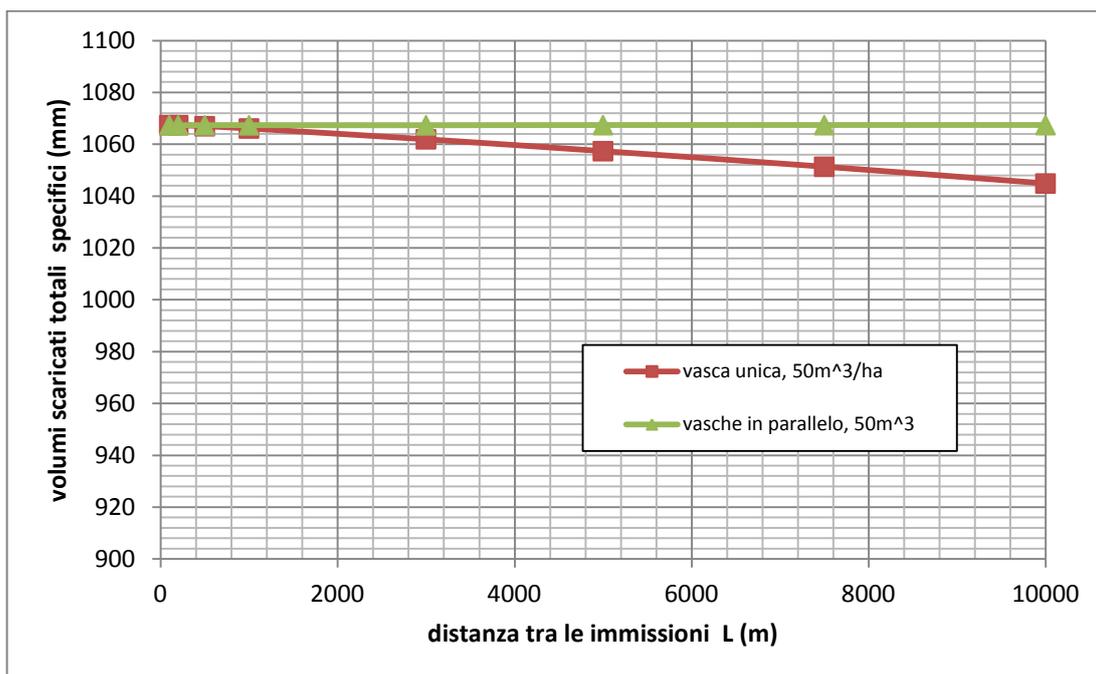


Grafico 4.13 - volumi scaricati in funzione della distanza tra i bacini da vasche uniche e vasche in parallelo (50 m³/ha_{imp})

Si evidenzia come fino a 1000m l'influenza della distanza sia praticamente nulla e risulta essere più accentuata con la distanza.

	Q_{sf} (c) (mm)	$Q_{sfv1}+Q_{sfv2}$ (a) (mm)
100m	1067.390	1067.333
200m	1067.382	1067.328
500m	1066.958	1067.333
1000m	1066.093	1067.326
3000m	1061.923	1067.304
5000m	1057.334	1067.359
7500m	1051.323	1067.366
10000m	1044.853	1067.370

Tabella 4.3 - volumi scaricati dalle due tipologie di rete: unica (c) e in parallelo (a)

La causa di tale diminuzione di volume in funzione di L, è data dalla forma che assume l'idrogramma in entrata in vasca.

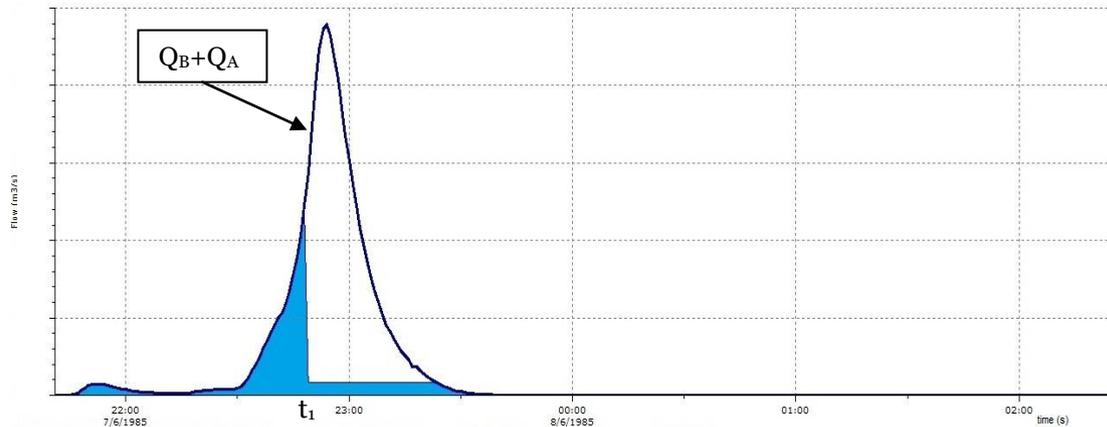


Figura 4.6 - portate in ingresso nella vasca unica con L 100m

Si nota come i due idrogrammi per L piccolo (100m – 1000m) siano quasi del tutto sovrapposti, e l'idrogramma totale $Q_A + Q_B$ risulta essere circa pari al doppio di Q_A e di Q_B quando giungono al collettore L di traslazione. In questo modo, rispetto a due vasche in parallelo con portata limite di 1 l/s ha, la vasca riceve il doppio della portata su di un doppio volume (in questo caso $100 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$) e con una portata Q_u (c) di 2 l/s ha_{imp} , pari a 2 volte quella di una vasca in parallelo. Essendo quindi tutti i parametri raddoppiati, ma per un'unica vasca, il volume scaricato totale di 2 vasche in parallelo e un'unica vasca risulta essere paritario.

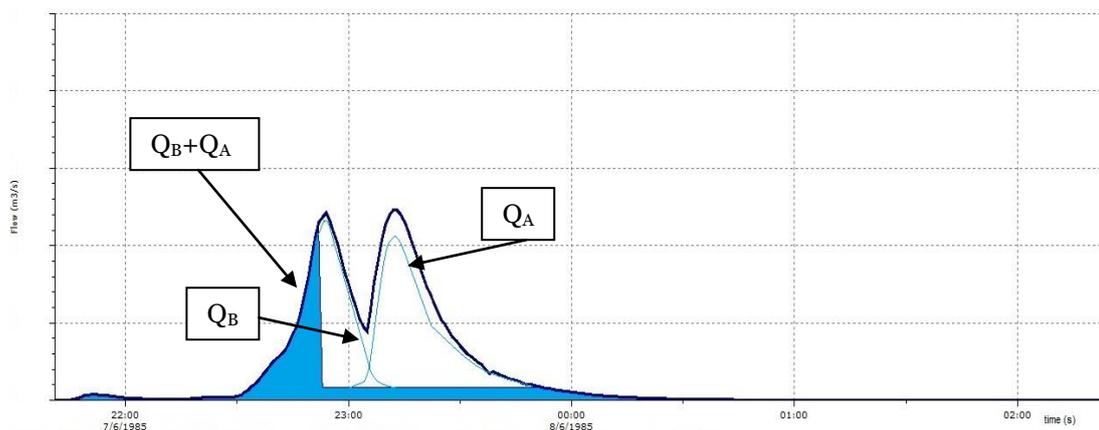


Figura 4.7 - portate in ingresso nella vasca unica con L 3000m

Quando L è tale che le Q_A sia più ritardata rispetto a Q_B , l'effetto di riduzione del volume scaricato è più marcato. Infatti, pur non permettendo alla vasca di ripristinarsi, la portata iniziale in arrivo risulta essere pari a quella di Q_B , che rispetto all'idrogramma visto per i 100m risulta essere molto più attenuata non avendo l'influenza di Q_A . Essendo ben noto che il riempimento della vasca con portata costante in uscita è proporzionale alla portata in ingresso, a parità di portata in uscita ($2 \text{ l/s } ha_{imp}$) tra L_{100m} e L_{3000m} , la vasca posta a 3000m riceve il volume totale in più tempo rispetto al caso di L_{100m} , riempiendosi quindi più lentamente con una maggiore capacità di ripristino data dalla portata limite (essendo nell'unità di tempo una percentuale sempre maggiore del volume in entrata all'aumentare di L).

Si aggiunge che per distanze consistenti, anche l'effetto di laminazione produce un aiuto nella diminuzione degli scarichi. Infatti l'attenuazione dei picchi, ma soprattutto delle code delle portate lungo L , aumenta il volume in entrata in vasca con una portata inferiore a quella limite, non producendo più scarico al ricevitore.

Tale situazione rispetto alle reti con vasche in parallelo risulta provocare un minor scarico, in virtù del fatto che la vasca riceve quasi separatamente le due portate provenienti dai due bacini, ma con un volume doppio e una portata in uscita dop-

pia. Infatti nello specifico la V2 (a) di 50m^3 riceve Q_B con Q_{u2} (a) pari a 100 l/s , nella condizione di vasca unica V (c) di 100m^3 riceve (all'aumentare di L) una quantità che poco si discosta da Q_B soprattutto nel ramo iniziale con Q_u (c) pari a 200 l/s . lo stesso ragionamento può essere effettuato per la portata Q_A per il ramo finale.

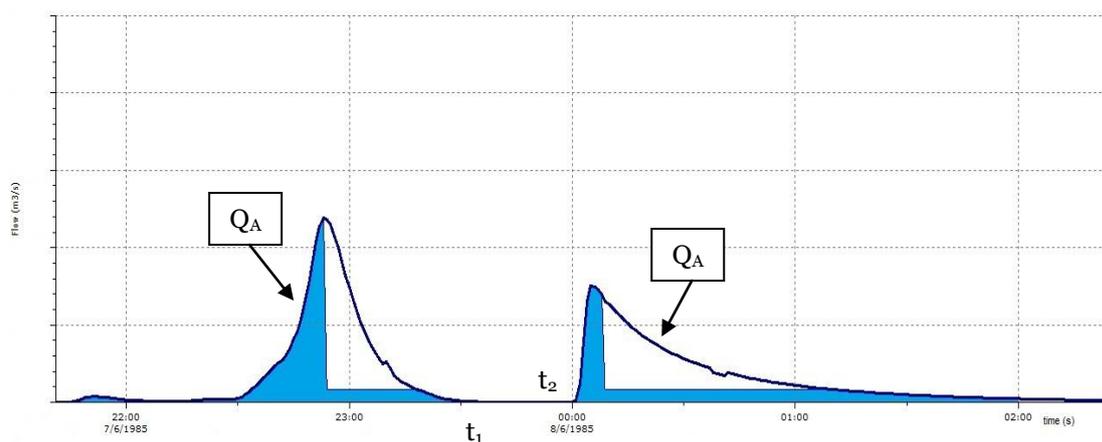


Figura 4.8 - portate in ingresso nella vasca unica con $L\ 10000\text{m}$

Quando L è tale da traslare completamente la portata Q_A da Q_B , la vasca ha inoltre un tempo di ripristino, in cui non arriva portata, potendo così diminuire il livello in vasca. Il tempo di ripristino è la distanza temporale presente tra la fine della portata Q_B e l'inizio della portata Q_A in ingresso nella vasca (tra t_1 e t_2).

In tale situazione i fenomeni in gioco sono principalmente due, e agiscono entrambi sull'influenza della portata in arrivo dal bacino più lontano, quindi Q_A . In primo luogo, all'aumentare della distanza L aumenta il tempo di traslazione tra t_1 e t_2 , ripristinando la vasca in modo crescente con L. In questo modo il volume a disposizione prima del raggiungimento del livello di scarico è sempre maggiore, garantendo quindi volumi ai ricettori sempre più bassi.

Il secondo fenomeno invece, riguarda l'effetto di laminazione delle portate a causa del lungo tragitto effettuato dall'onda di piena lungo L. La laminazione è un processo complesso, le cui variabili sono molte, in cui anche la forma dell'idrogramma assume un ruolo notevole, come visto in [1] (Paoletti, Sanfilippo, Innocenti). A tal proposito è praticamente impossibile riferire per ogni tipo di evento preso in considerazione l'effettivo processo di laminazione e la sua influenza. Per coerenza è stato proposto ad esempio come nelle figure sopra, un caso di portata causata da un evento molto intenso, in cui questo fenomeno era fortemente visualizzabile anche in modo qualitativo. Fatta questa doverosa premessa, si noti come tale fenomeno induca ad un abbassamento del picco ed un allungamento della coda della portata. In seguito viene proposto l'andamento qualitativo di una portata lungo un condotto, per mostrare il meccanismo di laminazione effettuato da un collettore di 10000m. Le misure sono state effettuate a distanze di 250m per i primi 2000m e di 500m per i restanti 8000m. la traslazione nel tempo può essere considerata come la distanza L del collettore essendo essa assolutamente proporzionale con il tempo. Tale fenomeno viene approssimato da InfoWorks attraverso modello parabolico, risolvendo come visto nel capitolo 2 le equazioni di moto vario di De Saint – Venant.

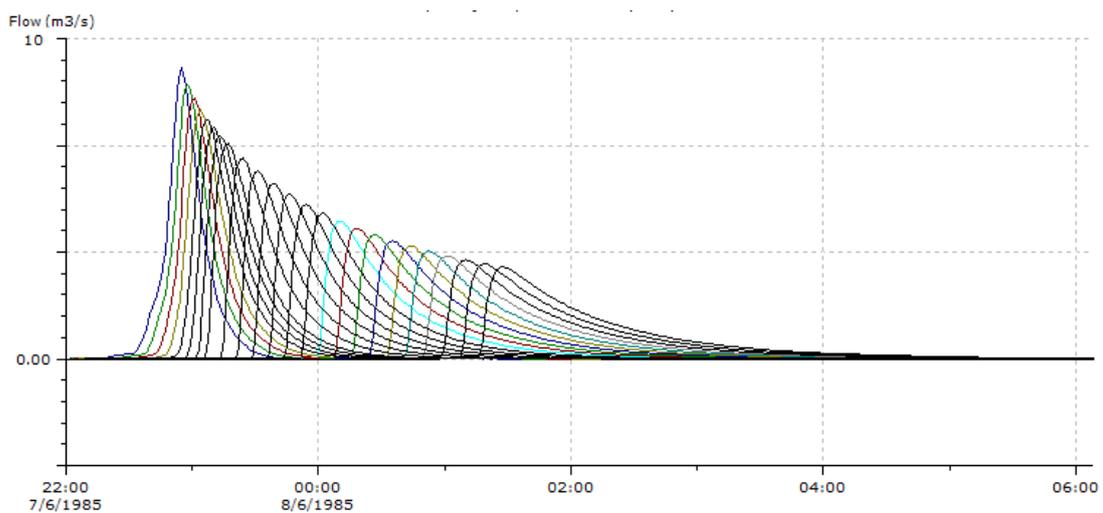


Figura 4.9 - *effetto della laminazione sulle portate lungo un collettore di 10000m*

Quindi a parità di volume totale la Q_A risulta nel complesso attenuata, nonostante raggiunga il proprio picco in meno tempo rispetto ad una portata poco laminata come nel caso di Q_B . Proprio questa attenuazione del picco, ma soprattutto della coda a parità di portata in uscita Q_U produce un sempre maggior tempo, proporzionale con L , in cui la Q_A sia inferiore alla Q_U , aumentando il volume portato a depurazione.

La concomitanza quindi dei due fenomeni (tempo di ripristino e laminazione) fa sì che ci sia un minor scarico da parte della vasca con l'aumento di L . Tale diminuzione risulta essere così bassa proprio perché è molto bassa rispetto alle portate in ingresso la Q_U . Intuitivamente aumentando la portata limite in uscita dalla vasca, aumentano gli effetti di ripristino causati da L , aumentando a loro volta la diminuzione di volume in funzione della distanza tra le immissioni.

Facendo poi un paragone invece tra vasche in serie e uniche, si nota che la distanza ha un maggior effetto sulle seconde. Questo è dovuto al fatto che nel momento della separazione dei due idrogrammi Q_A e Q_B gli effetti che diminuiscono i volumi sfiorati sono di più rispetto alla sola traslazione tra la portata in arrivo dalla prima vasca e quella in arrivo dal bacino a valle del sistema. Inoltre mentre nella condizione in serie la portata Q_A in vasca fa fronte ad un ripristino di 100 l/s, nel caso di vasca unica, quando arriva la portata Q_B separata da Q_A , oltre all'effetto di mitigazione dovuto alla laminazione, si raffronta ad una portata di ripristino di 200 l/s, 2 volte più rapida nel caso di quella in serie.

Anche in questo caso l'analisi dei volumi scaricati per un evento unico di pioggia rispecchia in modo qualitativo lo scarico effettuato per una serie di piogge diversificate presenti in un anno.

4.1.2 Influenza della distanza sulle masse scaricate

Per valutare l'influenza della distanza L sulle masse scaricate al ricevitore nelle tipologie di rete differenti, occorre fare in questo caso una distinzione tra le vasche di transito e quelle di cattura. Se per quanto riguarda i volumi scaricati non vi erano differenze proprio a causa dei modelli utilizzati visti nel capitolo 3, per quanto riguarda le masse le due tipologie di vasche lavorano in modo del tutto differente e analizzato poi successivamente. Tenendo presente le diciture del paragrafo precedente chiameremo con (a-t) e (a-c) reti in parallelo con vasche rispettivamente di transito e di cattura, (b-t) e (b-c) reti in serie con vasche di transito e di cattura e (c-t) e (c-c) reti uniche con vasche di transito e di cattura, riferendosi sempre alla **Figura 4.1**. In seguito vengono proposti tutti i risultati ottenuti, ricordando che per reti (a-t) e (a-c) la distanza L sia comunque del tutto ininfluenza sugli scarichi di volume d'acqua così come di massa d'inquinanti. Per completezza dei risultati verranno comunque mostrati nelle distanze. Inoltre tutte le masse sono state riferite all'ettaro impermeabile.

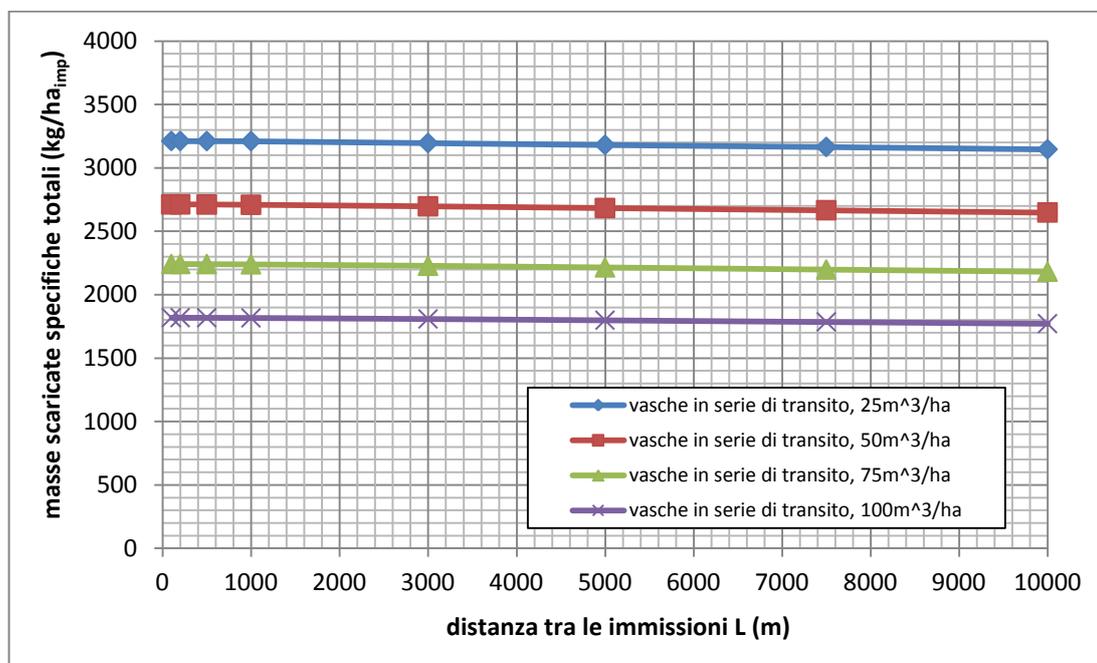


Grafico 4.14 - masse scaricate da vasche in serie di transito al variare della distanza tra i bacini

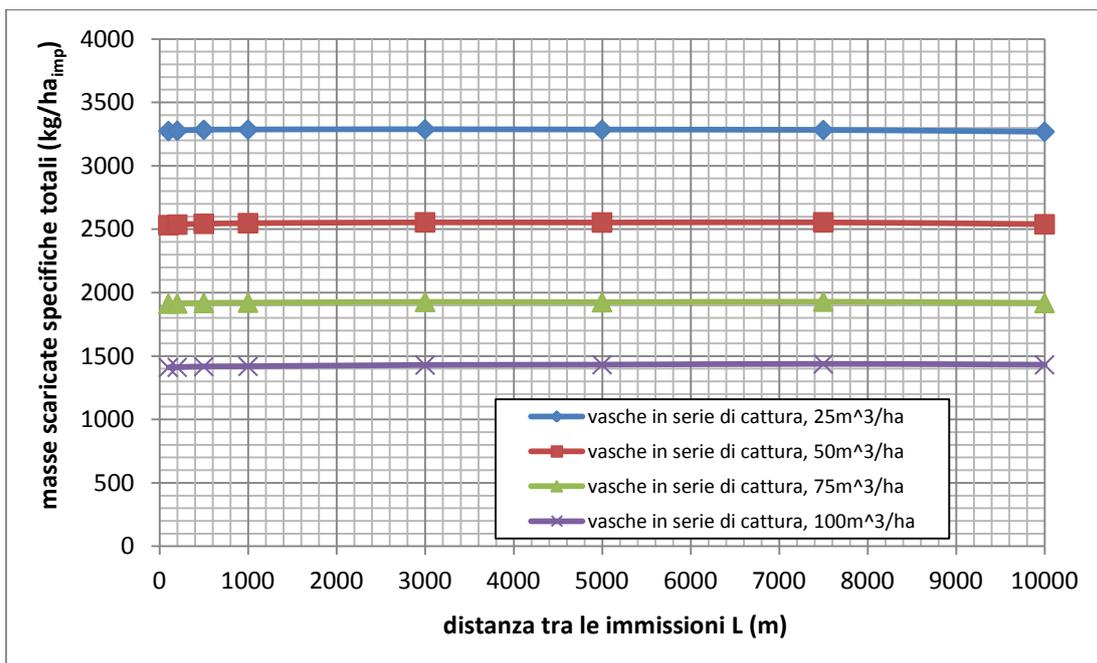


Grafico 4.15 - masse scaricate da vasche in serie di cattura al variare della distanza tra i bacini

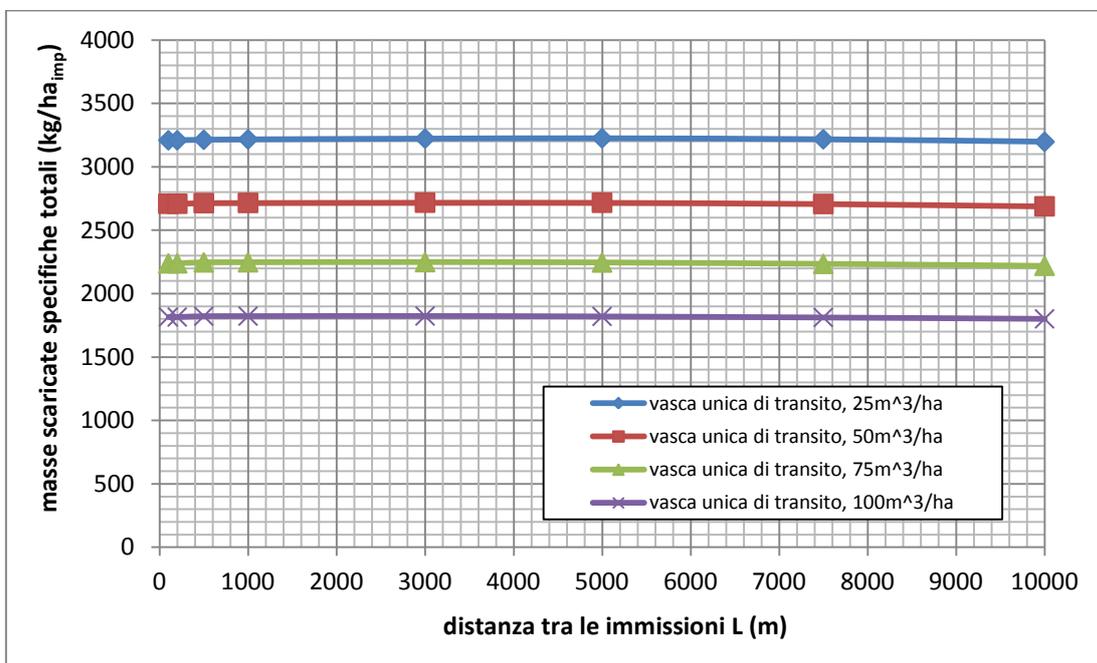


Grafico 4.16 - masse scaricate da vasche uniche di transito al variare della distanza tra i bacini

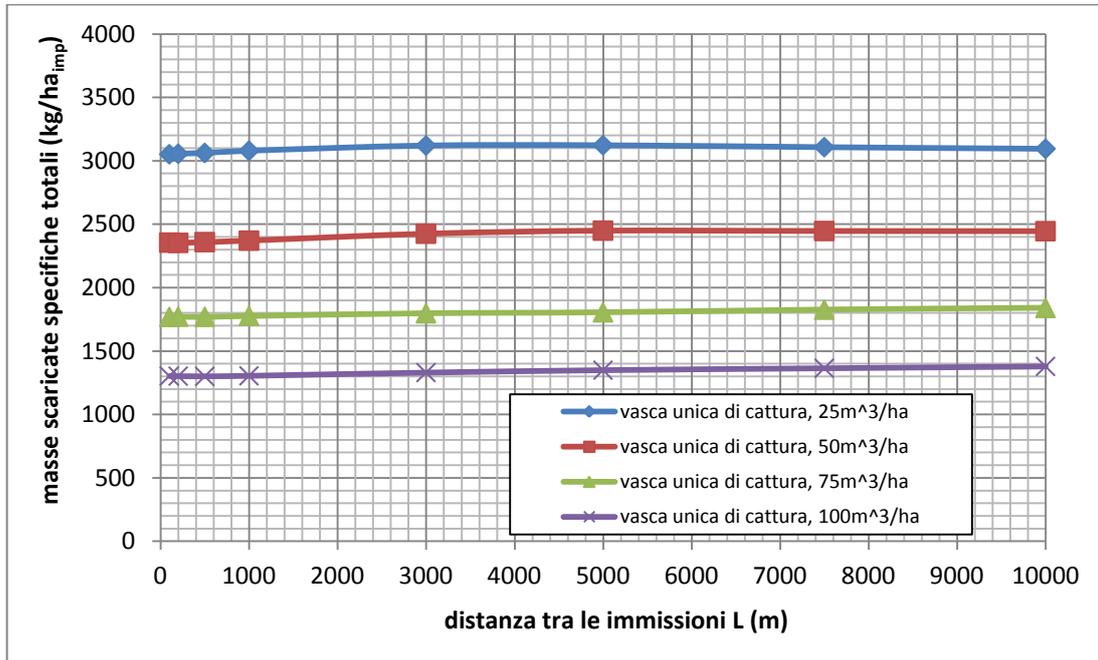


Grafico 4.17 - masse scaricate da vasche uniche di cattura al variare della distanza tra i bacini

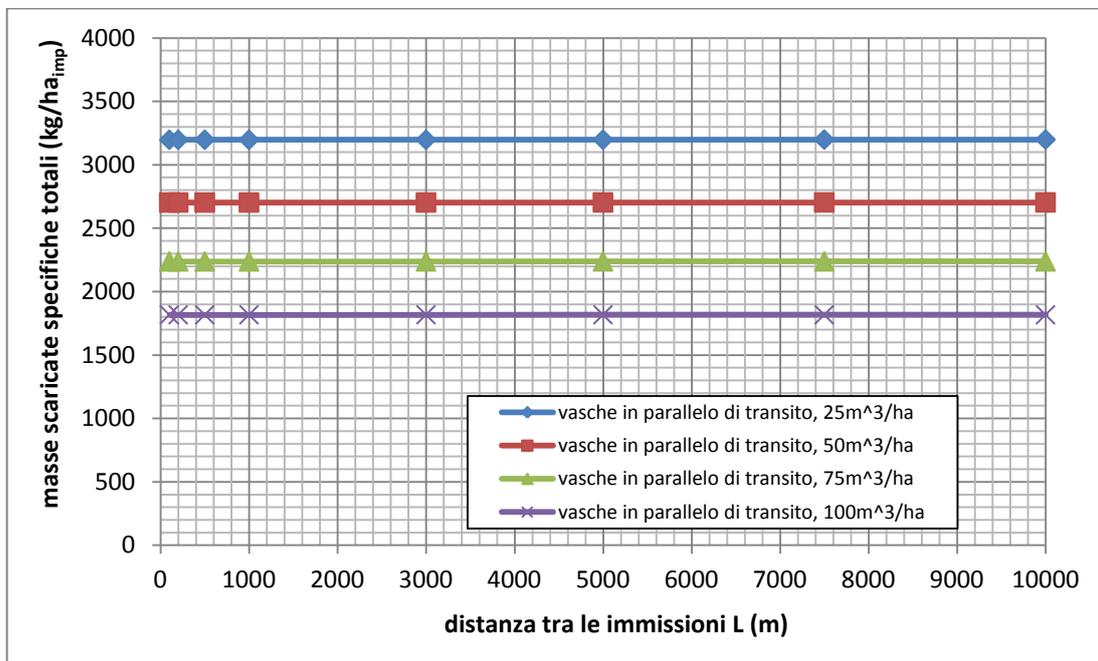


Grafico 4.18 - masse scaricate da vasche in parallelo di transito, dove la distanza tra i bacini è ininfluente

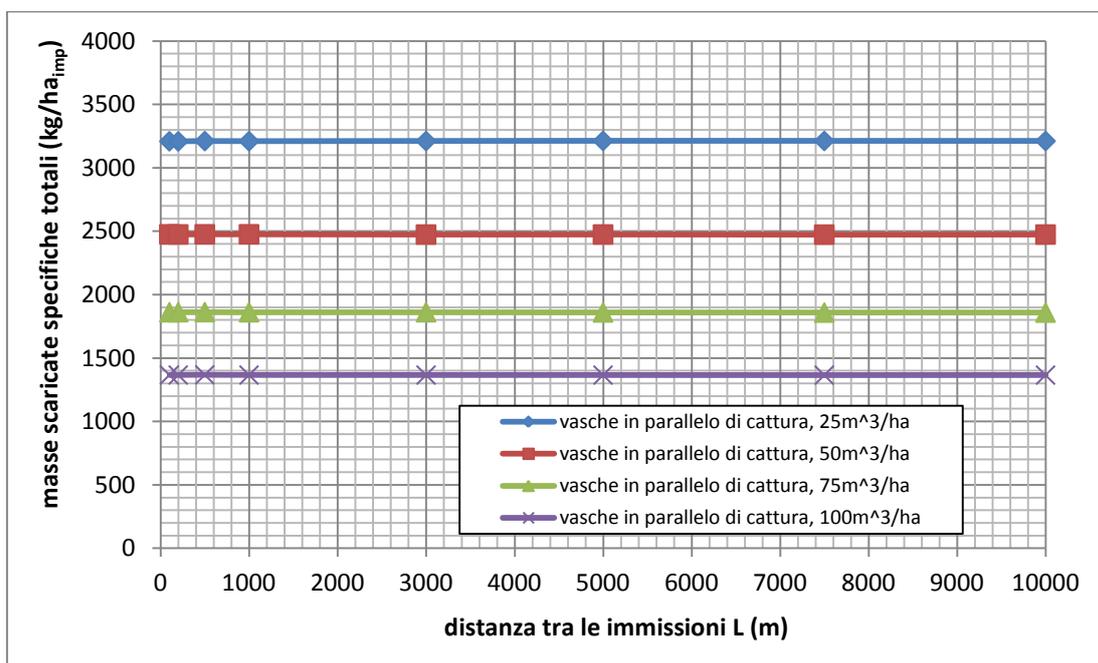


Grafico 4.19 - masse scaricate da vasche in parallelo di cattura, dove la distanza tra bacini è ininfluyente

La prima cosa che si può notare è che **la distanza ha un'influenza assolutamente minima** nei confronti delle masse scaricate. Ciò era intuibile anche vedendo la minima variazione di volume scaricato in funzione di L. Ciò permette di stabilire inoltre come la vera differenza tra i vari tipi di sistemi, più che per le distanze, sia posta nella dimensione delle vasche, e dalla tipologia di esse. Ad ogni modo in seguito vengono analizzati con un dettaglio nell'intorno della massa scaricata di ogni tipologia di vasca, l'andamento delle masse scaricate in funzione di L per poter visualizzare il suo effetto sul fenomeno, benché minimo.

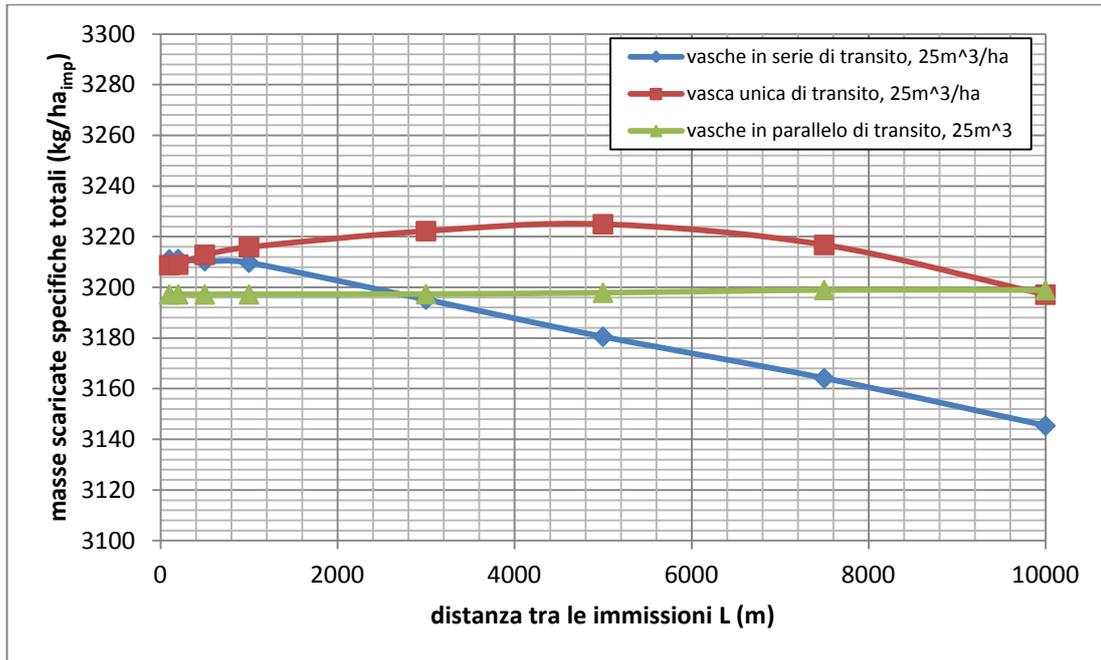


Grafico 4.20 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini (25m³/ha_{imp} di transito)

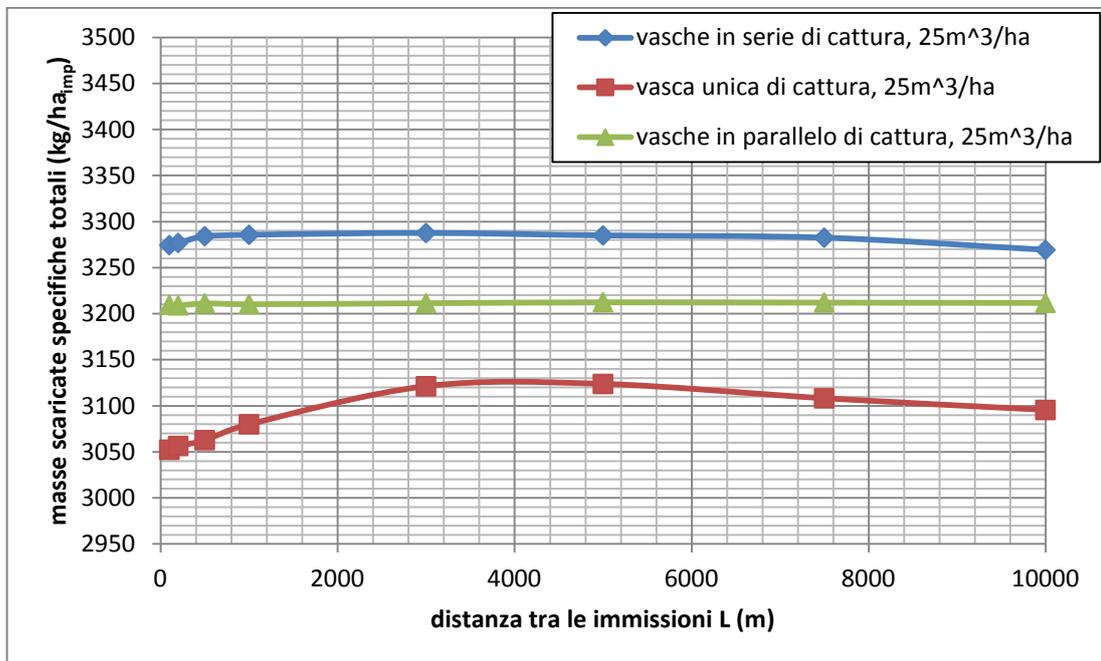


Grafico 4.21 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini (25m³/ha_{imp} di cattura)

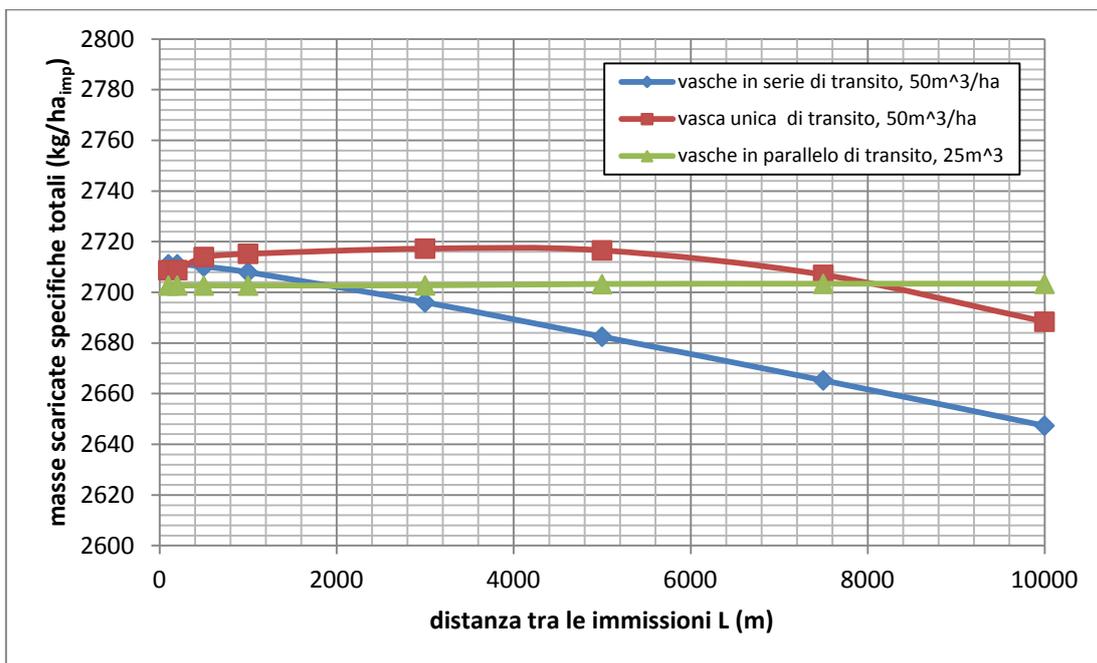


Grafico 4.22 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione di L (50m³/ha_{imp} di transito)

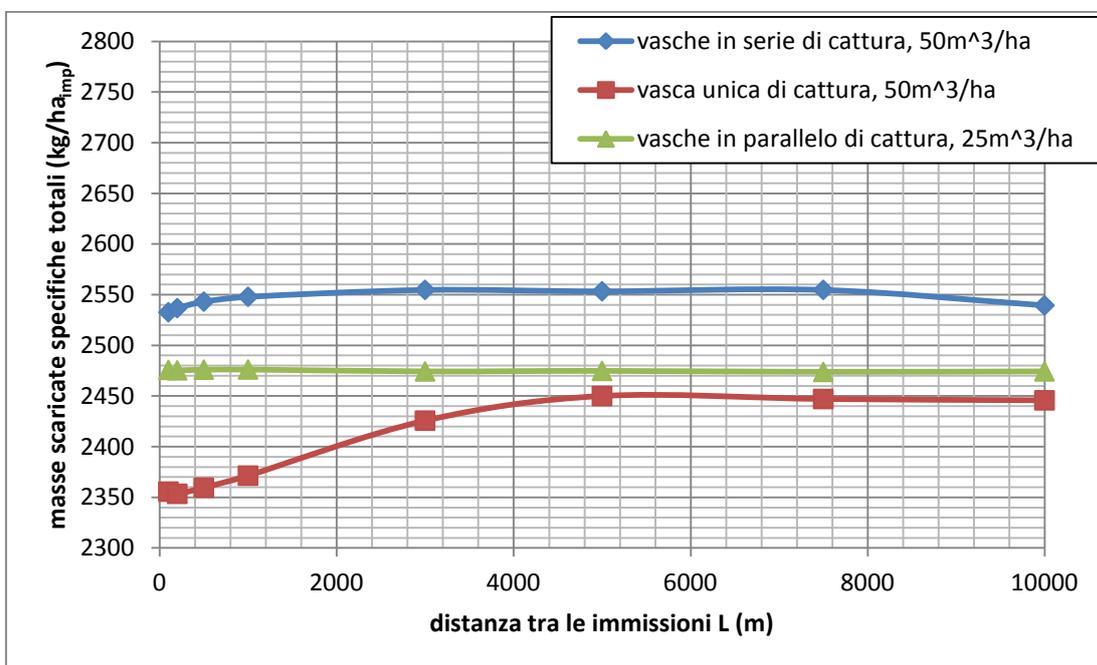


Grafico 4.23 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini (50m³/ha_{imp} di transito)

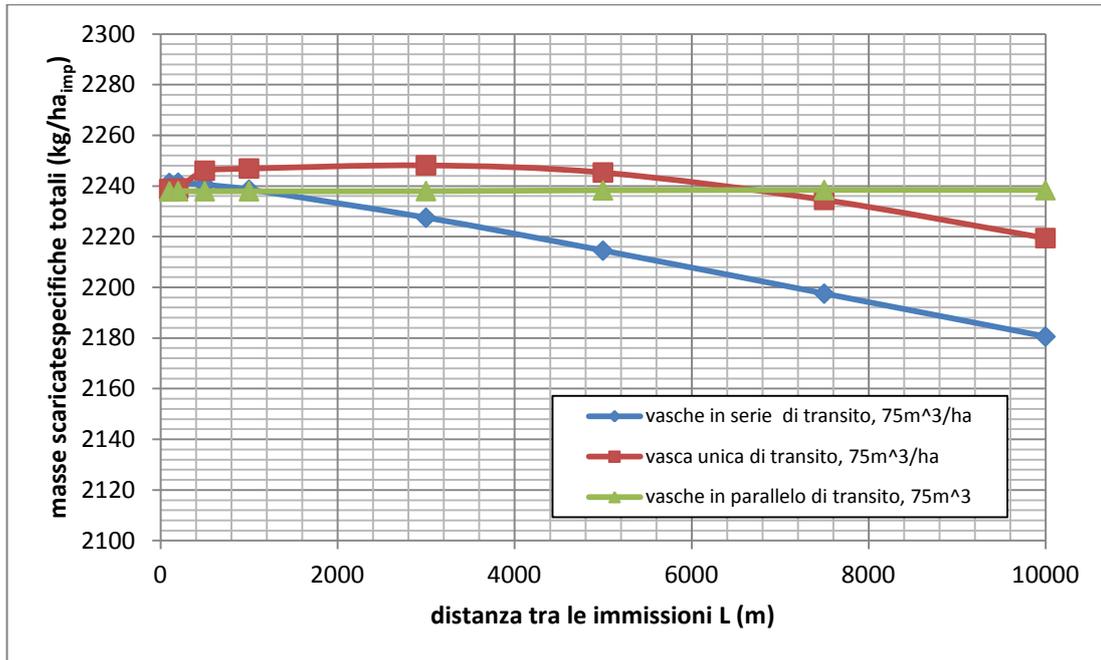


Grafico 4.24 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($75m^3/ha_{imp}$ di transito)

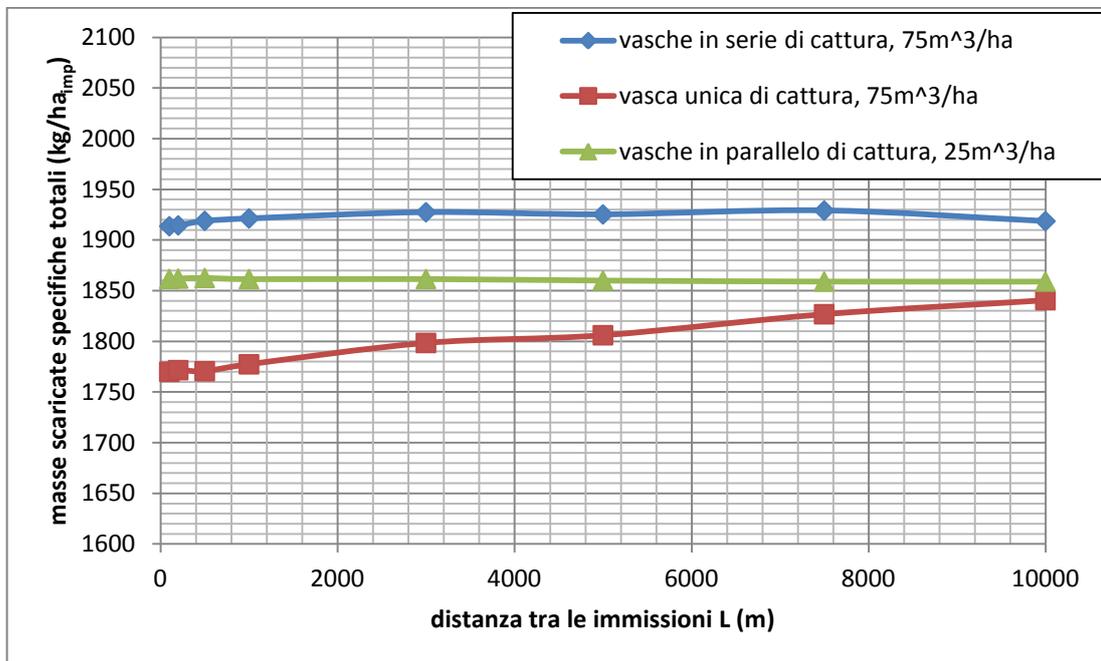


Grafico 4.25 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini ($75m^3/ha_{imp}$ di cattura)

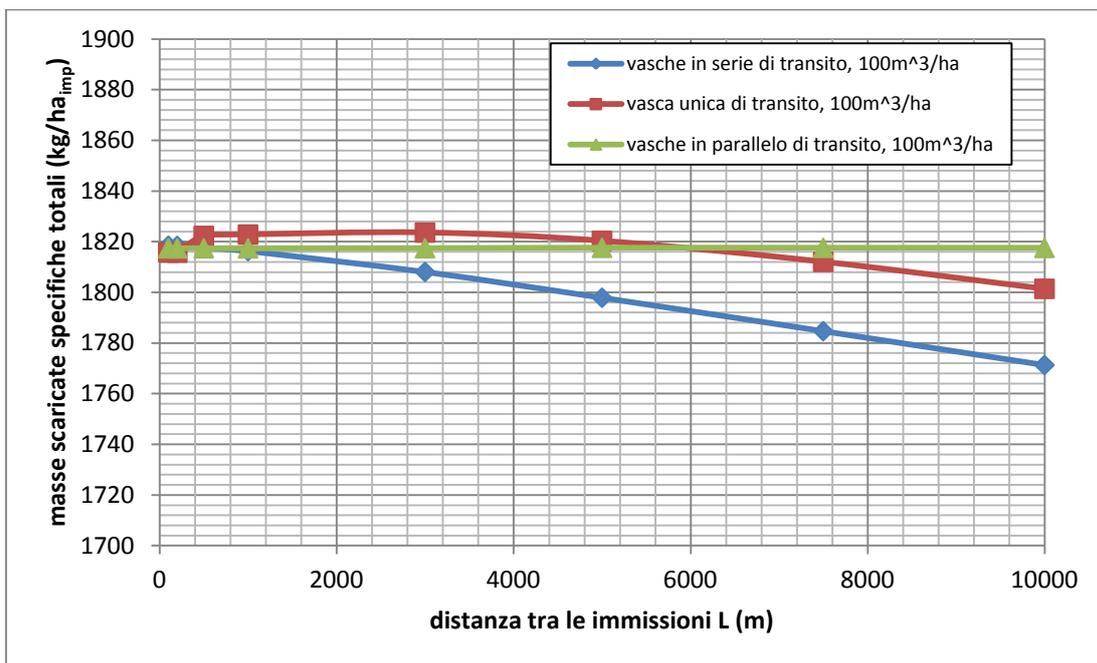


Grafico 4.26 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini (100m³/ha_{imp} di transito)

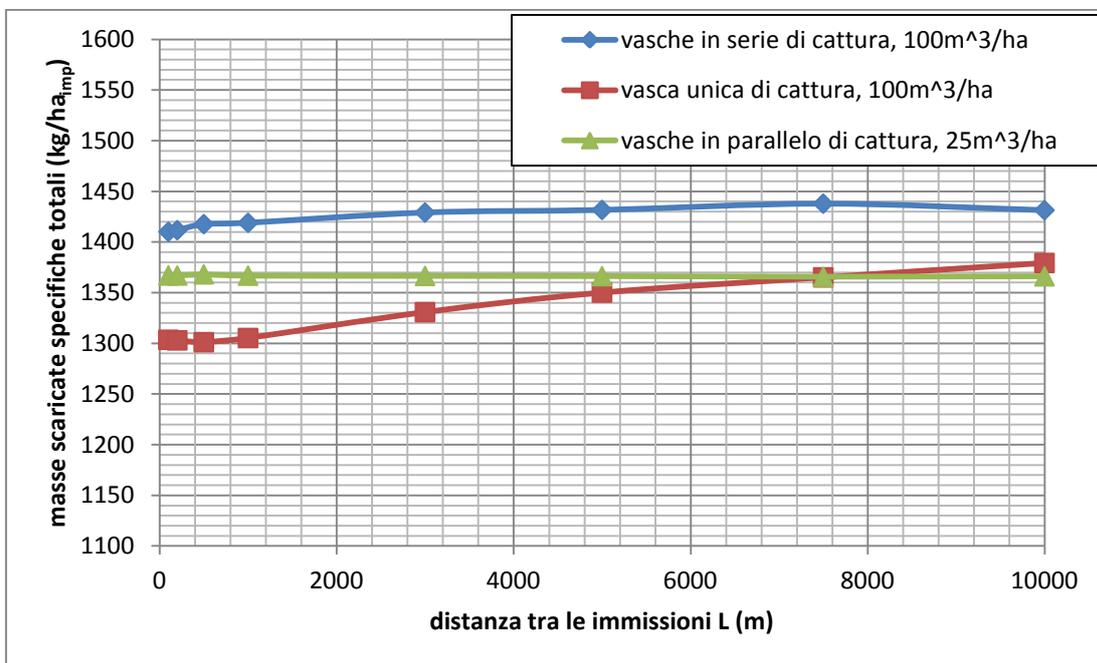


Grafico 4.27 - masse scaricate dalle tre tipologie di reti in funzione della distanza tra i bacini (100m³/ha_{imp} di cattura)

Si nota come l'effetto L sullo scarico, se pur minimo è molto diversificato a seconda della tipologia di rete e vasca. Per poterlo analizzare nel dettaglio è utile utilizzare un unico esempio di rete per ciascuna tipologia, in modo da spiegare in modo qualitativo l'andamento delle masse scaricate.

Infatti risulta essere del tutto impossibile analizzare per ogni distanza e per ogni tipologia di rete e di vasca, la massa scaricata da ciascun evento, oltre ad essere inutile al fine della ricerca effettuata.

Masse scaricate da vasche in serie di transito

Per poter analizzare il quantitativo di massa scaricata al ricettore in funzione di L, occorre premettere che ogni tipologia di evento meteorico dilaverà e trasporterà lungo la rete in modo differente le masse presenti sul bacino. A tal proposito il regime medio pluviale diventa fondamentale per poter descrivere tale fenomeno. Infatti diventa praticamente impossibile analizzare su tutti i 150 eventi presenti in un anno le cause di un determinato quantitativo di massa in funzione della distanza. A tal proposito si sceglie in seguito di utilizzare un evento preso dalla serie utilizzata, che ben rappresenti l'andamento medio trovato poi e visualizzato nei grafici. Si ricorda infatti che i risultati ottenuti sono relativi al quantitativo di massa scaricata al ricettore in un anno. Come per i volumi, si utilizzano le masse scaricate da vasche in parallelo di transito come riferimento utile alla spiegazione del fenomeno.

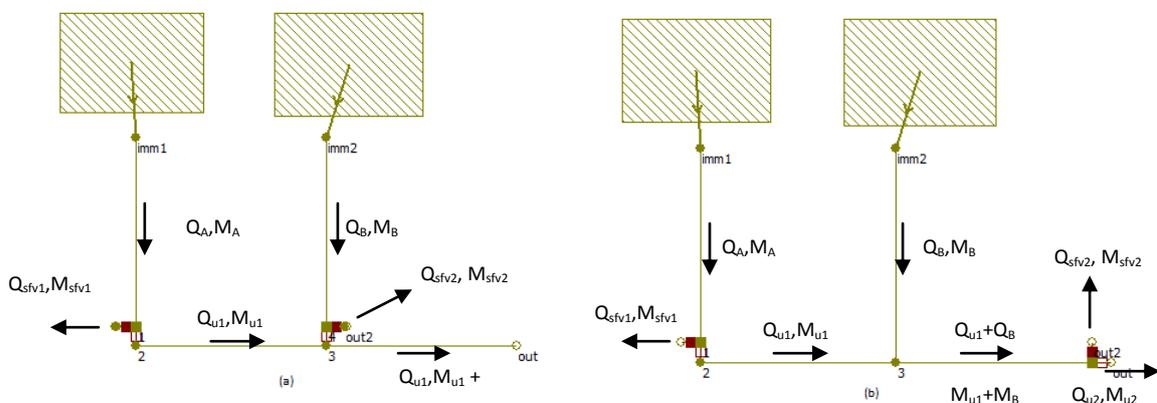


Figura 4.10 - schema e diciture delle vasche in parallelo (a) e in serie (b)

Si riportano i risultati ottenuti come esempio da reti con vasche da $50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$:

	$M_{\text{sfv1}} \text{ (b) kg/ha}_{\text{imp}}$	$M_{\text{sfv2}} \text{ (b) kg/ha}_{\text{imp}}$	$M_{\text{sfv1}} \text{ (a) kg/ha}_{\text{imp}}$	$M_{\text{sfv2}} \text{ (a) kg/ha}_{\text{imp}}$
100m	1351.344	1359.746	1351.344	1351.344
200m	1351.344	1359.748	1351.344	1351.344
500m	1351.347	1358.844	1351.347	1351.347
1000m	1351.337	1356.595	1351.337	1351.337
3000m	1351.372	1344.656	1351.372	1351.372
5000m	1351.629	1330.855	1351.629	1351.629
7500m	1351.675	1313.58	1351.675	1351.675
10000m	1351.685	1295.679	1351.685	1351.685

Tabella 4.4 - masse scaricate specifiche dalle due tipologie di reti con vasche da $50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$

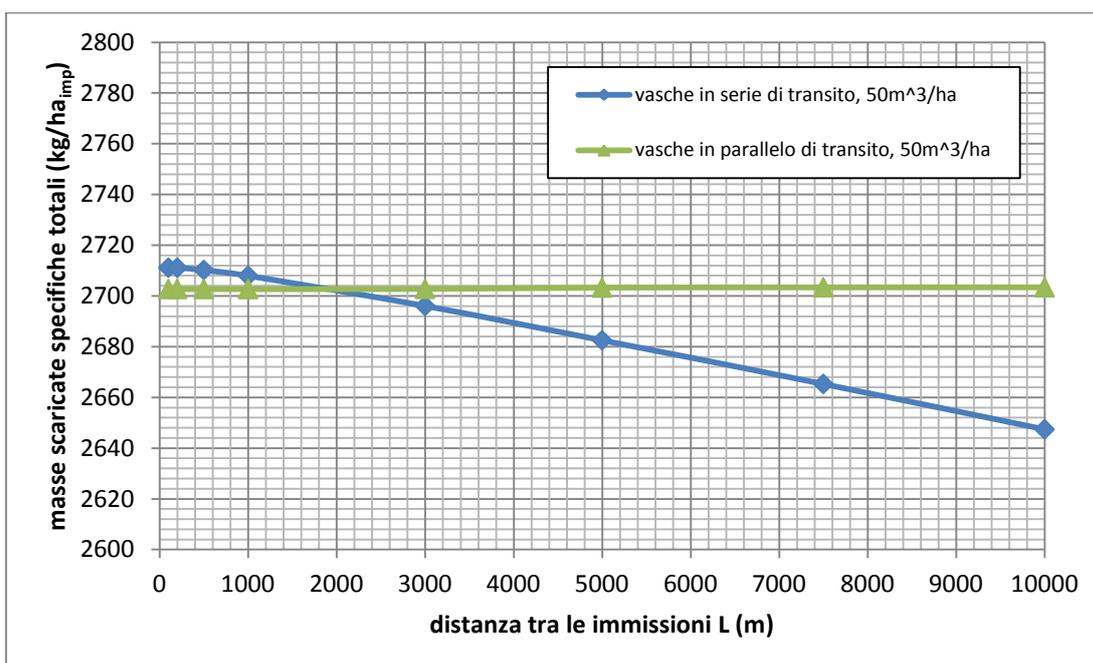


Grafico 4.28 - masse scaricate specifiche in funzione della distanza tra i bacini per reti con vasche di transito a $(50\text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}})$

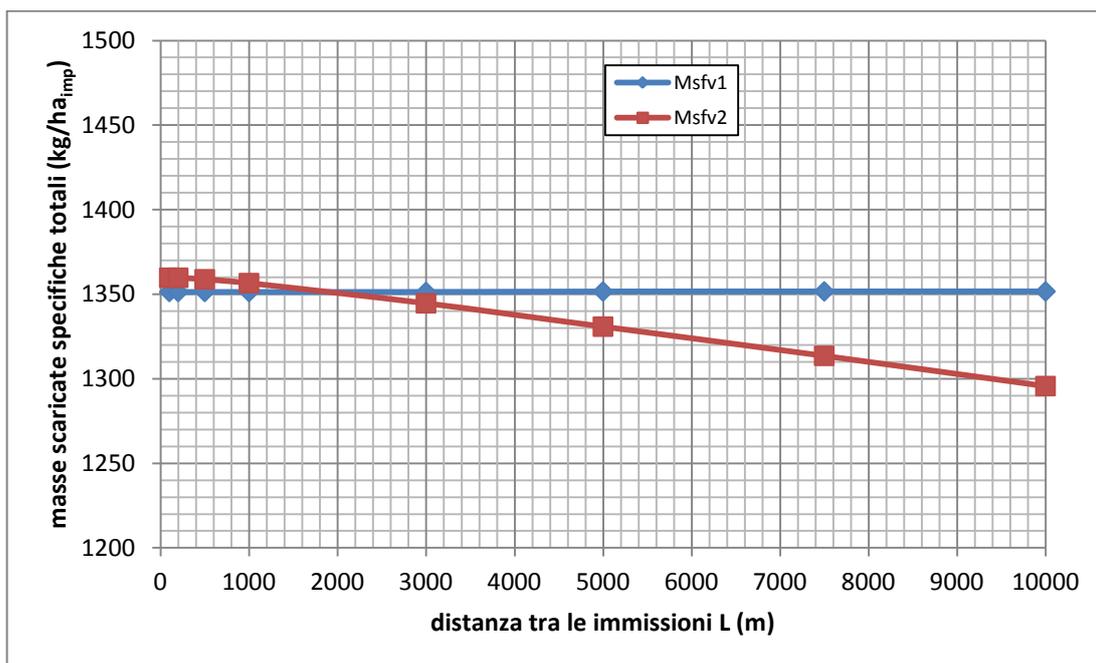


Grafico 4.29 - masse scaricate, in funzione della distanza tra i bacini, delle due vasche V1 e V2 presenti in reti in serie ($50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)

Come si può notare dai grafici, come per i volumi sia le vasche in parallelo e la vasca V1 (b) per quanto riguarda reti con vasche in serie, sono indipendenti da L. Ciò che determina la variazione di massa scaricata totale in funzione di L è la vasca V1.

Tale riduzione, come è ben evidente, è funzione sia della diminuzione del volume scaricato, essendo comunque la massa scaricata pari a

$$M_{sca} = V_{sca} \cdot C \quad 4.1$$

dove V_{sca} rappresenta il volume scaricato e C la concentrazione presente in quel momento in vasca, sia in merito agli effetti provocati dall'effetto della traslazione di Q_A rispetto a Q_B .

Tale traslazione determina il quantitativo di massa trasportato dalla portata entrante in vasca. Infatti la portata in arrivo da V1 contiene dei sedimenti che vanno a mescolarsi con quelli presenti in Q_B dilavati dalla superficie. Se l'aumento di volume

d'acqua in un istante temporale causato dalla somma di $Q_{u1}+Q_B$ è inferiore all'aumento di massa totale presente dato da $M_{u1}+M_B$, si ha un aumento di concentrazione della massa in ingresso a V2.

Per distanze brevi la massa proveniente da V1 si somma con la massa in arrivo dal bacino B. Rispetto al caso in parallelo quindi, la vasca V2, pur scaricando più o meno lo stesso quantitativo di volume (vedi i volumi scaricati per vasche in serie), riceve un quantitativo di massa leggermente maggiore rispetto a quella trasportata da Q_B . In vasca quindi si miscelerà un maggior quantitativo di sedimenti, che in parte verranno sfiorati al ricettore. In **Figura 4.11** si mostra come la massa dilavata trasportata da Q_B si sommi alla massa trasportata da Q_{u1} . Come specificato in precedenza questi grafici rappresentano andamenti qualitativi del fenomeno e devono essere intesi solo come mezzo per poter spiegare tale fenomeno.

In modo intuitivo si può capire come, nel caso di vasche in parallelo M_B arriva del tutto inalterata in vasca, permettendo quindi a pieno riempimento una concentrazione sicuramente più bassa, provocando a parità di volume scaricato, un minor scarico di materiale.

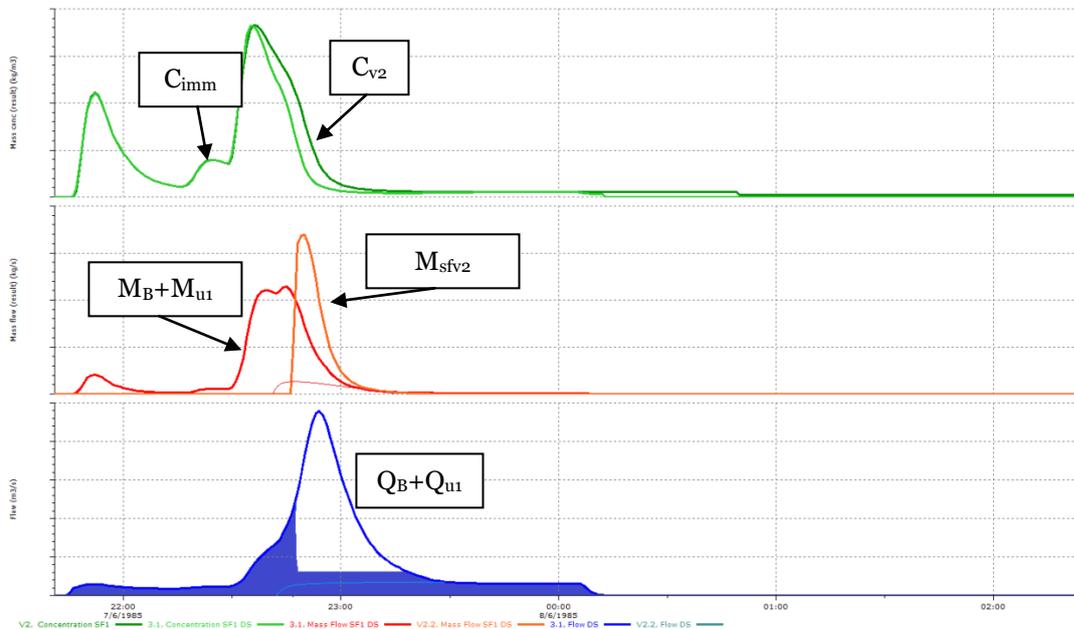


Figura 4.11 - volumi e masse in arrivo in vasca e scaricate con L 100m per vasche in serie. Concentrazioni in ingresso vasca e in vasca.

Inoltre l'arrivo quasi in concomitanza delle due portate in vasca, determina questo aumento di massa al suo interno proprio nel momento di inizio dello scarico. Infatti la diminuzione ottenuta all'aumentare di L è determinata successivamente si dal minor scarico effettuato, e dall'arrivo della massa da $V1$ quando in $V2$ è già verso la fine dello scarico, o (nel caso limite) quando la vasca non scarica più, e quindi tutto il materiale contenuto in Q_{u1} viene portato a depurazione. In seguito possiamo notare nella figura sottostante il processo appena spiegato:

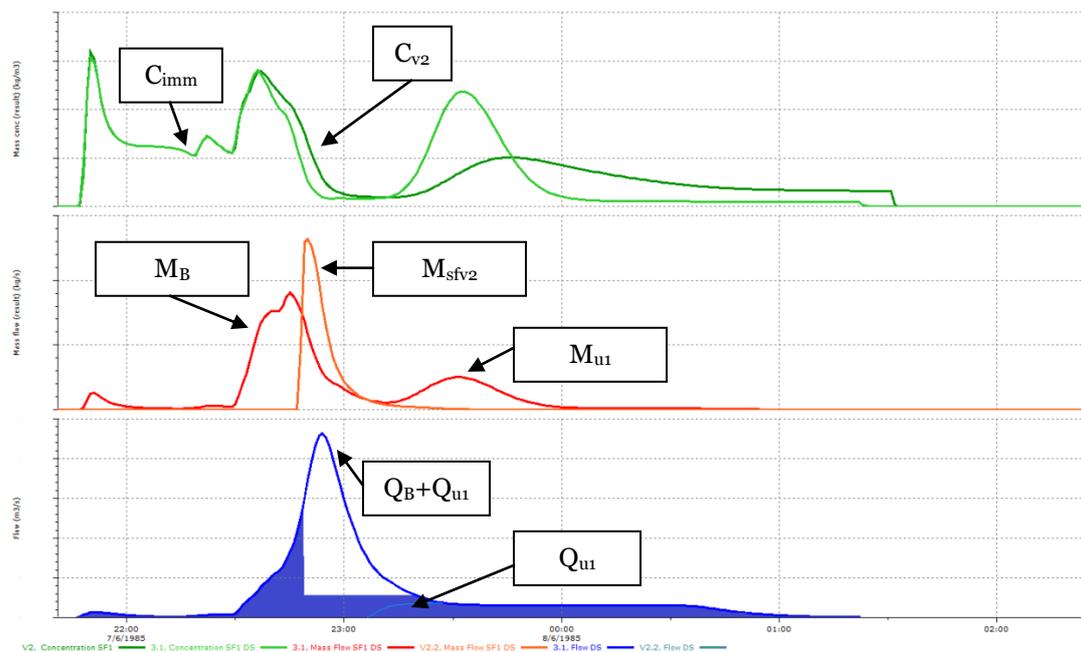


Figura 4.12 - volumi e masse in arrivo in vasca e scaricate con L 300m per vasche in serie. Concentrazioni in ingresso vasca e in vasca.

M_{u1} arriva traslata rispetto M_B , come del resto la portata Q_{u1} , influenzando molto poco sullo scarico, che si trova, sulla linea temporale, ormai verso la fine. In questo modo, M_{u1} pur variando la concentrazione in vasca, influisce sempre meno all'aumentare di L sullo scarico.

In generale si può affermare che, la distanza nelle vasche in serie di transito, rappresenta quanto influenzi la portata in arrivo da $V1$ sullo scarico di $V2$. Maggiore è la

distanza, più l'arrivo di massa dalla prima vasca risulta essere sempre meno influente, in quanto aumenta la concentrazione di materiale in vasca sempre più verso la fine dello scarico, con una portata di sfioro ovviamente sempre più bassa (e corrispondente Massa scaricata sempre più bassa). Si nota infatti come l'aumento di concentrazione in vasca C_{v2} per l'arrivo di M_{u1} inizi quando lo scarico oramai sia del tutto finito e quindi è sempre meno il tempo in cui la vasca scarica con una concentrazione maggiorata da M_{u1} .

Si ribadisce ad ogni modo che tale variazione di sedimenti scaricati sia assolutamente molto bassa, causata dalla poca capacità di ripristino della vasca.

Masse scaricate da vasche in serie di cattura

Le vasche in serie di cattura hanno un comportamento molto diverso per quanto riguarda le masse scaricate. Infatti, come da definizione della vasca stessa, essa cattura un volume pari alla sua dimensione e scarica il restante a meno di una portata limite senza fare interagire il contenuto della vasca con quello che arriva successivamente. Questa tipologia serve per evitare fenomeni di rimescolamento in vasca. Infatti all'interno delle vasche di transito, viene contenuta la massa in arrivo da monte e viene continuamente rimescolata con la nuova massa. Tale concentrazione rimane la stessa a riempimento, mentre varia durante lo scarico, dove a parità di volume si deve distribuire la nuova portata di massa meno quella scaricata, producendo nella maggior parte dei tipi differenti di idrogramma un aumento di concentrazione, che causa anche uno scarico maggiore al ricettore rispetto al contenuto di massa trasportata dalla portata durante il tempo di scarico. Tale problematica verrà poi studiata nel dettaglio nel paragrafo finale di questo capitolo.

A tal proposito si può affermare che, al riempimento del volume di vasca, tutta la massa trasportata dalla portata in arrivo viene scaricata, a meno di una piccolissima quantità portata a depurazione dalla portata limite. Tale effetto sulle vasche in serie di cattura può essere studiato in modo analogo, in funzione della distanza, attraver-

so l'ausilio di grafici puramente qualitativi, che spiegano l'andamento medio delle masse scaricate.

Anche in questo caso usiamo come paragone una rete di vasche in serie poste in parallelo, per poter meglio analizzare e confrontare il fenomeno di tale traslazione.

Si ripropongono le diciture viste sopra, in questo caso però riferite a vasche di cattura. Ovviamente le masse sfiorate sono riferite a quelle scaricate dal sistema by pass visto nel capitolo 3.

Vengono riportati a titolo esplicativo i risultati ottenuti da vasche di cattura in serie di $50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$:

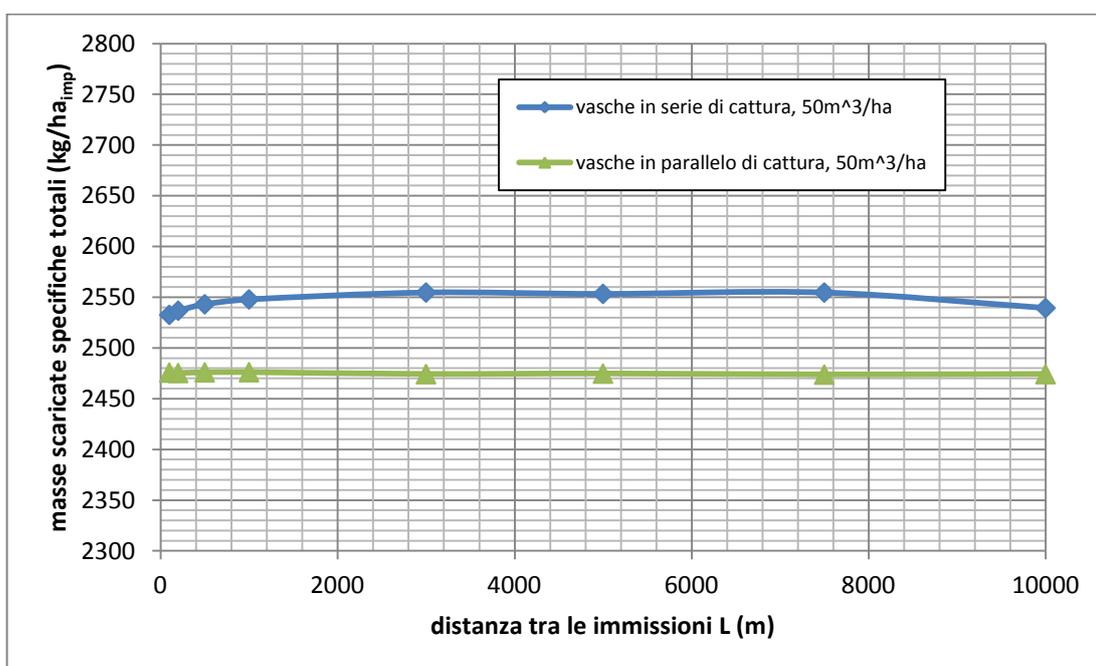


Grafico 4.30 - masse scaricate in funzione della distanza tra i bacini per vasche di cattura in serie e in parallelo ($50\text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)

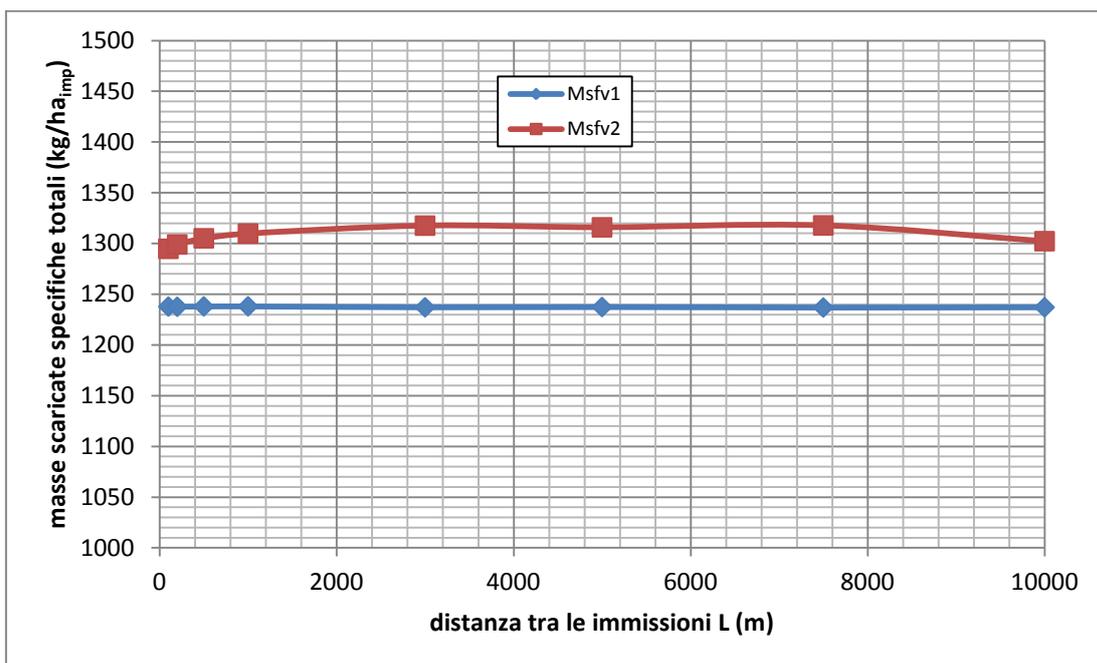


Grafico 4.31 - masse scaricate dai sistemi by pass delle delle vasche V1 e V2 in reti in serie ($50m^3/ha_{imp}$)

	M _{sfv1} (b) kg/ha _{imp}	M _{sfv2} (b) kg/ha _{imp}	M _{sfv1} (a) kg/ha _{imp}	M _{sfv2} (a) kg/ha _{imp}
100m	1237.878	1294.773	1237.878	1237.878
200m	1237.684	1299.061	1237.684	1237.684
500m	1238.006	1305.112	1238.006	1238.006
1000m	1238.082	1309.829	1238.082	1238.082
3000m	1237.127	1317.598	1237.127	1237.127
5000m	1237.4	1315.953	1237.4	1237.4
7500m	1236.89	1317.806	1236.89	1236.89
10000m	1237.135	1302.278	1237.135	1237.135

Tabella 4.5 - masse scaricate specifiche scaricate dalle due tipologie di rete (in serie (b) e in parallelo (a) ($50m^3/ha_{imp}$))

Nelle reti con vasche di cattura in serie, si nota come precedentemente che le V1 scaricano indipendentemente da L. L'influenza della distanza viene progressivamente sentita sullo scarico dalla vasca V2.

Si nota come l'effetto della distanza sia diverso rispetto alle vasche di transito. Tale andamento va ricercato in cosa avviene nel momento in cui si chiude l'ingresso in vasca per il suo riempimento.

Il fattore, quindi, principale per determinare la quantità di materiale scaricato, dipende dalla quantità totale in un istante di massa presente nel volume d'acqua. Infatti, partendo dall'ipotesi di totale miscelazione dei sedimenti in ogni istante, per verificare il contenuto di massa totale causato dall'iterazione di due portate, è sufficiente sommare il quantitativo di massa relativo alle stesse.

In seguito si mostra la massa scaricata attraverso la rappresentazione qualitativa del fenomeno. Anche in questo caso va sottolineato come la distanza L influenzi in modo differente a seconda della forma e dei tipi di idrogrammi presenti in rete.

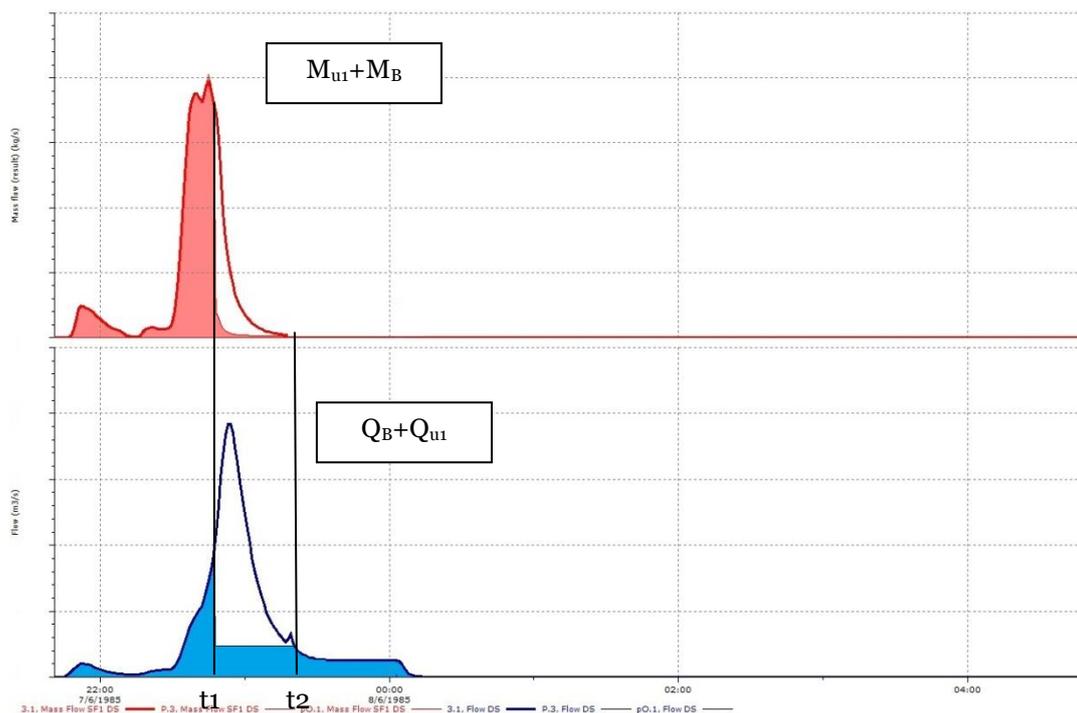


Figura 4.13 - masse scaricate dalla vasca V2 con L 100m

La V2 si riempie fino a completamento del proprio volume fino al tempo t_1 . In questo istante si chiuderanno le paratoie della vasca e si aprirà quella relativa al sistema che bypassa la vasca. Tutta la massa trasportata dalla portata in arrivo dal bacino B e dalla vasca V1 verrà bloccata nella vasca V2 e successivamente portata a depurazione. Nel momento in cui si apre il sistema bypass, a parte una piccolissima parte trascinata da Q_{u2} (in questo caso davvero ininfluyente), la quasi totalità della massa trasportata viene scaricata assieme alla portata.

Il motivo per cui V2 scarica maggior massa rispetto a V1 e alla sua omonima nella versione di rete in parallelo è dato dal fatto che la Q_{u1} trascina con se un piccolo quantitativo di massa che andrà poi a miscelarsi con quella portata da Q_B . Per questa ragione la portata di massa in arrivo in vasca è leggermente superiore rispetto a quella in arrivo in una situazione in parallelo dove Q_{u1} non influenza in alcun modo lo scarico di V2. Questo processo avviene per qualsiasi distanza. Infatti fino a quando la portata Q_{u1} transita tra t_1 e t_2 trascinando con se massa, questa viene totalmente scaricata. Infatti anche se è presente una portata Q_{u2} che porta a depurazione le acque, la massa trascinata da essa sarà proporzionale alla concentrazione presente in quel momento proprio a causa del totale miscelamento dei sedimenti su tutto il volume trascinato.

Inoltre il massimo relativo può essere visto proprio in funzione di questo. Quando la Q_{u1} arriva presso la vasca tra t_1 e t_2 la massa si distribuisce su tutto il volume e viene quindi del tutto scaricata al ricettore, mentre per brevi distanze, almeno una parte dei sedimenti viene catturata dalla vasca. Questo spiega anche come in realtà siano molto basse le variazioni causate da L in quanto mediamente per gli eventi meteorici considerati, la M_{u1} tende ad arrivare all'interno del tempo di apertura di bypass. In sintesi tutto ciò che arriva all'interno di questo lasso di tempo viene scaricato.

A tal proposito viene visualizzato in seguito l'andamento di tale processo con una distanza più elevata.

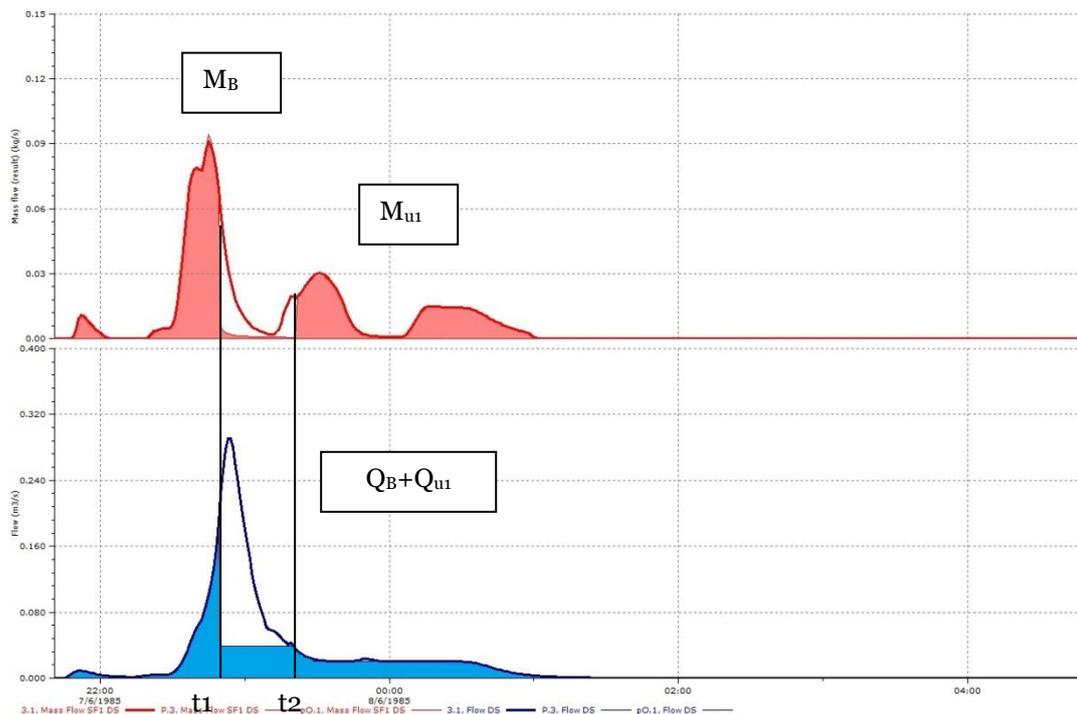


Figura 4.14 - masse scaricate dalla vasca V2 con L 3000m

Si nota in questo caso come la massa in arrivo da V1 sia in parte trattenuta e in parte catturata in vasca.

Si possono distinguere quindi 3 distanze caratteristiche: L tale che M_{u1} venga trattenuta dalla vasca prima che questa si chiuda a $t1$; L tale che M_{u1} sia all'interno di $t1$ e $t2$; L tale che M_{u1} sia in parte o totalmente al di là di $t2$.

La distanza temporale tra $t1$ e $t2$ è determinata dalla forma dell'evento meteorico e dalla dimensione della vasca. Infatti, all'aumento del volume disponibile per l'invaso, $t1$ è traslato più avanti nella linea temporale e il tempo in cui è attivo lo scarico nel bypass (quindi il tempo compreso tra $t1$ e $t2$) diminuisce. Per ogni dimensione di vasca, la distanza che determina maggior scarico è quella in cui la portata Q_{u1} , proveniente dalla prima vasca, è traslata rispetto a Q_B e si trova nella linea temporale tra il tempo $t1$ e $t2$. Maggiore è il volume immagazzinabile, più $t1$ è in la nel tempo e quindi occorrerà un ramo di traslazione più lungo per far giungere Q_{u1} proprio al di là di $t1$. Tale situazione, spiega il motivo dello spostamento del massi-

mo scarico relativo di massa in funzione della distanza all'aumentare della dimensione della vasca.

Masse scaricate da vasche in transito uniche

Per quanto riguarda le masse scaricate da vasche uniche di transito vengono utilizzate le medesime ipotesi di base viste in precedenza per le vasche in serie di transito. A tal proposito vengono definite le seguenti diciture:

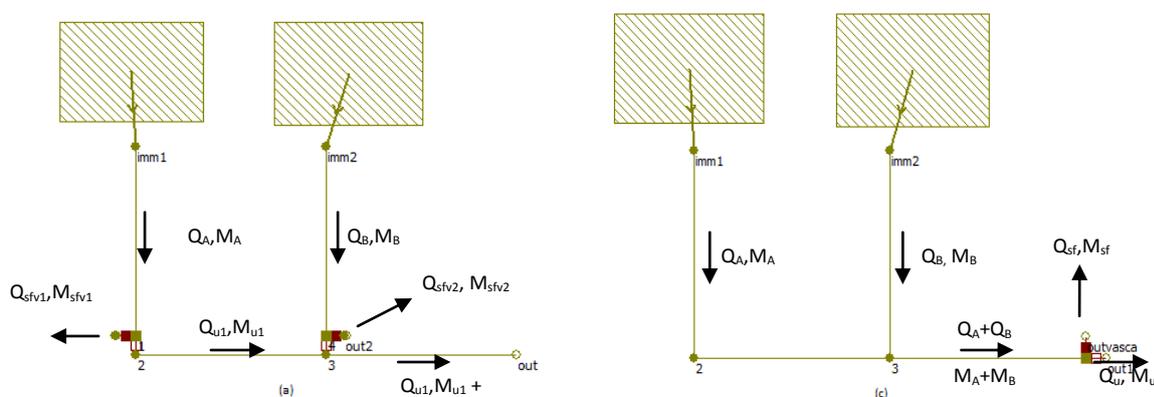


Figura 4.15 - schemi e diciture di reti con vasche in parallelo e vasche uniche

In seguito vengono riportati a titolo esemplificativo i risultati delle simulazioni effettuate per vasche uniche di 50m³/ha.

	M_{sfv} (c) kg/ha_{imp}	M_{sfv1}(a) kg/ha_{imp}	M_{sfv2} (a) kg/ha_{imp}
100	2708.722	1351.344	1351.344
200	2708.789	1351.344	1351.344
500	2713.968	1351.347	1351.347
1000	2715.231	1351.337	1351.337
3000	2717.265	1351.372	1351.372
5000	2716.587	1351.629	1351.629
7500	2706.929	1351.675	1351.675
10000	2688.406	1351.685	1351.685

Tabella 4.6 - masse scaricate dalle singole vasche prese in esame delle reti in parallelo(a) e uniche (c) (50m³/ha_{imp})

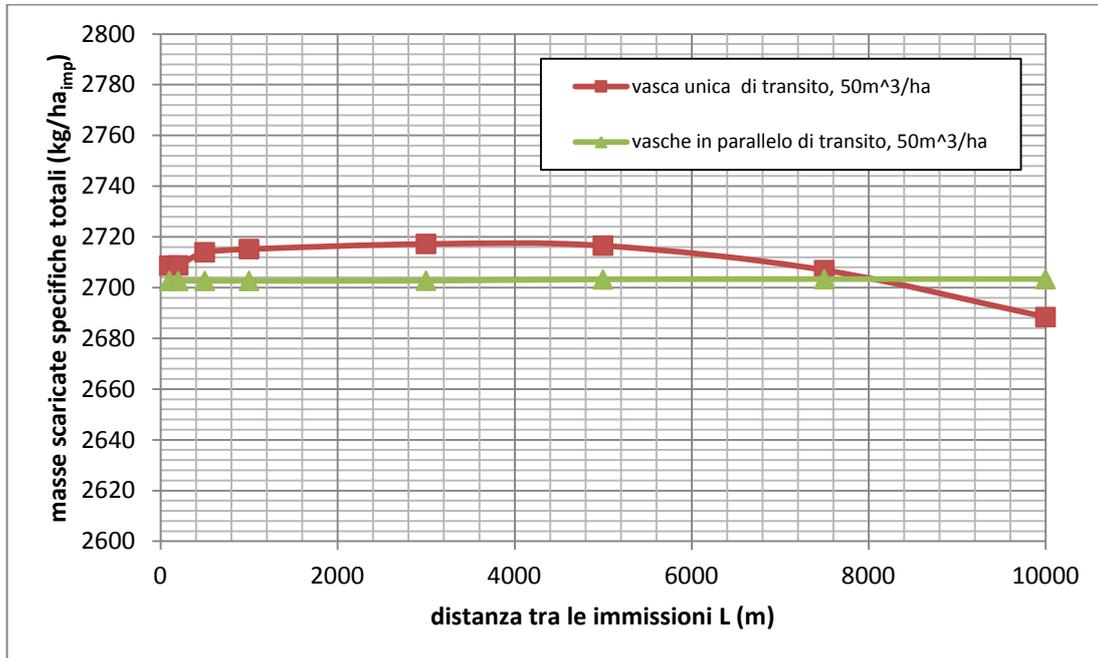


Grafico 4.32 - masse scaricate specifiche da vasche uniche e in parallelo in funzione di L ($50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$)

Come si può notare, la curva delle masse scaricate per reti con vasca unica presenta un punto di massimo relativo in funzione della distanza. Ciò è da attribuire al complesso meccanismo di concentrazione in vasca causato dalle diverse tipologie di portata. Per quanto riguarda le vasche uniche, quindi, la forma dell'evento, l'effetto di laminazione delle portate e quindi delle concentrazioni, ed il volume sfiorato sono parametri che risultano essere fondamentali ma nello stesso tempo molto variabili a causa della diversità di ogni singolo evento reale preso in esame. Le considerazioni che possono essere sviluppate, sono riguardanti ciò che mediamente accade o influisce per generare un tal tipo di curva. Innanzi a tutto per distanze assolutamente brevi a parità di volume scaricato con vasche in parallelo, si ottiene un piccolo aumento di massa scaricata, ad ogni modo molto piccola (considerando quanto piccole sono le differenze di massa scaricate sia in funzione di L che in funzione della tipologia di vasca considerata). Aumentando la distanza L notiamo come lo scarico

di sedimenti aumenti fino ad un punto di massimo. Ciò è da attribuire al fenomeno di *second flush*. Infatti se per distanze brevi le masse arrivano quasi contemporaneamente in vasca causando in fase di accumulo un aumento di concentrazione di vasca a seconda della tipologia di idrogramma rispetto alla sua portata solida, per distanze superiori a causa della separazione degli idrogrammi provenienti dai due bacini, avviene anche la separazione delle portate di massa rispettivamente provenienti da A e B. L'arrivo della seconda portata di massa molto elevata all'inizio dell'idrogramma traslato Q_A induce in vasca un aumento di concentrazione durante la fase di scarico. Il bilanciamento di tutti i parametri precedentemente osservati, induce a generarsi una distanza L tale per cui questo fenomeno di rimescolamento e di aumento della concentrazione in vasca risulta essere più elevato che per altre distanze.

La diminuzione della massa scaricata al ricettore si ha nel momento in cui la distanza tra i due idrogrammi permette di immettere un volume maggiore di acqua rispetto alla massa contenuta in modo tale da ottenere una concentrazione in vasca sempre più bassa in funzione di L causando un minor scarico. Tale punto dipende, come detto in precedenza da una moltitudine di elementi tali da non poter essere analizzati in generale in quanto le caratteristiche dello ietogramma sono diverse da evento ad evento.

Nel momento in cui la traslazione permette di avere due idrogrammi distinti Q_A e Q_B entra in gioco anche il tempo di ripristino della vasca che migliora il rendimento di quest'ultima.

In seguito si mostra l'andamento qualitativo di ciò che è stato detto.

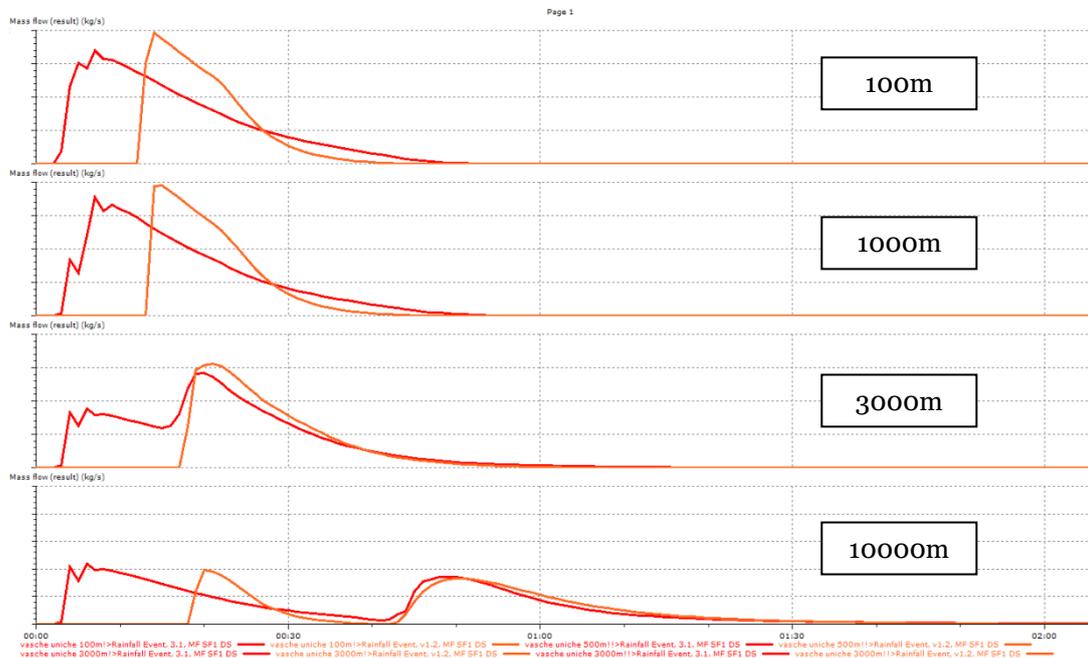


Figura 4.16 - masse scaricate (arancione) e masse in arrivo in vasca (rosse) sulle 4 distanze proposte

Si nota come la massa scaricata sia influenzata dalla traslazione delle portate di massa. Tra le distanze 1000 e 3000m è presente il punto di massimo relativo, a causa della traslazione delle masse e delle portate tale da fornire alla vasca la maggior concentrazione possibile lungo lo scarico rispetto alle altre distanze. Superata tale distanza si notano gli effetti della diminuzione del volume scaricato (la massa scaricata è sempre proporzionale alla concentrazione per il volume scaricato; se la concentrazione cresce di più rispetto alla diminuzione di volume, abbiamo un aumento di massa) in concomitanza con una diminuzione delle concentrazioni in vasca, causate dall'arrivo prima di M_B di acqua con poca massa da B. Inoltre anche l'effetto di laminazione delle portate e delle rispettive masse (concentrazioni) risulta essere all'aumentare di L sempre più preponderante. Infatti l'abbassamento del picco di portata e di massa permette alla vasca una maggior capacità di ripristino sia dal punto di vista volumetrico sia della concentrazione.

A tal proposito mostriamo un esempio di come la lunghezza del ramo L influenzi portate, concentrazioni e portate massiche.

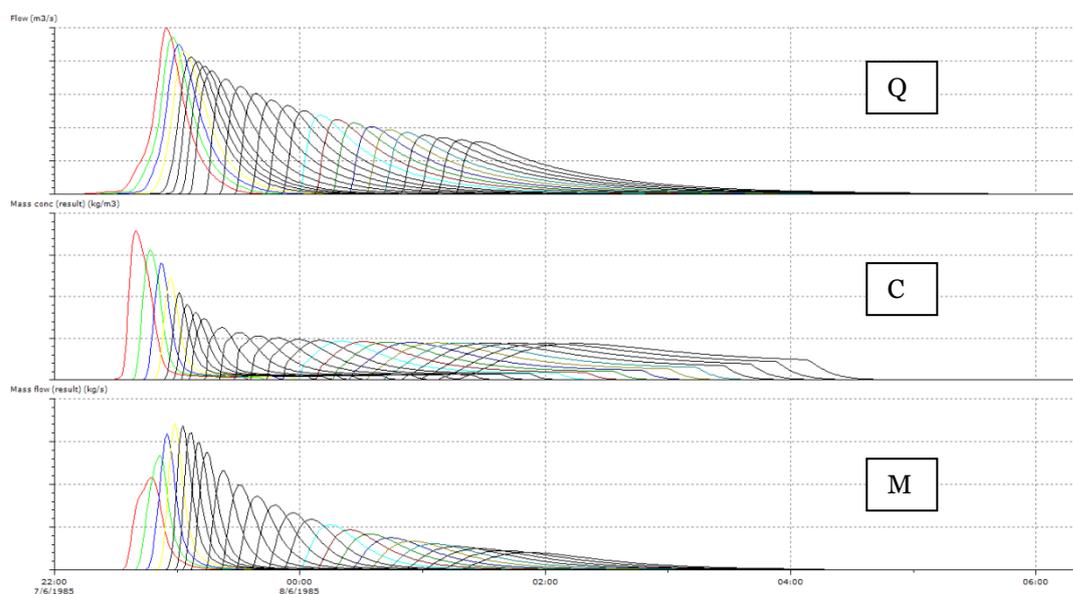


Figura 4.17 - *effetto di laminazione lungo L delle portate, delle concentrazioni e delle portate massiche.*

L'effetto di appiattimento della cresta e allungamento della coda delle portate, produce un cambiamento lungo L anche della concentrazione, che a sua volta modifica la portata massica. Come indicato da [1] l'effetto di laminazione sulle concentrazioni è molto sensibile al tipo di evento preso in considerazione. In questo caso si è riportato il caso di un idrogramma pressoché triangolare. Nel caso invece di idrogramma costante, tale effetto è assolutamente mitigato per quanto concerne l'andamento delle concentrazioni.

Ciò che risulta importante è definire come all'aumentare di L varia anche la portata massica: nella posizione di picco questa potrebbe anche essere superiore rispetto a quella in arrivo dal bacino più a valle, causando in breve tempo un incremento mag-

giore di massa rispetto all'incremento di portata. In questo caso l'aumento di concentrazione in vasca è superiore rispetto alla diminuzione del volume scaricato causando, come ribadito più volte una situazione di maggiore scarico.

In conclusione viene ribadito come tale curva è frutto della somma di tutte le masse scaricate per eventi reali di un anno. L'andamento quindi visto rappresenta l'effetto medio delle piogge annue di uno scarico.

Masse scaricate da vasche uniche di cattura

Si ricorda come le vasche di cattura lavorino in modo molto differente rispetto a quelle di transito. Per questa ragione sono valide le considerazioni effettuate per vasche di cattura in serie.

Per l'analisi del fenomeno vengono utilizzate le medesime diciture viste per le vasche uniche di transito, dove Q_u e M_{sf} rappresentano rispettivamente la portata limite del sistema di cattura e la massa scaricata dalla zona bypass.

Si mostrano i risultati ottenuti per vasche di cattura uniche e in parallelo con dimensione $50m^3/ha_{imp}$.

	$M_{sfv} (c) \text{ kg/ha}_{imp}$	$M_{sfv1} (a) \text{ kg/ha}_{imp}$	$M_{sfv2} (a) \text{ kg/ha}_{imp}$
100m	2355.597	1237.878	1237.878
200m	2353.451	1237.684	1237.684
500m	2359.511	1238.006	1238.006
1000m	2371.391	1238.082	1238.082
3000m	2425.684	1237.127	1237.127
5000m	2449.974	1237.400	1237.400
7500m	2447.021	1236.890	1236.89
10000m	2445.722	1237.135	1237.135

Tabella 4.7 - masse scaricate dalle due tipologie di vasche di cattura: uniche (c) e in serie (a)

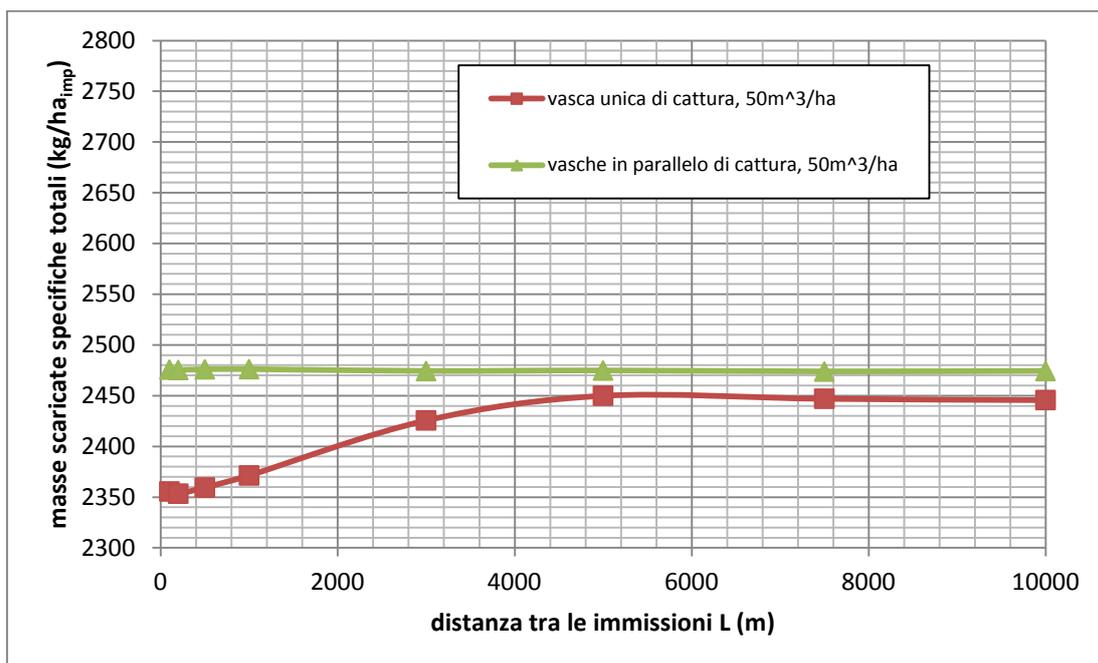


Grafico 4.33 - masse scaricate specifiche di vasche di cattura in parallelo (a) e uniche (c) con dimensione $50m^3/ha_{imp}$

L'andamento delle masse scaricate in funzione di L può essere spiegato attraverso 3 schemi, ognuno dei quali rappresenta rispettivamente la prima parte delle distanze (fino a 500-1000m), una parte intermedia di crescita di scarico e oltre i 5000-6000m l'ultima zona dove anche la grandezza della vasca diventa importante per poterne definire l'andamento.

Per brevi distanze ci si può riferire alla figura sottostante: i due idrogrammi Q_A e Q_B sono praticamente sovrapposti. A t_1 la vasca è piena, ed ha catturato una parte della massa al suo interno. La portata di massa che transiterà insieme alle portate tra t_1 e t_2 viene praticamente del tutto scaricata al ricettore. È interessante notare come proprio la posizione del picco di massa anticipata rispetto al picco di portata volumetrica permette di essere catturata una buona quantità nonostante l'invaso finisca prima dell'arrivo del picco di volume.

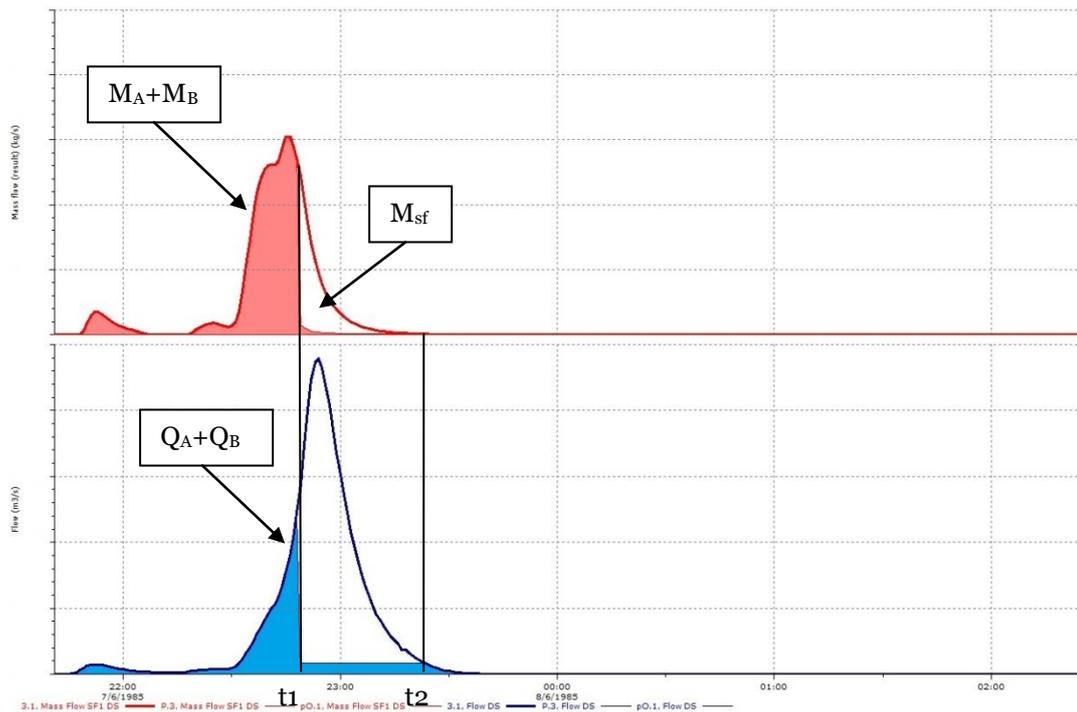


Figura 4.18 - masse e volumi a monte della vasca unica di cattura. La parte colorata è il volume/massa portata a depurazione, la zona non colorata rappresenta il volume/massa scaricato al ricettore. L 3000m.

Quindi ricapitolando, per brevi distanze M_A e M_B vengono catturati in parte all'interno della vasca.

All'aumentare di L diminuisce il volume scaricato e si sposta più avanti nel tempo t_1 . Ciò accade per la diminuzione di portata totale nella zona dell'invaso causata dalla traslazione avvenuta tra le due portate Q_A e Q_B . Ciò potrebbe erroneamente far pensare che in questo modo la vasca abbia una migliore efficienza sugli scarichi di sedimenti, mentre ciò non accade a causa della separazione anche delle masse M_B con M_A . Ciò è ben evidente in figura sottostante:

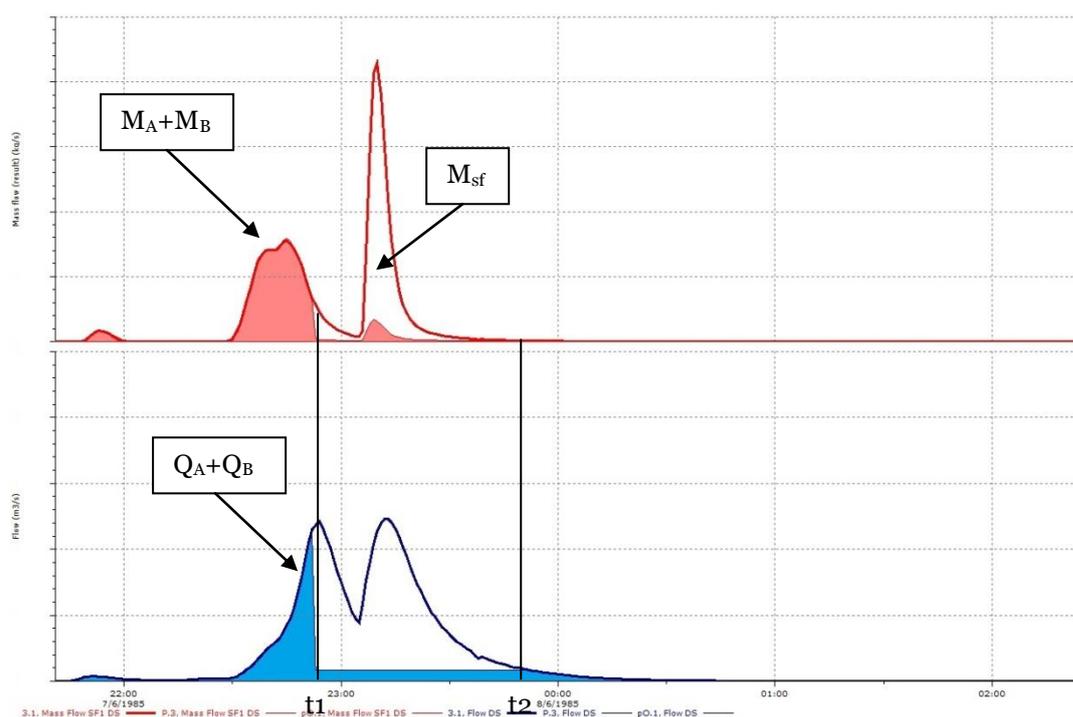


Figura 4.19 - masse e volumi a monte della vasca unica di cattura. La parte colorata è il volume/massa portata a depurazione, la zona non colorata rappresenta il volume/massa scaricato al ricettore. L 3000m.

Si nota molto bene come t_1 sia più avanti nel tempo, essendo l'incremento di portata in entrata in vasca più basso rispetto al caso visto precedentemente, e la distanza tra t_1 e t_2 sia maggiore. La vasca trattiene solo parte della massa M_B trascinata da Q_B , mentre la zona bypass, al suo riempimento, scarica praticamente la parte finale di M_B e tutta M_A .

Pur trattenendo una parte maggiore di M_B rispetto al caso dei 100m, lo scarico di praticamente tutta M_A è superiore rispetto a brevi distanze. Per questa ragione per distanze dove M_A si trova tra t_1 e t_2 , noi otteniamo un incremento di scarico che può sfociare in un punto di massimo relativo.

Quando invece la distanza è tale da dividere totalmente gli idrogrammi otteniamo una situazione come in **Figura 4.20**:

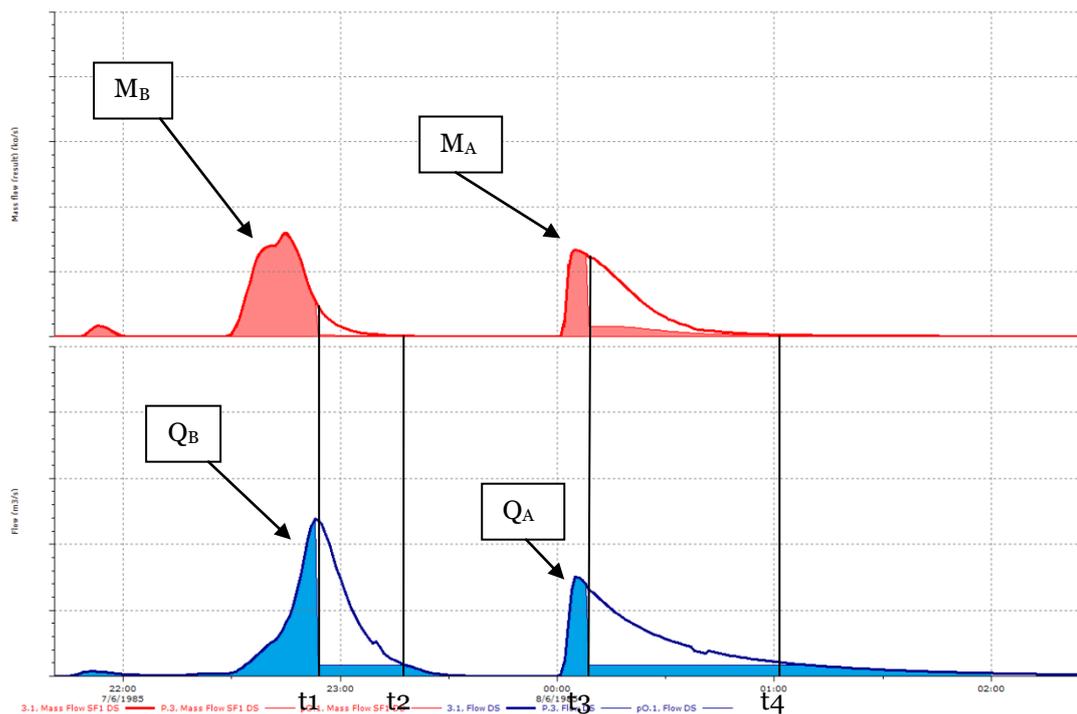


Figura 4.20 - masse e volumi a monte della vasca unica di cattura. La parte colorata è il volume/massa portata a depurazione, la zona non colorata rappresenta il volume/massa scaricato al ricettore. L 10000m.

I due idrogrammi e le due portate di massa sono totalmente separati. In questa situazione le vasche si riaprono (tra t_2 e t_3) tra l'arrivo di un evento e l'altro ripristinandosi in parte o totalmente (dipende da L e dalla forma dell'idrogramma). Inoltre all'aumentare di L , a causa della laminazione, avviene un'attenuazione del picco di portata con relativo abbassamento delle masse scaricate per via di un maggior quantitativo di massa catturato dalla vasca stessa.

Si nota come dai grafici **Grafico 4.21**, **Grafico 4.23**, **Grafico 4.25**, **Grafico 4.27** l'andamento nella zona sopra i 5000 metri sia diversa all'aumentare della vasca. Premettendo che tutte le variazioni rispetto ad L siano molto piccole, si sostiene che tale variazione della curva all'aumentare del volume della vasca sia da attribuire all'influenza che il volume stesso ha nei confronti delle diverse tipologie di piogge studiate. Basti pensare a un volume e una pioggia tale che pur avendo i due idrogrammi non del tutto separati (caso visto in **Figura 4.19**) sia praticamente catturata

l'intera massa. A questo punto il reale peggioramento si ha alla totale separazione degli idrogrammi, che ha causa della separazione totale della massa, una parte di essa viene quindi scaricata alla seconda riapertura dopo t_3 .

La complessità di tale rappresentazione annua rende molto difficoltosa la spiegazione di tale fenomeno in quanto assolutamente in funzione di molteplici parametri. Per questa ragione la rappresentazione soprastante, serve a dimostrare come gli andamenti delle masse scaricate, rispecchiano una fenomenologia comune in termini qualitativi, ma assolutamente diversificata in termini numerici.

4.2 Influenza della variazione dei volumi delle vasche

Se le variazioni sulle masse scaricate annue in funzione della distanza risultano essere molto piccole, l'influenza della dimensione delle vasche, risulta essere un parametro assolutamente fondamentale.

Il beneficio maggiore dipende principalmente dall'aumento della dimensione delle vasche di qualsiasi tipologia.

In letteratura sono presenti numerose indagini effettuate sull'efficacia della variazione di capacità di una vasca per quanto riguarda il volume scaricato e le masse scaricate al ricettore. In seguito vengono proposti i risultati ottenuti, paragonati poi a quelli relativi agli studi effettuati precedentemente a questo lavoro, per verificare se lo scarico di sistemi differenti riferiti a due bacini per un tempo di pioggia di un anno possano essere confrontati con i risultati registrati in letteratura.

In seguito vengono proposti sulla distanza di 100m i risultati ottenuti per quanto riguarda lo scarico di volume d'acqua al ricettore per i 3 sistemi studiati.

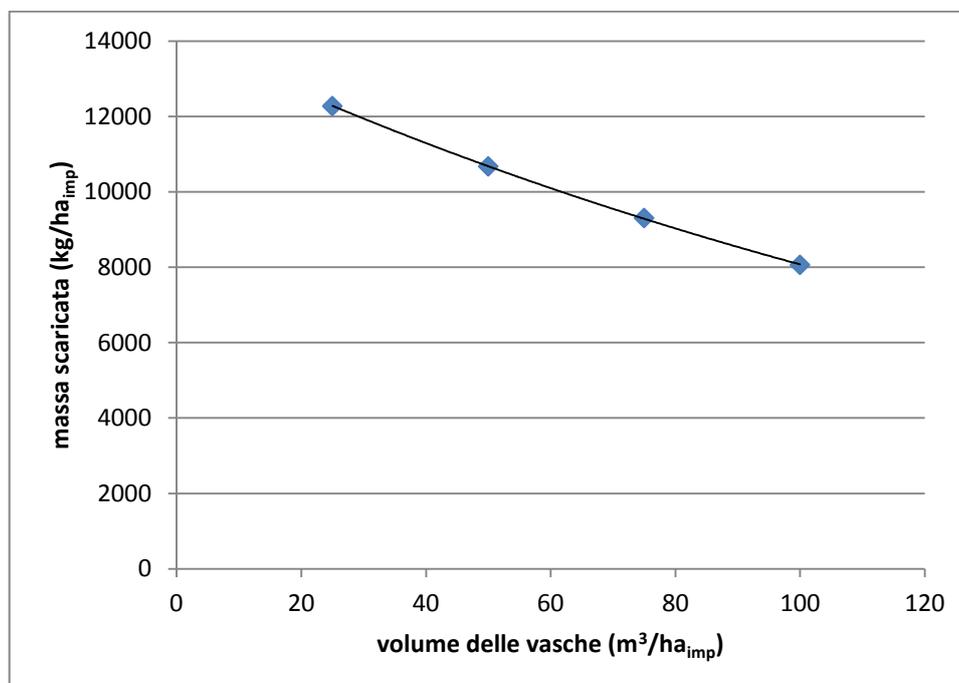


Grafico 4.34 - volumi scaricati annui di vasche in serie L 100m

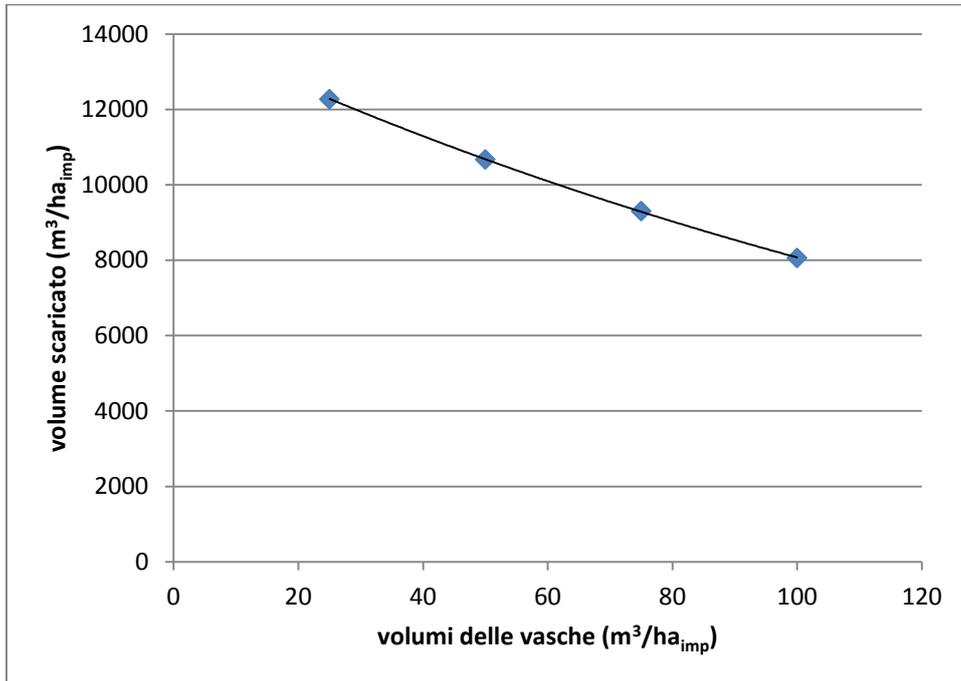


Grafico 4.35 - volumi scaricati annui di vasche uniche L 100m

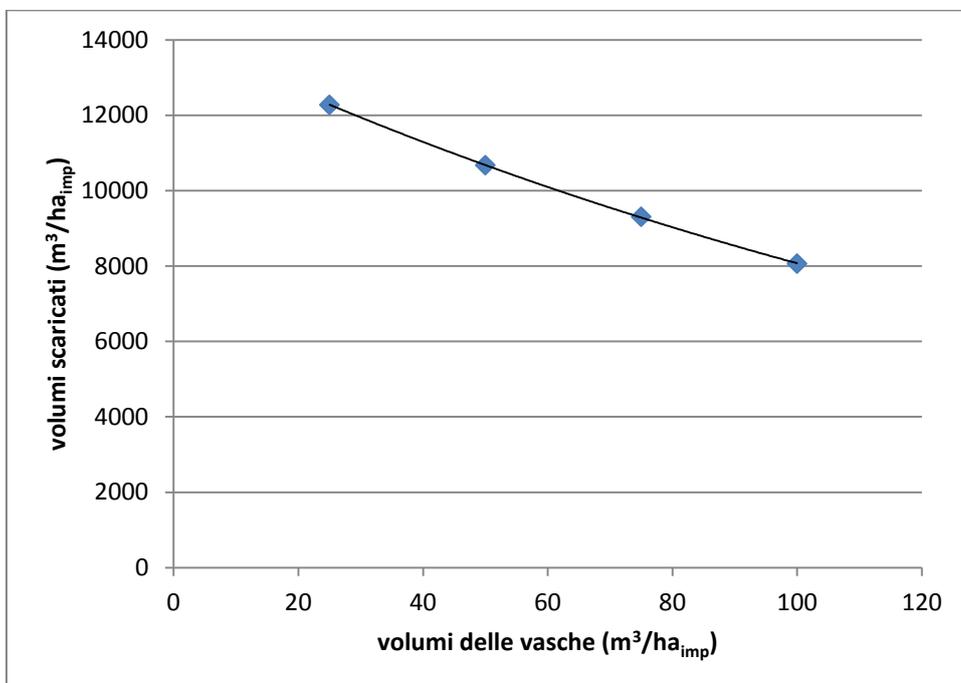


Grafico 4.36 - volumi scaricati annui da vasche in parallelo (L influente)

Come si può ben notare, i grafici hanno un andamento esponenziale, riassumibile nella formula

$$V_{sca} = Ae^{\alpha V_{vasca}} \quad 4.2$$

Dove:

- V_{sca} è il volume scaricato al ricettore
- A (m^3/ha_{imp}) e α (ha_{imp}/m^3) parametri relativi al tipo di sistema
- V_{vasca} è il volume della vasca (m^3/ha_{imp})

Dove il valore di A espresso su 5 distanze caratteristiche assume i seguenti valori:

VALORE DI A	vasche in serie (m^3/ha_{imp})	vasche uniche (m^3/ha_{imp})
100m	14122	14122
500m	14117	14117
1000m	14109	14109
5000m	14020	13980
10000m	13919	13813

Tabella 4.8 - valori del parametro A per i volumi scaricati in funzione di L

VALORE DI A	Vasche in parallelo (m^3/ha_{imp})
	14122

Tabella 4.9 - valore del parametro A per vasche in parallelo

Con α costante per ogni tipologia di rete presa in considerazione:

Vasche in serie	-0,006 ha/m ³
Vasche uniche	-0,006 ha/m ³
Vasche in parallelo	-0,006 ha/m ³

Tabella 4.10 - valori di α per ogni tipologia di rete

Il parametro A può anche essere espresso come

$$A = \gamma \cdot V_{tot} \tag{4.3}$$

E quindi:

$$V_{sca} = \gamma \cdot V_{tot} \cdot e^{\alpha \cdot V_{vasca}} \tag{4.4}$$

Dove

- V_{tot} (m³/ha_{imp}) rappresenta il volume totale immesso in rete dal bacino
- γ è un coefficiente adimensionale

con V_{tot} pari a 20090 m³/ha_{imp} otteniamo valori di gamma pari a

Valori di γ	vasche in serie	vasche uniche
100m	0,703	0,703
500m	0,703	0,703
1000m	0,702	0,702
5000m	0,698	0,696
10000m	0,693	0,687

Tabella 4.11 - valori di γ in funzione della distanza

Valori di γ	vasche in parallelo
-	0,703

Tabella 4.12 - valore di gamma per reti in parallelo

Si può inoltre determinare il volume percentuale portato a depurazione come:

$$\eta = (1 - \gamma e^{\alpha V_{bas}})100 \quad 4.5$$

Si nota l'influenza della capacità di invaso rispetto ai volumi scaricati in linea con quelli che sono i risultati ottenuti in letteratura come evidenziato in [4] *L. Bornatici, C. Ciaponi, S. Papiri* (2004) e in [2] *Artina S., Bolognesi A., Liserra T., Maglionico M.* Viene di seguito riportato quindi il volume scaricato da una vasca in funzione del suo volume al variare di R trovato in letteratura [4]:

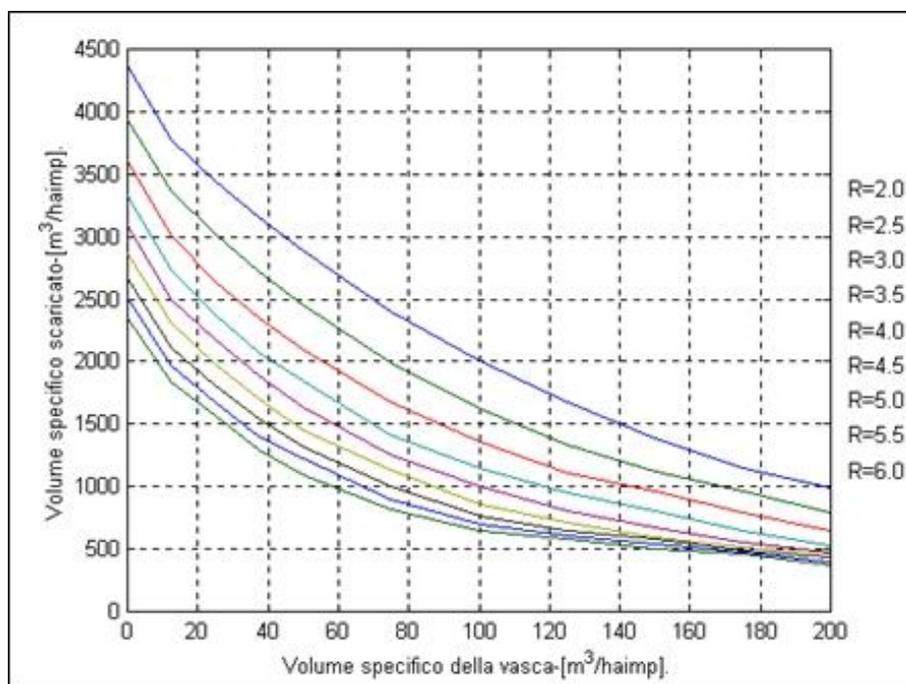


Grafico 4.37 - volume scaricato da vasche di prima pioggia in funzione del proprio volume [4]

Si riporta inoltre anche la riduzione del volume estrapolata da [2] per confrontarla con la riduzione ottenuta dalle simulazioni effettuate in questa sede:

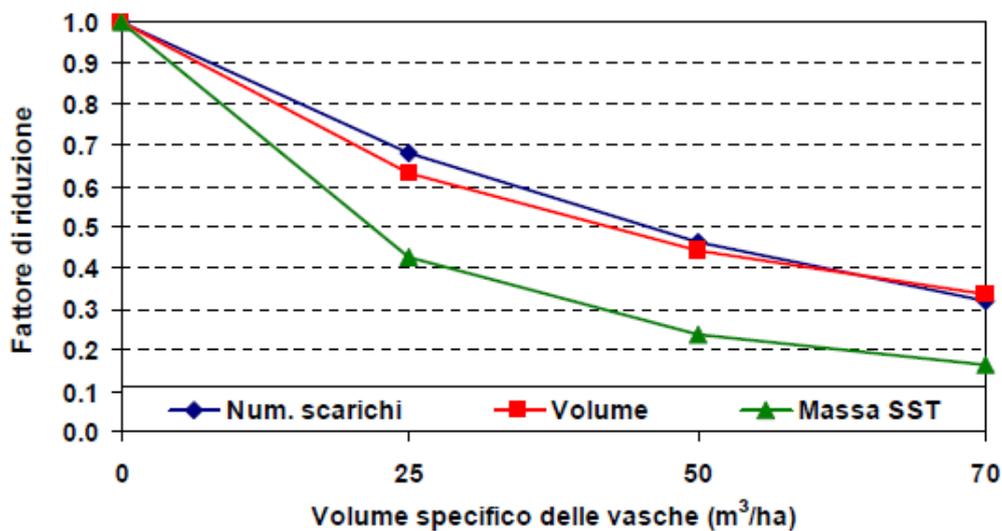


Grafico 4.38 – riduzione del volume e della massa scaricata da vasche di prima pioggia in funzione del proprio volume [2]

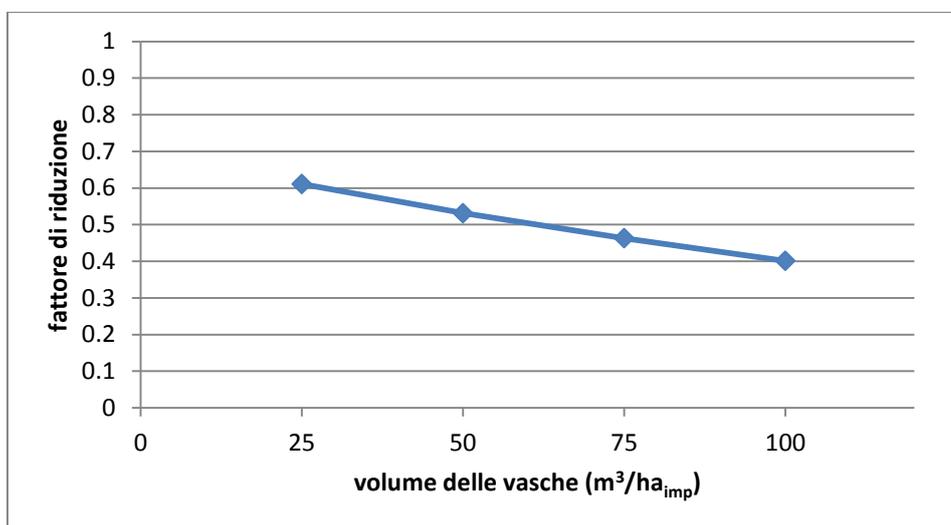


Grafico 4.39 – riduzione del volume scaricato da vasche di prima pioggia inserite in un sistema con vasche in parallelo.

La prima considerazione da effettuare è che nonostante vi siano delle variazioni di tipo volumetrico, l'andamento qualitativo è assolutamente paragonabile con gli studi precedenti. Questo indica come ad ogni modo la tipologia di rete separata studiata permette uno scarico in funzione della capacità di vasca assolutamente riconducibile al caso ideale di unica vasca a cui afferisce un unico bacino. Le differenze numeriche possono essere facilmente riconducibili al tipo di evento di un anno considerato e alla tipologia diversificata di reti studiate.

Per sottolineare ancora maggiormente questo fatto vengono analizzati e confrontati i risultati ottenuti anche per quanto riguarda gli scarichi di massa inquinata.

Vengono proposti di seguito i risultati ottenuti per distanze 100,3000 e 1000m che rappresentano le distanze dove abbiamo maggiore variazione per L di massa scaricata.

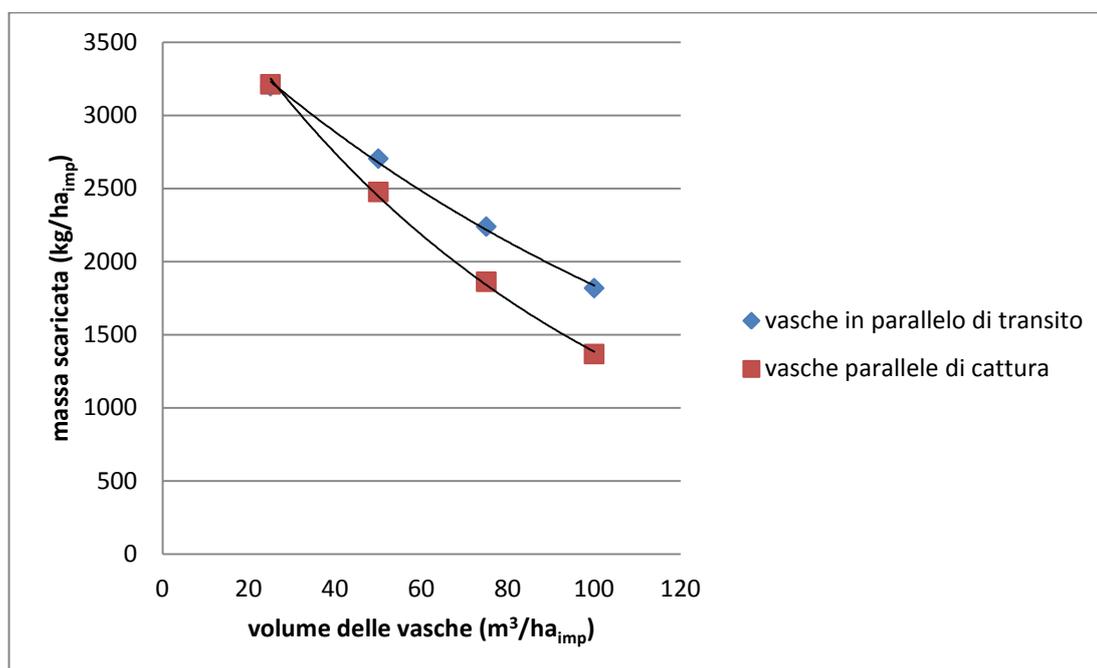


Grafico 4.40 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti in parallelo

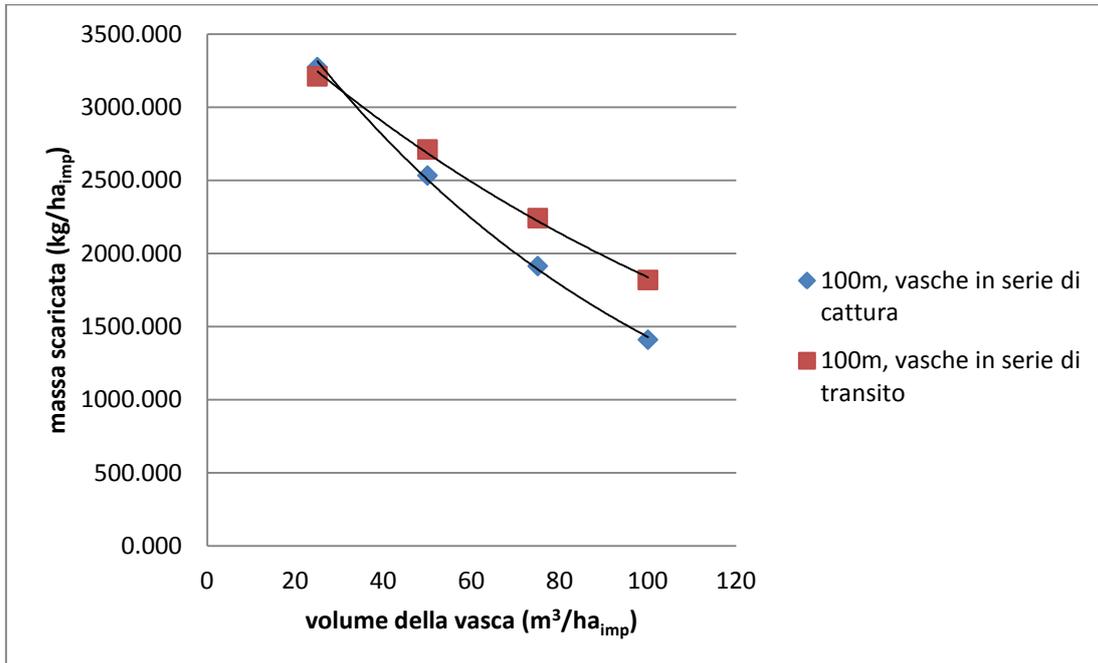


Grafico 4.41 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche in serie L 100m

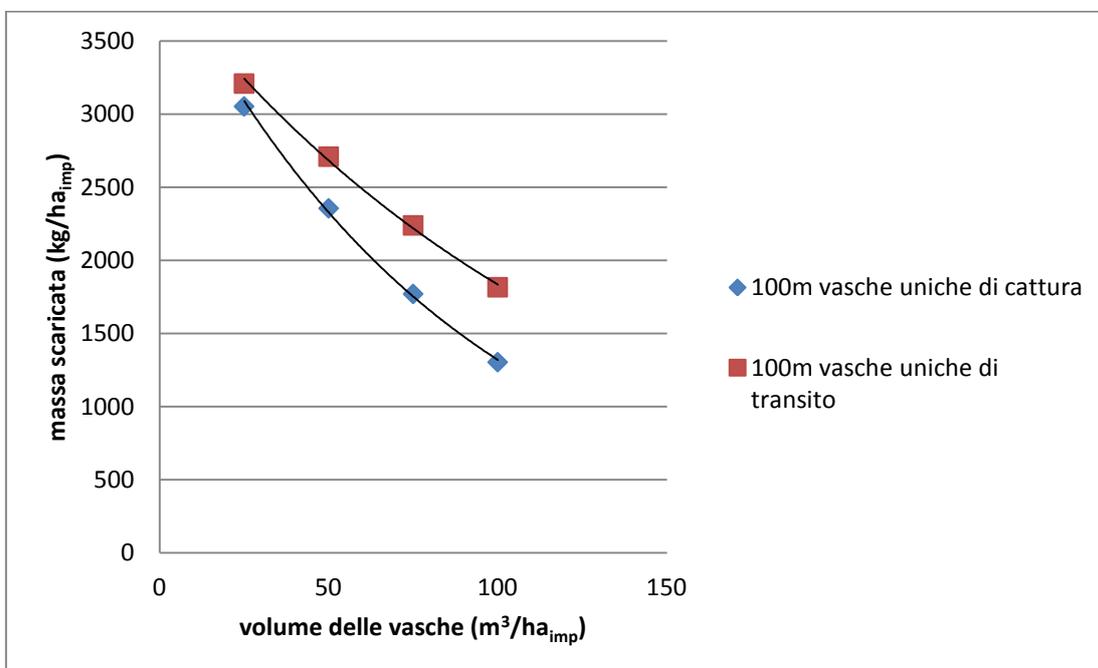


Grafico 4.42 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche uniche L 100m

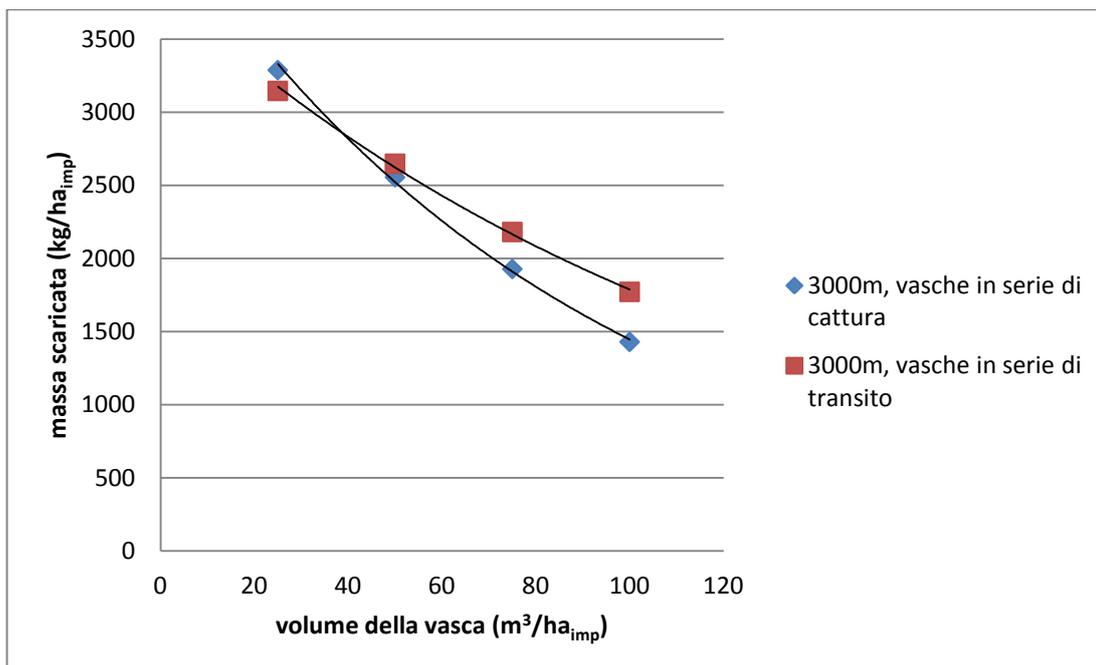


Grafico 4.43 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche in serie L3000m

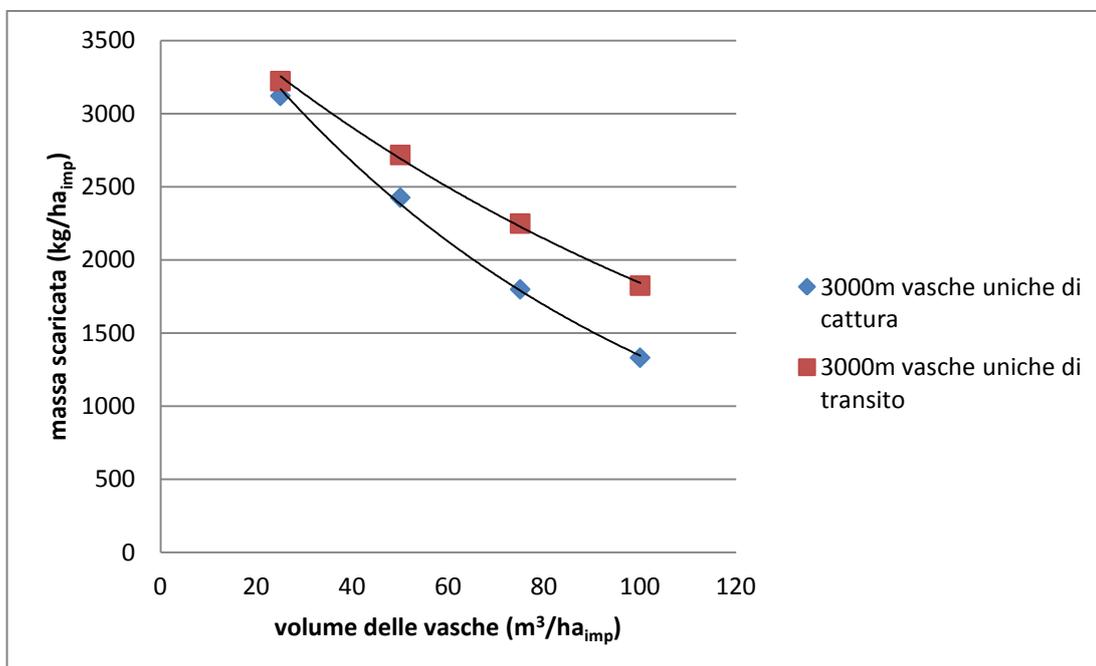


Grafico 4.44 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche uniche L3000m

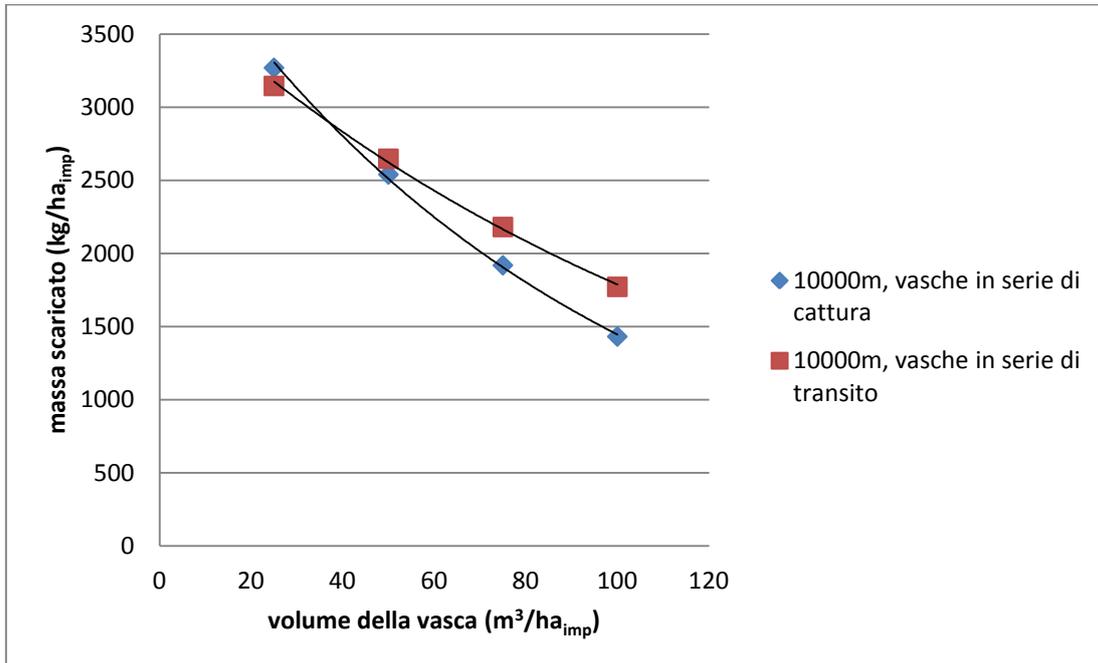


Grafico 4.45 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche in serie L10000m

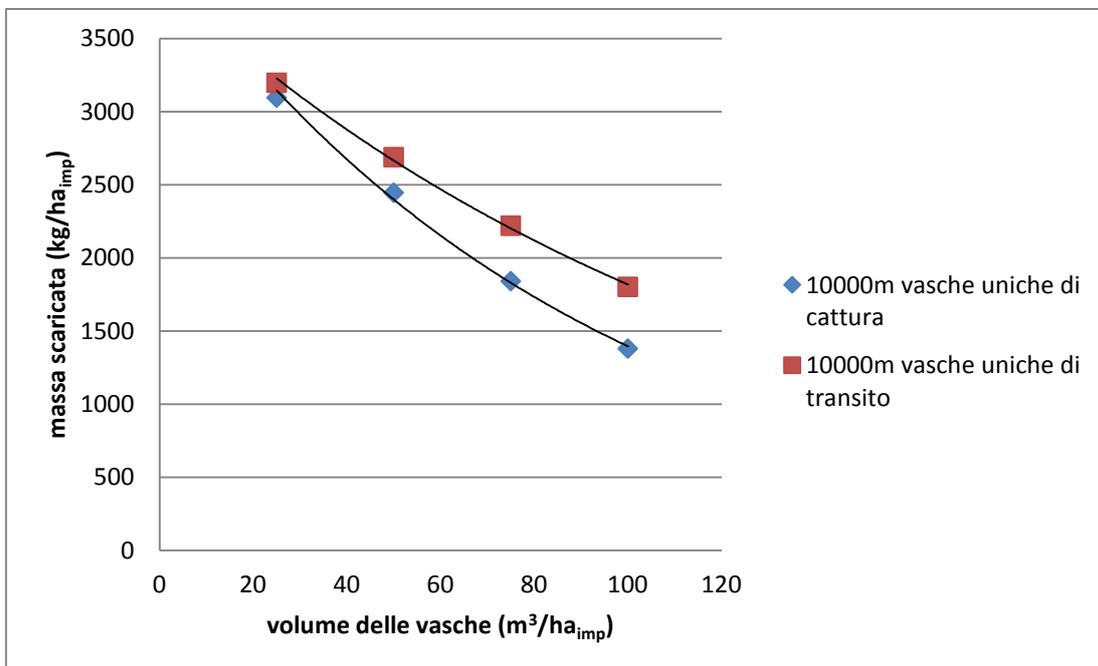


Grafico 4.46 - masse scaricate in funzione del volume della vasca. Reti vasche uniche L10000m

Come per i volumi si nota un andamento esponenziale degli scarichi per entrambe le tipologie di vasche (transito e cattura):

$$M_{sca} = B e^{\alpha V_{vas}} \quad 4.6$$

Dove:

- B (kg/ha_{imp}) e α (kg/ha_{imp}) sono parametri riferiti al tipo di sistema
- M_{sca} (kg/ha_{imp}) è la massa scaricata totale al ricettore
- V_{vas} (m³/ha_{imp}) è il volume della vasca

Otteniamo i seguenti valori di B:

VALORI DI B	vasche in serie di transito (kg/ha _{imp})	vasche in serie di cattura (kg/ha _{imp})	vasche uniche di transito (kg/ha _{imp})	vasche uniche di cattura (kg/ha _{imp})
100m	3920,8	4388,3	3919,1	4103,3
3000m	3845,3	4395,7	3933,3	4213,9
10000m	3845,3	4354,5	3905,7	4122

Tabella 4.13 - valori di B al variare della distanza per vasche in serie e uniche nelle due tipologie di transito e di cattura

VALORI DI B	Vasche in parallelo di transito	Vasche in parallelo di cattura
-	3899,7	4321,2

Tabella 4.14 - valori di B per vasche in parallelo nelle due tipologie di vasche (transito e cattura)

Mentre α rimane costante lungo le distanze ma varia per tipologia di vasca. Infatti si noti come all'aumentare del volume del serbatoio, si riscontra un minor scarico di solidi sospesi per quanto riguarda le vasche di cattura:

Vasche di transito	-0,008 ha/m ³
Vasche di cattura	-0,011 ha/m ³

Tabella 4.15 - valori di a per vasche di transito e di cattura

Come visto per i volumi, B può essere espresso come:

$$B = \beta \cdot M_{tot} \quad 4.7$$

Dove

- β è un coefficiente adimensionale
- M_{tot} è la massa totale immessa in rete dal fenomeno di wash off

Dove M_{tot} in questo caso è pari a 5118,9 kg/ha_{imp} e β pari a:

VALORI DI β	vasche in serie di transito	vasche in serie di cattura	vasche uniche di transito	vasche uniche di cattura
100	0.766	0.857	0.766	0.802
3000	0.751	0.859	0.768	0.823
10000	0.751	0.851	0.763	0.805

Tabella 4.16 - valori di β per vasche in serie e uniche nelle due tipologie (cattura e transito)

VALORI DI β	Vasche parallele di transito	Vasche parallele di cattura
	0.769	0.844

Tabella 4.17 - valori di β per vasche in parallelo nelle due tipologie (cattura e transito)

In generale si può definire

$$M_{sca} = \beta \cdot M_{tot} \cdot e^{\alpha \cdot V_{vas}} \quad 4.8$$

Inoltre può essere stabilito una capacità di cattura percentuale ε attraverso la formula

$$\varepsilon = (1 - \beta e^{\alpha V_{vas}})100 \quad 4.9$$

Inserendo per ogni range di distanza e tipologia i valori corrispondenti di β e α .

Anche in questo caso, le masse scaricate possono essere confrontate qualitativamente con la letteratura nel quale si riscontrano i medesimi andamenti qualitativi. Per quanto riguarda le masse scaricate totali notiamo come da **Grafico 4.47** che i risultati ottenuti rispecchiano gli andamenti esponenziali ottenuti in [4] per entrambi i tipi di vasca.

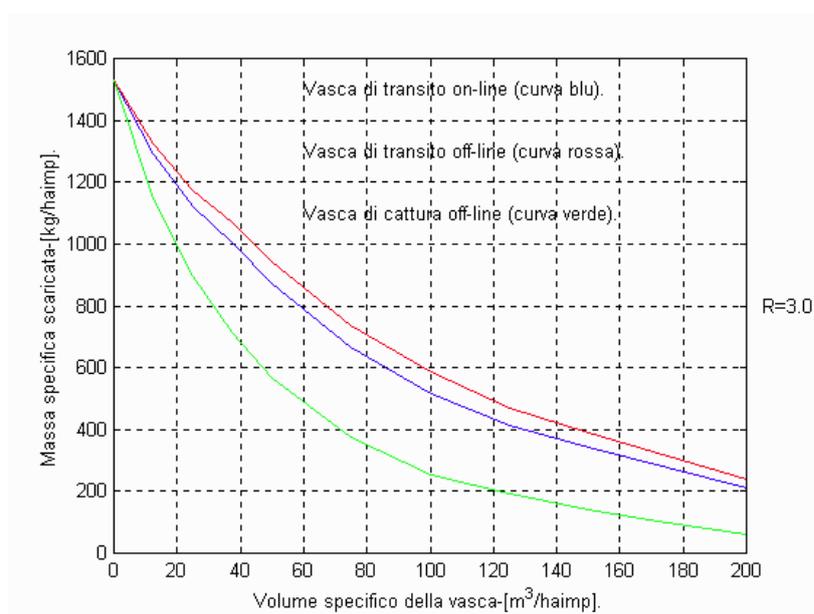


Grafico 4.47 - masse scaricate annue da sistema fognario misto e separato di vasche di prima pioggia di transito e di cattura in funzione del volume [4]

Anche per quanto riguarda i rendimenti di vasche di cattura, si evidenzia, nello specifico caso, come i risultati ottenuti rispecchino in modo qualitativo i risultati proposti da [3] S. Papiri, S. Todeschini per quanto riguarda l'efficacia di vasche di cattura continue attraverso un'analisi più dettagliata degli effetti di questa tipologia di vasca:

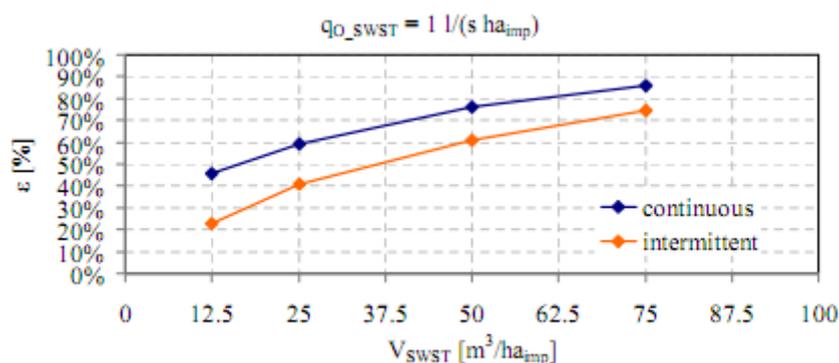


Grafico 4.48 - masse % catturate da vasche di cattura continue e ad intermittenza [3]

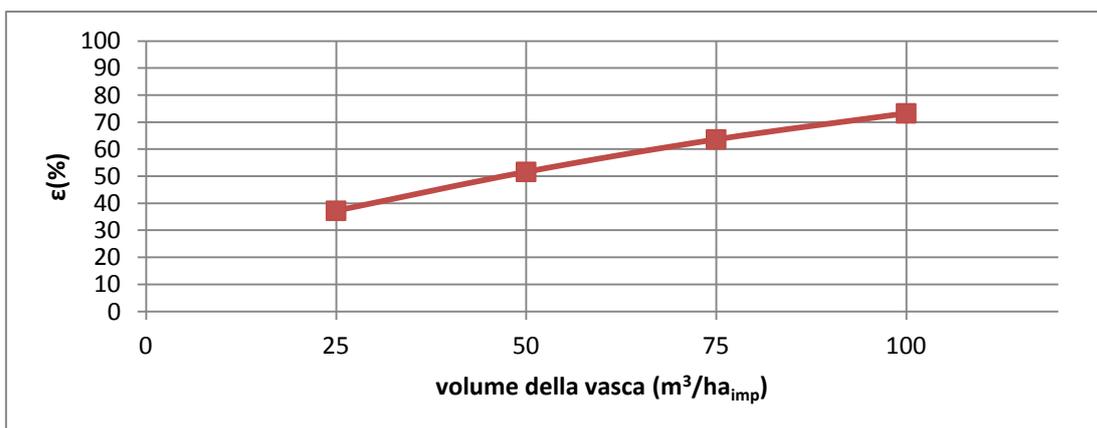


Grafico 4.49 - masse % catturate da vasche di cattura continue poste in parallelo

Le differenze numeriche ottenute, possono essere ricondotte al diverso tipo di software utilizzato e al regime pluviometrico annuo utilizzato.

4.3 Confronto tra le varie tipologie di reti e vasche

In seguito viene presentato il confronto al variare della dimensione della vasca. A parità di volume portato a depurazione, vengono analizzate le capacità percentuali di trattenimento di masse dai due tipi di vasche nelle tre tipologie di rete. Si nota in modo immediato come la distanza risulti essere un fattore di pochissimo conto in termini di capacità di cattura dei solidi sospesi.

È interessante il confronto con sistemi con vasche in parallelo, in quanto rappresentano il sistema più semplice, dove per ogni bacino senza interferenze avviene riempimento e scarico delle vasche.

Di seguito vengono proposte le capacità di trattenimento delle vasche in funzione della grandezza di queste per tutte le distanze studiate per le soluzioni in serie e uniche ricordando che le vasche in parallelo non sono influenzate da L . Ciò serve a dimostrare l'influenza di questo parametro, che risulta essere nulla nelle soluzioni di vasche di transito, mentre almeno per le soluzioni con vasche di cattura uniche si hanno delle leggere differenze che verranno mostrate in seguito.

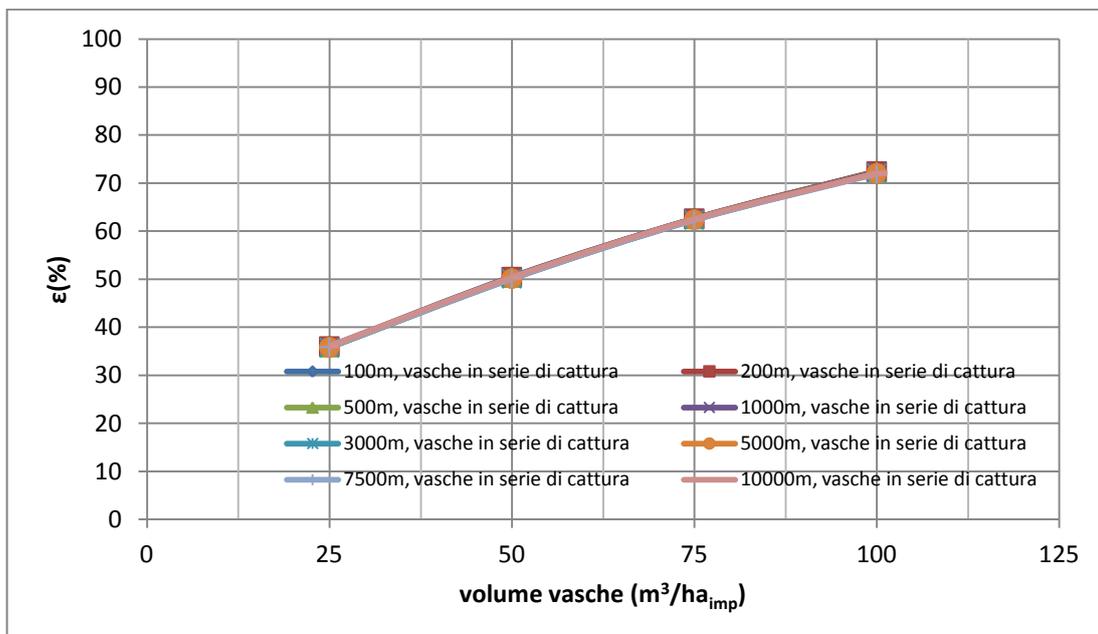


Grafico 4.50 - massa TSS ϵ (%) catturata da vasche in serie di cattura

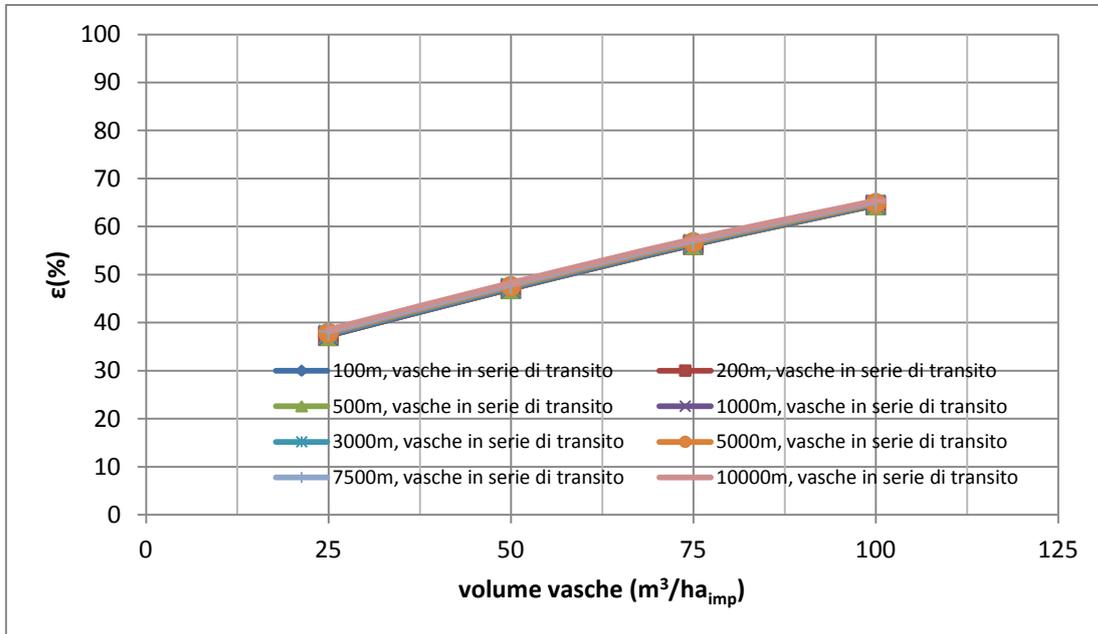


Grafico 4.51 - massa TSS ε (%) catturata da vasche in serie di transito

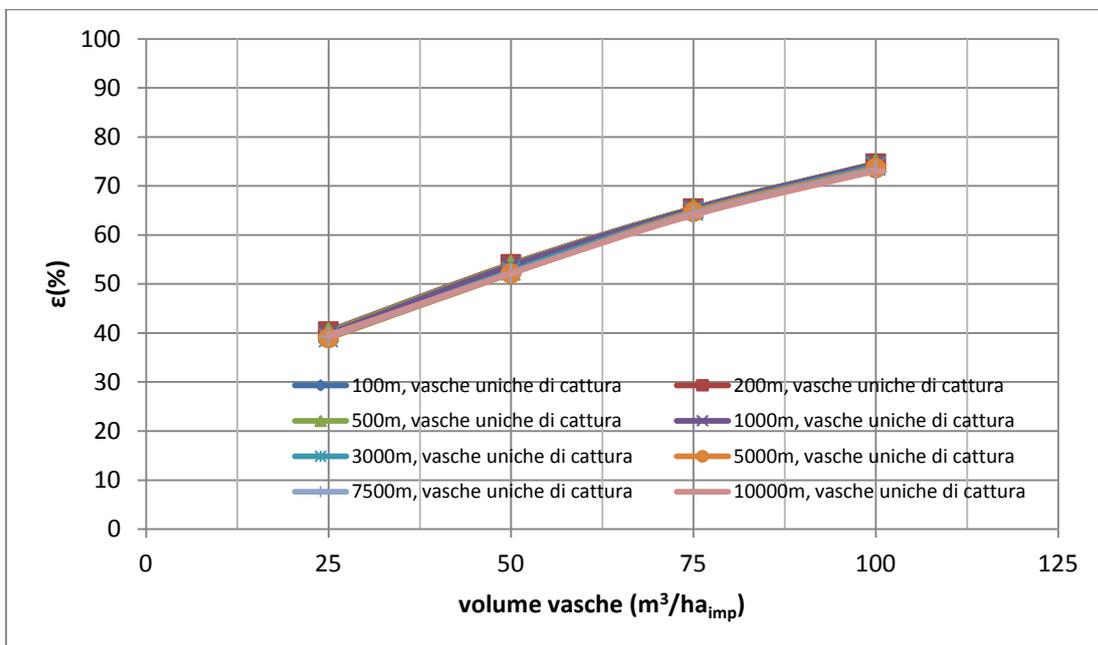


Grafico 4.52 - massa TSS ε (%) catturata da vasche di cattura uniche

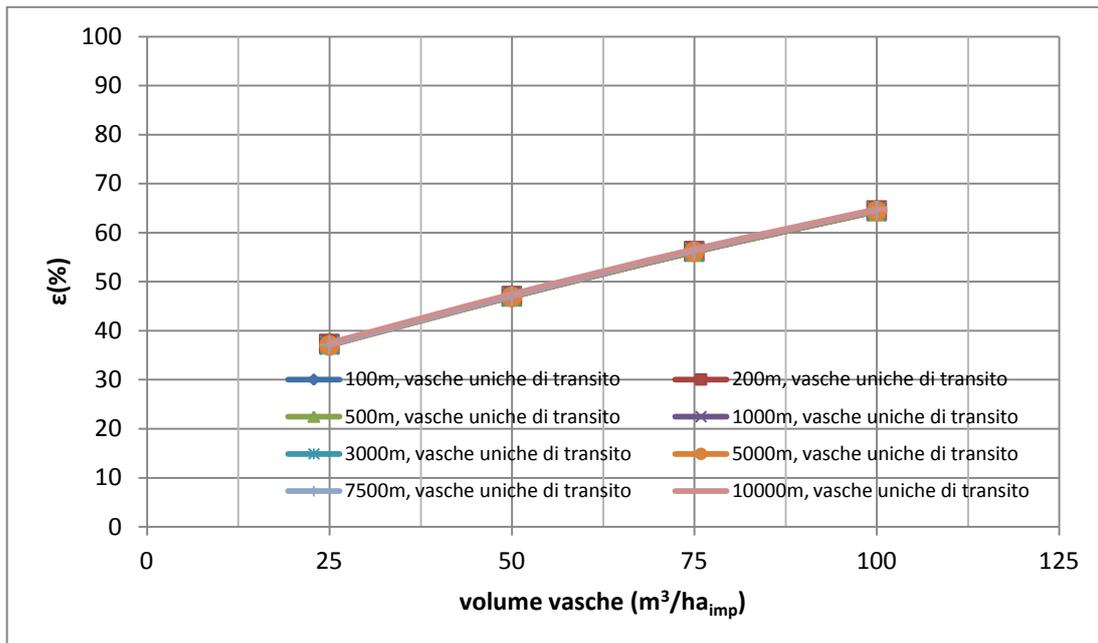


Grafico 4.53 - massa TSS ε(%) catturata da vasche di transito uniche

Come già espresso in precedenza, si nota come le differenze di TSS catturato per ogni distanza al variare della dimensione della vasca risulta essere molto bassa. Ciò è ben evidente dai grafici sopra proposti dove si nota la totale sovrapposizione di tutte le curve per ogni distanza studiata.

A questo punto si può procedere con il confronto tra le due diverse tipologie di vasche studiate:

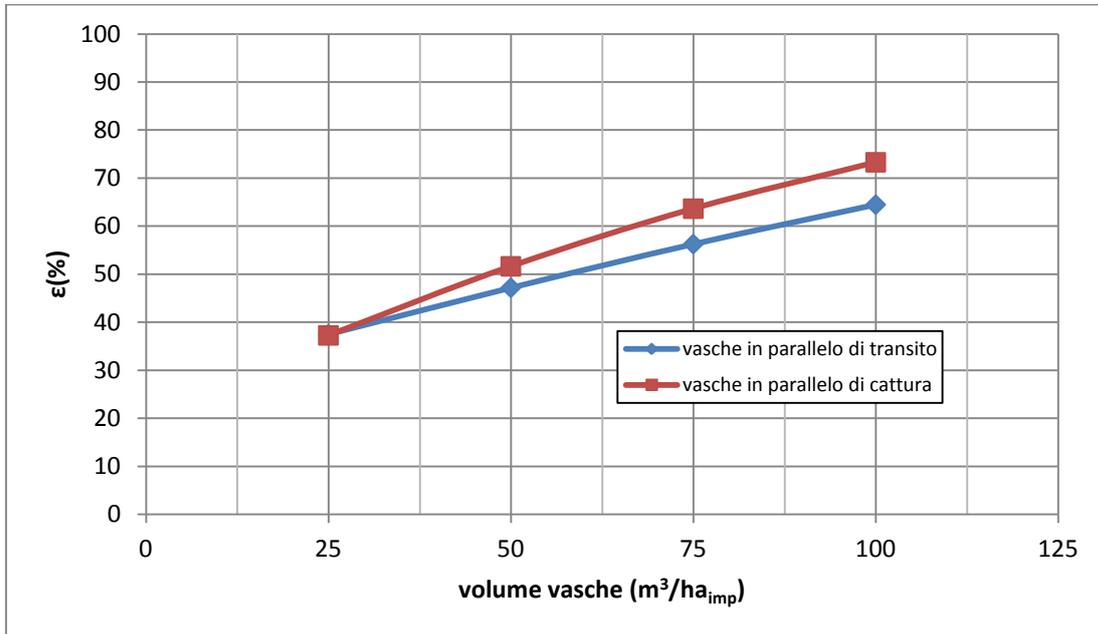


Grafico 4.54 - confronto tra le masse TSS ε(%) catturate da vasche di transit e di cattura per vasche poste in parallelo

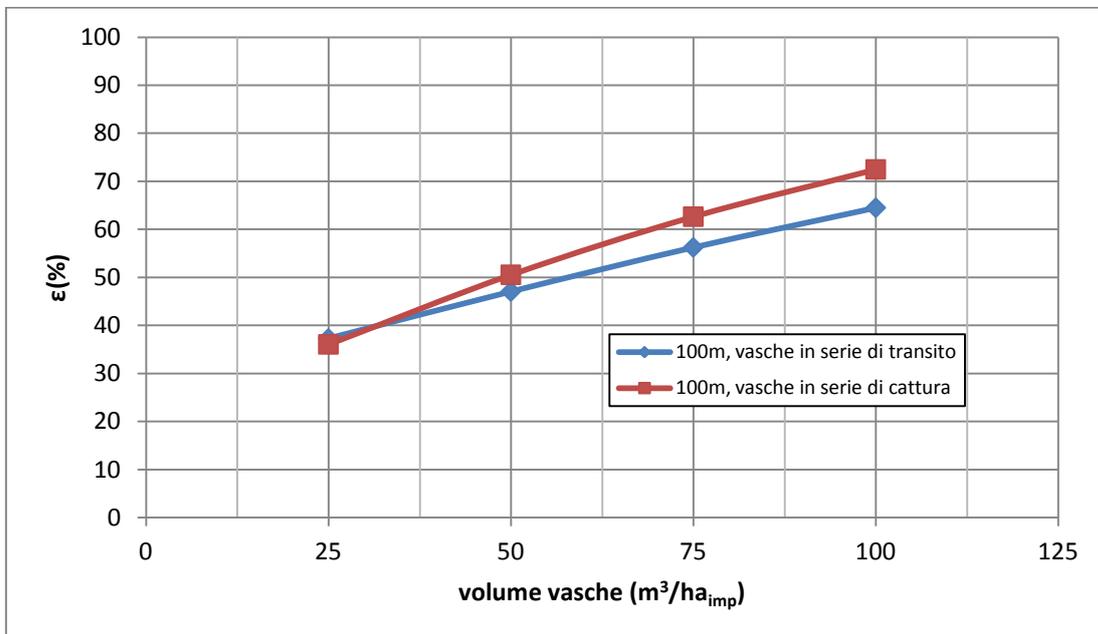


Grafico 4.55 - confronto tra le masse TSS ε(%) catturate da vasche di transit e di cattura per vasche poste in serie

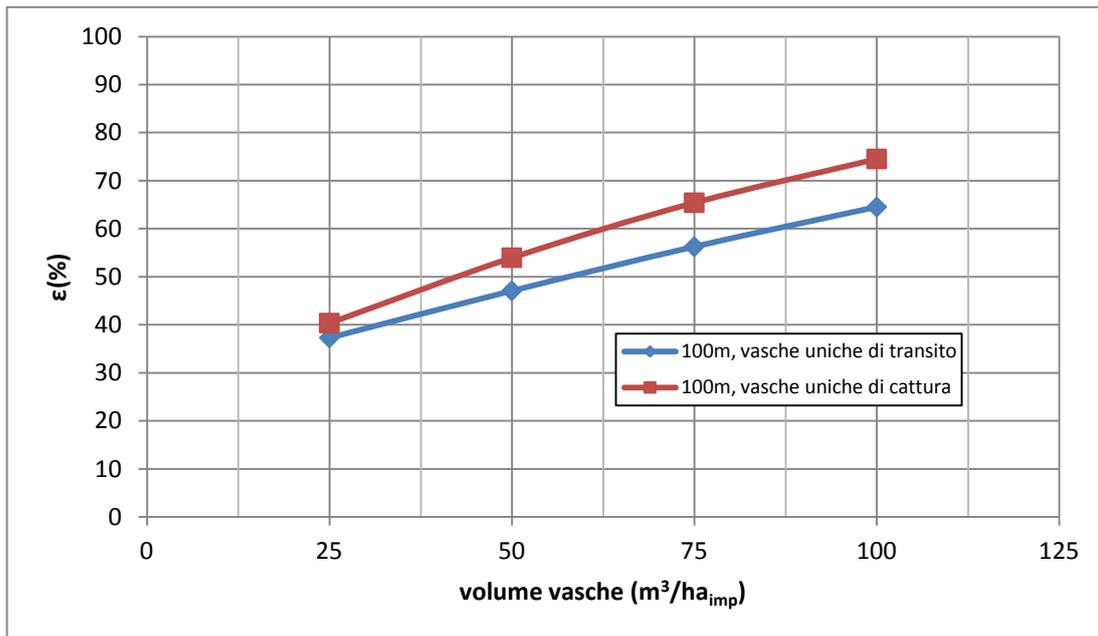


Grafico 4.56 - confronto tra le masse TSS ε(%) catturate da vasche di transit e di cattura per vasche uniche

Si nota come all'aumentare del volume, per tutte le tipologie progettuali di rete, aumenti la capacità di trattenimento dei TSS delle vasche di cattura rispetto alle vasche di transit.

Mentre le vasche di transit non superano mai un rendimento superiore al 65%, le vasche di transit raggiungono più o meno questo valore per tutte le tipologie di grandezza alla dimensione di 75m³/ha_{imp}.

Per vasche di piccola dimensione, invece, le capacità delle vasche in tutte e due le tipologie risultano essere simili, su valori che si aggirano intorno al 35-40%. Infatti come viene mostrato in **Grafico 4.54**, dove i serbatoi lavorano in modo del tutto autonomo, si nota la totale uniformità di massa scaricata dai due sistemi di vasche.

Per capire il perché di questi risultati, occorre indagare sul tipo di funzionamento per quanto riguarda la cattura e il transit.

La vasca di cattura scarica praticamente la quasi totalità della massa in arrivo dal bacino (a meno di una piccolissima quantità portata a depurazione dalla portata limite costante di 1 l/s ha_{imp}) dopo il riempimento della vasca, senza far interagire i

nuovi volumi su quelli già presenti nel serbatoio. Ogni fenomeno di rimescolamento è quindi scongiurato proprio per il meccanismo di chiusura della vasca.

Le vasche di transito invece, sono fortemente soggette al continuo rimescolamento dei TSS in vasca a causa dell'iterazione dei volumi già contenuti in vasca con quelli in arrivo negli istanti successivi. La portata di massa scaricata è quindi conseguenza della portata volumetrica immessa nel ricettore, ma soprattutto della concentrazione presente in vasca.

Riassumendo a parità di volume scaricato, le vasche di cattura scaricano la portata di massa trasportata dal flusso a monte del serbatoio mentre le vasche di transito scaricano portata di massa in funzione della concentrazione presente in quel momento nella vasca.

Al variare della dimensione del serbatoio, i due sistemi hanno un aumento di rendimento differente a causa proprio del modello di funzionamento descritto sopra.

Trattando le vasche di transito si nota il seguente fenomeno: all'aumentare della dimensione della vasca, l'effetto di rimescolamento risulta essere sempre più decisivo. Ciò può essere spiegato a causa del maggior volume trattenuto e del maggior tempo di ripristino necessario della vasca per svuotarsi. Infatti più volume possiede il serbatoio più la portata in uscita costante, impiega più tempo a svuotarlo. In questo modo all'interno della vasca viene catturato un maggior quantitativo di massa ed il volume scaricato è sempre più ridotto, ma aumenta la concentrazione in vasca per un determinato periodo di tempo, causato dall'interazione tra le sempre crescenti masse trattenute e quelle nuove: una vasca piccola trattiene meno solidi sospesi e ha quindi nella fase di maggiore scarico una concentrazione più bassa rispetto a quella di una vasca più grande, la quale nel momento in cui inizia a scaricare (più in là nel tempo) ha accumulato un maggior quantitativo di solidi sospesi, aumentando rispetto al caso precedente la concentrazione nella fase di scarico.

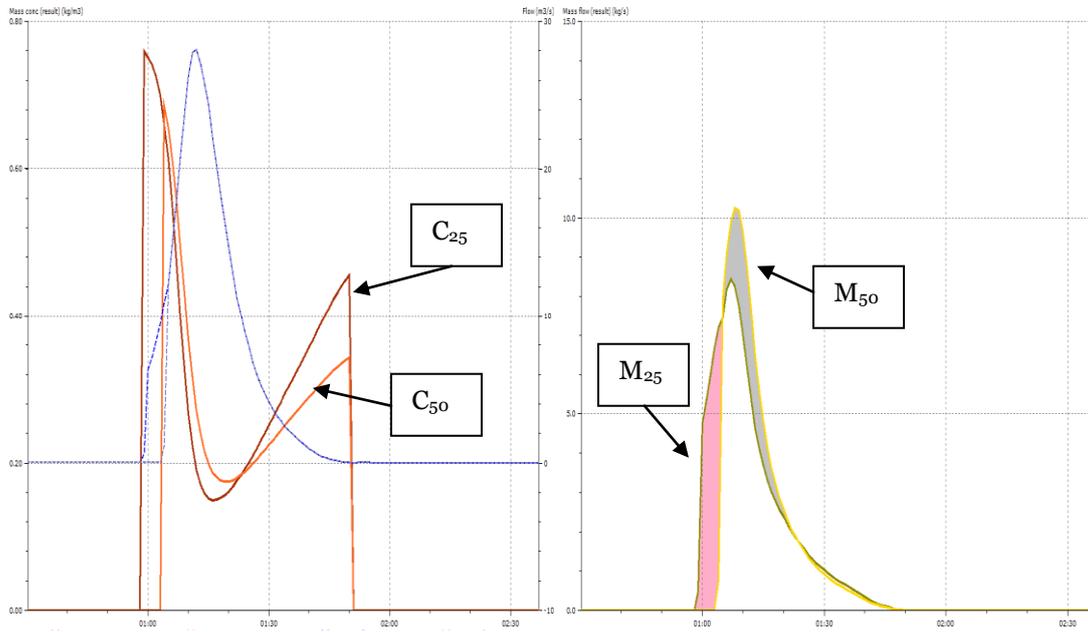


Figura 4.21 - a sinistra: concentrazioni dello scarico in vasche da 25 e 50 m³/ha_{imp} e portate volumetriche scaricate per vasche di transito da 25 e 50 m³/ha_{imp}. A destra: masse scaricate dalle vasche di transito rispettivamente di 25 e 50 m³/ha_{imp}

Nella figura soprastante di destra, la parte in rosa rappresenta la differenza di massa scaricata tra vasche di 25 m³/ha_{imp} e quelle da 50 m³/ha_{imp} causata dall'aumento del volume di invaso, mentre la parte in grigio rappresenta la massa scaricata in quel lasso di tempo superiore per le vasche da 50m³/ha_{imp}. Si nota come in media per tutti gli eventi di un anno, la parte in eccedenza scaricata da vasche più grandi rispetto a quelle più piccole (in grigio) risulta essere più piccola rispetto alla differenza iniziale non scaricata da quelle di maggior volume (in rosa). Ciò nonostante ricordando la formula

$$M_{sca} = V_{sca} \cdot C \quad 4.10$$

La diminuzione della quantità di massa scaricata al crescere della dimensione della vasca è data dalla diminuzione di volume scaricato, che risulta essere il vero fattore

di riduzione, mentre è attenuata dall'aumento di concentrazione dei TSS in vasca a causa del sempre maggior accumulo di sedimenti.

Trattando invece delle vasche di cattura si nota in vece come il fenomeno di rimescolamento sia del tutto assente. Lo scarico di massa sarà quindi soggetto al volume scaricato e alla concentrazione presente in quel momento nella portata a monte della vasca. Infatti confrontando due dimensioni di vasca come nella seguente figura, si nota che alla diminuzione di volume scaricato non vi è variazione di concentrazione tra gli scarichi di un sistema bypass in vasca di cattura.

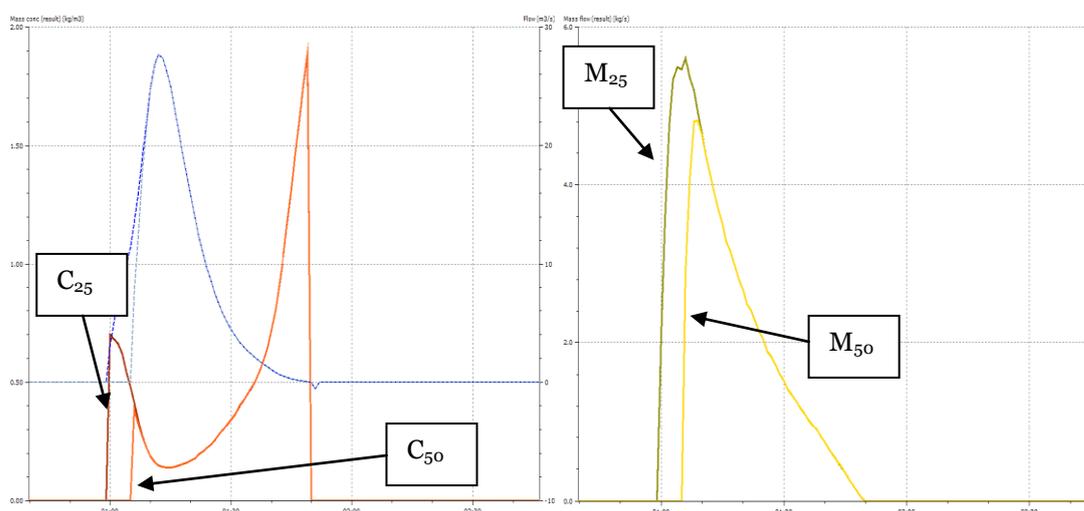


Figura 4.22 - a sinistra: concentrazioni dello scarico in vasche da 25 e 50 m³/ha_{imp} e portate volumetriche scaricate per vasche di cattura da 25 e 50 m³/ha_{imp}. A destra: masse scaricate dalle vasche di cattura rispettivamente di 25 e 50 m³/ha_{imp}.

All'aumentare quindi della vasca, risulta decisiva la diminuzione di volume scaricato e quindi il taglio sempre più avanti nel tempo della portata di massa in arrivo da monte che verrà poi scaricata (vedi in **Figura 4.22** a destra: la massa scaricata da vasche di 50 m³/ha_{imp} risulta essere pari a quella scaricata da vasche di 25 m³/ha_{imp} meno la parte iniziale catturata dal maggior volume della prima vasca in esame).

Attuando un confronto per lo stesso evento di pioggia visto precedentemente per tutte le tipologie e dimensioni si mostra un grafico riassuntivo (**Figura 4.23**) di quanto detto fino a ora, dove si mostra l'aumento nella fase di maggior scarico della concentrazione in vasche di transito e l'andamento delle concentrazioni degli scarichi in vasche di cattura, ricordando che per ogni dimensione, abbiamo un volume V_{sca} scaricato pari per le due tipologie (transito e cattura). Si nota come per la maggior parte della fase di scarico la concentrazione all'aumentare della dimensione della vasca sia sempre maggiore.

Questo diverso tipo di funzionamento induce per dimensioni crescenti di invaso un maggior scarico da parte delle vasche di transito rispetto a quelle di cattura. Per quanto riguarda invece le vasche di piccole dimensioni notiamo come le due tipologie scarichino le medesime quantità. Ciò significa che, nonostante il diverso funzionamento, la vasca di transito subisce meno l'effetto negativo di rimescolamento proprio a causa del volume, ed è maggiore, molto probabilmente, l'effetto positivo di riduzione della concentrazione su molti eventi di tipo complesso. Infatti ciò che abbiamo visto finora per quanto riguarda le vasche di transito rappresenta un andamento medio verificato su base annua, formato dalla somma degli scarichi avvenuti per ogni evento considerato. Il fenomeno di rimescolamento è molto complesso ed è strettamente legato alla forma e alla variabilità del fenomeno di *wash off* rispetto all'intensità di pioggia, all'idrogramma in ingresso in vasca, alla distanza degli eventi nel tempo eccetera. Evidentemente una vasca di piccole dimensioni attenua i fenomeni peggiorativi proprio per le sue ridotte dimensioni e capacità di cattura.

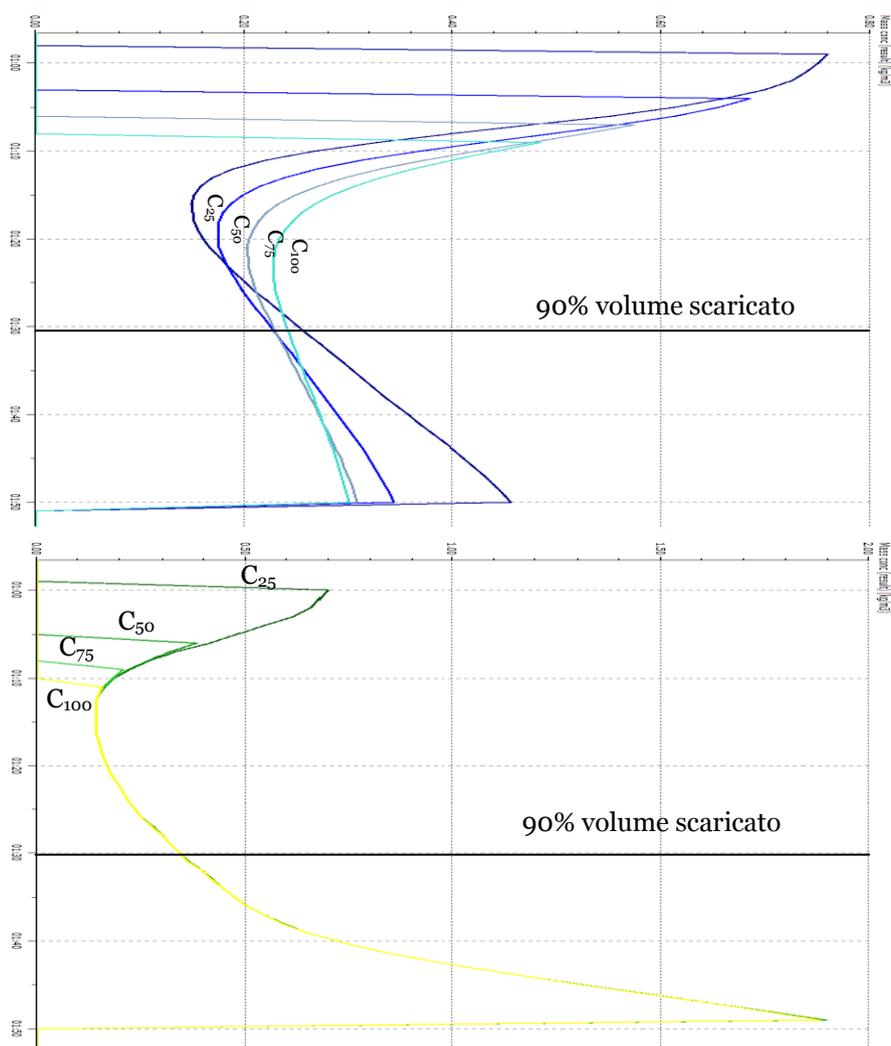


Figura 4.23 - *Sopra: concentrazioni vasche di transito alle dimensioni 25-50-75-100 m³/ha_{imp} per il medesimo evento di pioggia considerato. Sotto: concentrazioni vasche di cattura alle dimensioni 25-50-75-100 m³/ha_{imp} per il medesimo evento di pioggia considerato*

Aumentando invece la grandezza della vasca, diventa sempre più preponderante l'effetto peggiorativo di miscelazione continua dei solidi sospesi presenti in vasca durante uno o più eventi di pioggia. Le vasche di cattura, quindi, diventano metro di paragone di quanto al massimo può rendere una vasca in funzione della massa in arrivo dai bacini per ogni evento di pioggia.

In seguito viene mostrata, sempre per il medesimo evento di pioggia rappresentativo dell'effetto medio annuo, il confronto tra le concentrazioni e le masse scaricate da vasche di $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ nelle tipologie rispettivamente di transito e di cattura:

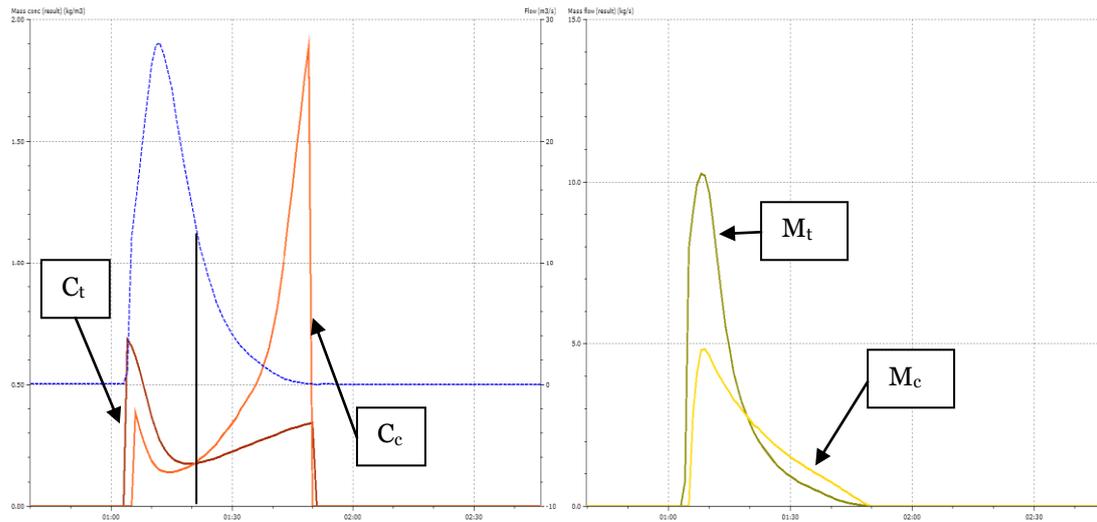


Figura 4.24 - A sinistra: concentrazioni (C) degli scarichi di vasche di transito (C_t) e di cattura (C_c) e la portata volumetrica scaricata per il dato evento (linea tratteggiata, pari per entrambe le tipologie di vasca). A destra: confronto tra le masse scaricate da vasche di transito (M_t) e di cattura (M_c)

Confrontando le due tipologie di vasche si nota che a parità di volume scaricato, le vasche di transito scaricano un maggior quantitativo di solidi sospesi rispetto a quelle di cattura proprio a causa di questa diversità di concentrazione.

Dalla figura soprastante si nota come la concentrazione nelle vasche di cattura sia più bassa per la maggior parte del volume scaricato comprendente anche il picco di esso. Si mostra nella parte destra della figura infatti il confronto tra i due scarichi di massa, notando come il tratto in cui la vasca di cattura scarica una maggiore quantità di TSS rispetto a quella di transito sia comunque di molto inferiore rispetto al

tratto precedente dove la differenza tra le masse scaricate è notevole anche ad occhio.

Viene anche in seguito mostrato, in termini di esempio, le masse scaricate confrontate con quelle in arrivo dalle due vasche di dimensione pari a $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ dove è ben visualizzabile la differenza di funzionamento delle due tipologie di vasche.

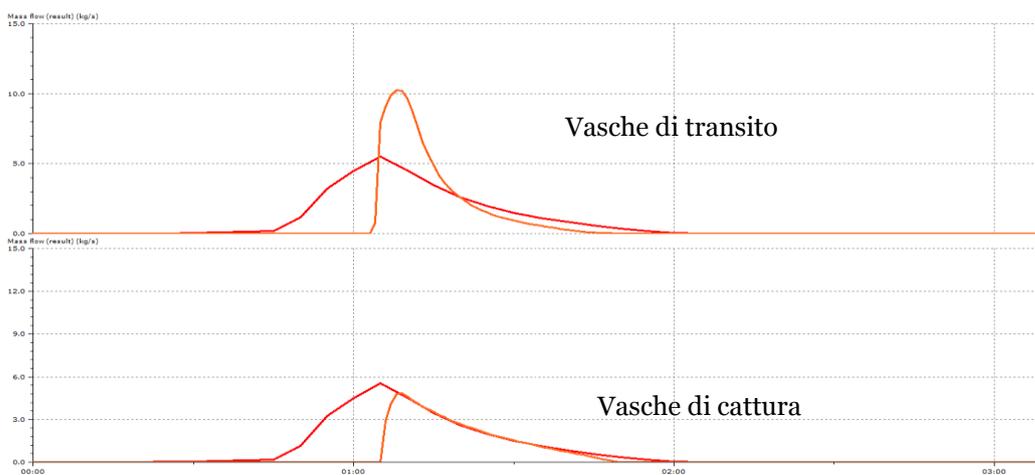


Figura 4.25 - confronto tra le masse scaricate da vasche di transito (sopra) e vasche di cattura (sotto). La portata massica in arrivo in vasca è indicata con la linea rossa più scura, mentre in arancione è indicata la portata massica scaricata

Si mostra in seguito invece il confronto tra le diverse tipologie di rete prese in esame: reti con vasche in parallelo, in serie e uniche.

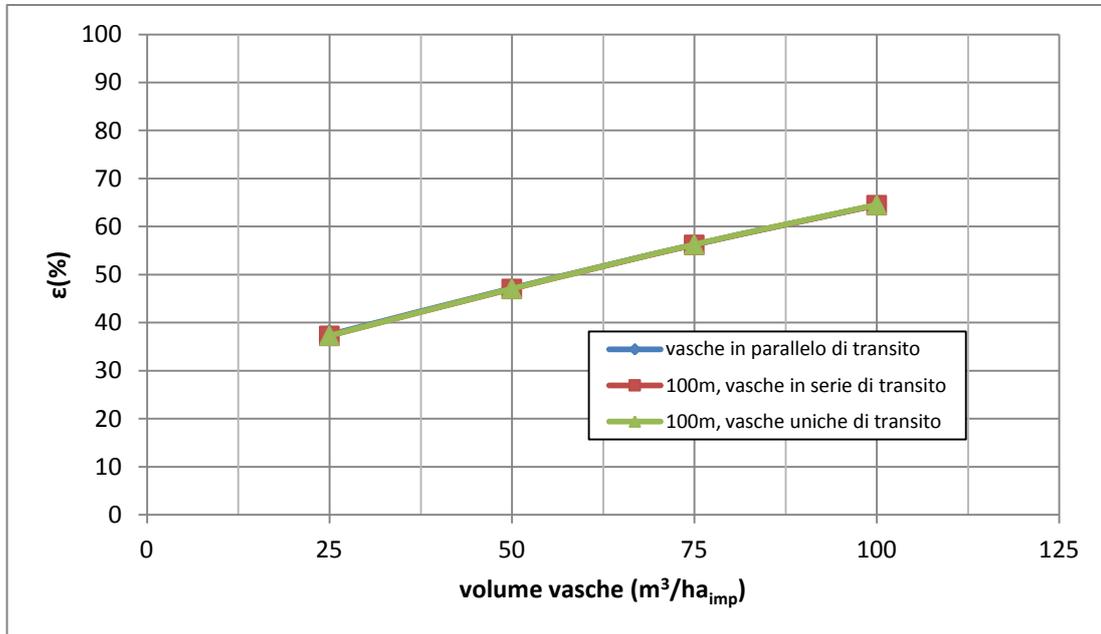


Grafico 4.57 - masse TSS ε(%) catturate dalle 3 tipologie di rete per vasche di transito

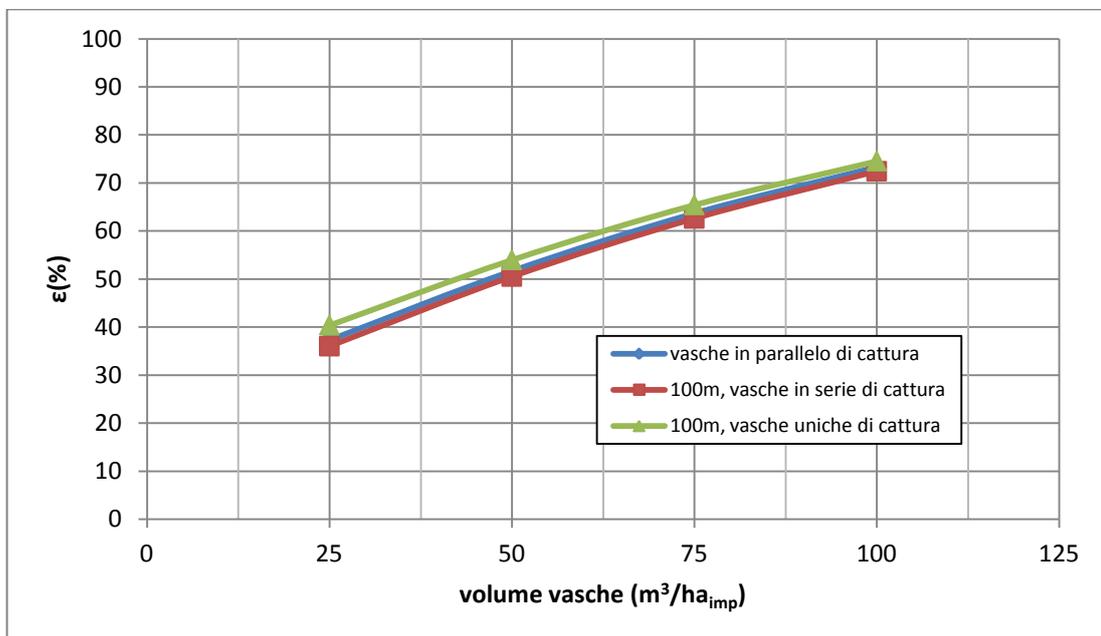


Grafico 4.58 - masse TSS ε(%) catturate dalle 3 tipologie di rete per vasche di cattura

Si evidenzia come tipologie di progettazione differenti delle reti con vasche di transito non presentano sostanziali differenze per quanto riguarda la capacità di trattamento delle masse e come evidenziato dai grafici 4.47 e 4.45 risulta praticamente ininfluente (le variazioni percentuali per quanto riguarda la distanza sono inferiori all'1%). Viceversa per reti con vasche di cattura, la soluzione progettuale delle vasche uniche risulta essere leggermente migliore rispetto alle altre due soluzioni soprattutto per dimensioni di 25 e 50 m³/ha.

	vasche in parallelo di cattura ϵ (%)	100m, vasche in serie di cattura ϵ (%)	100m, vasche uniche di cattura ϵ (%)
25	37.3	36.0	40.5
50	51.6	50.5	54.0
75	63.6	62.6	65.4
100	73.3	72.4	74.5

Tabella 4.18 - masse TSS (%) trattenute da vasche di cattura al variare della loro dimensione con L 100m

Inoltre si mostrano i paragoni alle varie distanze per verificarne l'esatta influenza (**Grafico 4.59**), notando come sopra i 3000m l'efficacia delle vasche di cattura uniche diminuisca in confronto di quella delle altre 2 tipologie, che rimangono per lo più invariati lungo le distanze.

Si nota come all'aumentare delle dimensioni delle vasche, oltre la distanza di 3000m le vasche uniche si avvicinano molto alle altre tipologie di reti (fino a diventare inferiori per dimensioni di 100m³/ha_{imp}).

Ciò ad ogni modo è in accordo con quanto visualizzato sopra nel **Grafico 4.58** dove si evidenzia un rendimento maggiore per le vasche uniche di cattura, che però va via via avvicinandosi al rendimento delle altre 2 tipologie di rete all'aumentare della grandezza della vasca.

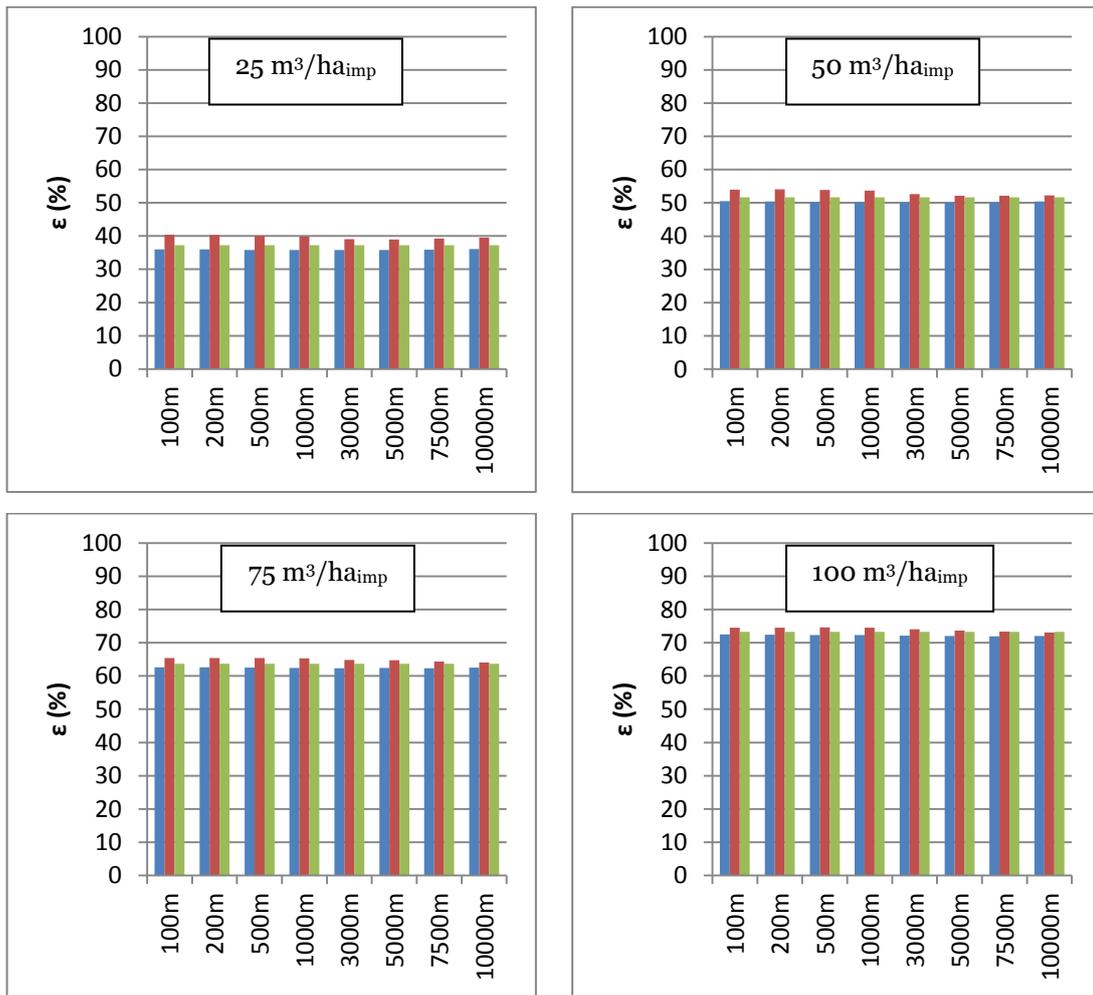


Grafico 4.59 - confronto delle tipologie di rete per le masse TSS $\epsilon(\%)$ trattenute dalle vasche di cattura per le 4 dimensioni di vasca per ogni distanza L . in blu sono rappresentate le reti con vasche in serie, in rosso le reti con vasche uniche, in verde le reti con vasche parallele.

In seguito in **Grafico 4.60** vengono mostrati tutti i risultati ottenuti per tutte le tipologie di vasche di rete e di dimensione lungo le 8 distanze considerate. Questo grafico potrebbe essere considerato come il grafico riassuntivo di tutti i confronti in cui vengono analizzati i risultati in base al quantitativo di massa scaricata per ettaro impermeabile.

Da ciò si evince come per vasche di 50 m³/ha_{imp} in su, le soluzioni ideali sono rappresentate dalle vasche di cattura, e rispettivamente a queste, la vasca di cattura

unica risulta essere la soluzione con la migliore capacità di trattenimento (come visto sopra) a meno della vasca di $100\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ per distanze superiori a 7500m dove le vasche in parallelo risultano essere le migliori.

Si vede molto chiaramente anche come per ottenere i medesimi risultati delle vasche di transito da $100\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ basta una dimensione di vasca di cattura pari a $75\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$.

Per quanto riguarda vasche di piccole dimensioni pari a $25\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$, la soluzione peggiore risulta essere quella di vasca di cattura in serie, dove la massa in arrivo dalla prima vasca verso la seconda provoca un aumento di TSS scaricato in quanto si va a sommare a quello in arrivo dal bacino più a valle. Nelle soluzioni di transito invece per vasche così piccole come visto sopra tale effetto è mitigato e inferiore rispetto alla soluzione con bypass dei volumi.

Come ultima considerazione, si pone attenzione sul fatto che la distanza per vasche di transito risulti essere praticamente ininfluyente: le variazioni di masse scaricate sono dell'ordine dell'1,5% per l'influenza maggiore di L che riguarda le masse scaricate per vasche in serie di transito di $25\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$. All'aumentare della dimensione della vasca l'influenza di L diventa ancora più bassa. Per quanto riguarda la distanza nei confronti delle vasche di cattura invece, ha un ruolo assolutamente minimo per quanto riguarda le vasche in serie, mentre leggermente più accentuato per quanto riguarda le vasche uniche (variazioni dell'ordine del 5 % tra la quantità massima di massa scaricata e quella minima per una dimensione di vasca pari a $50\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$).

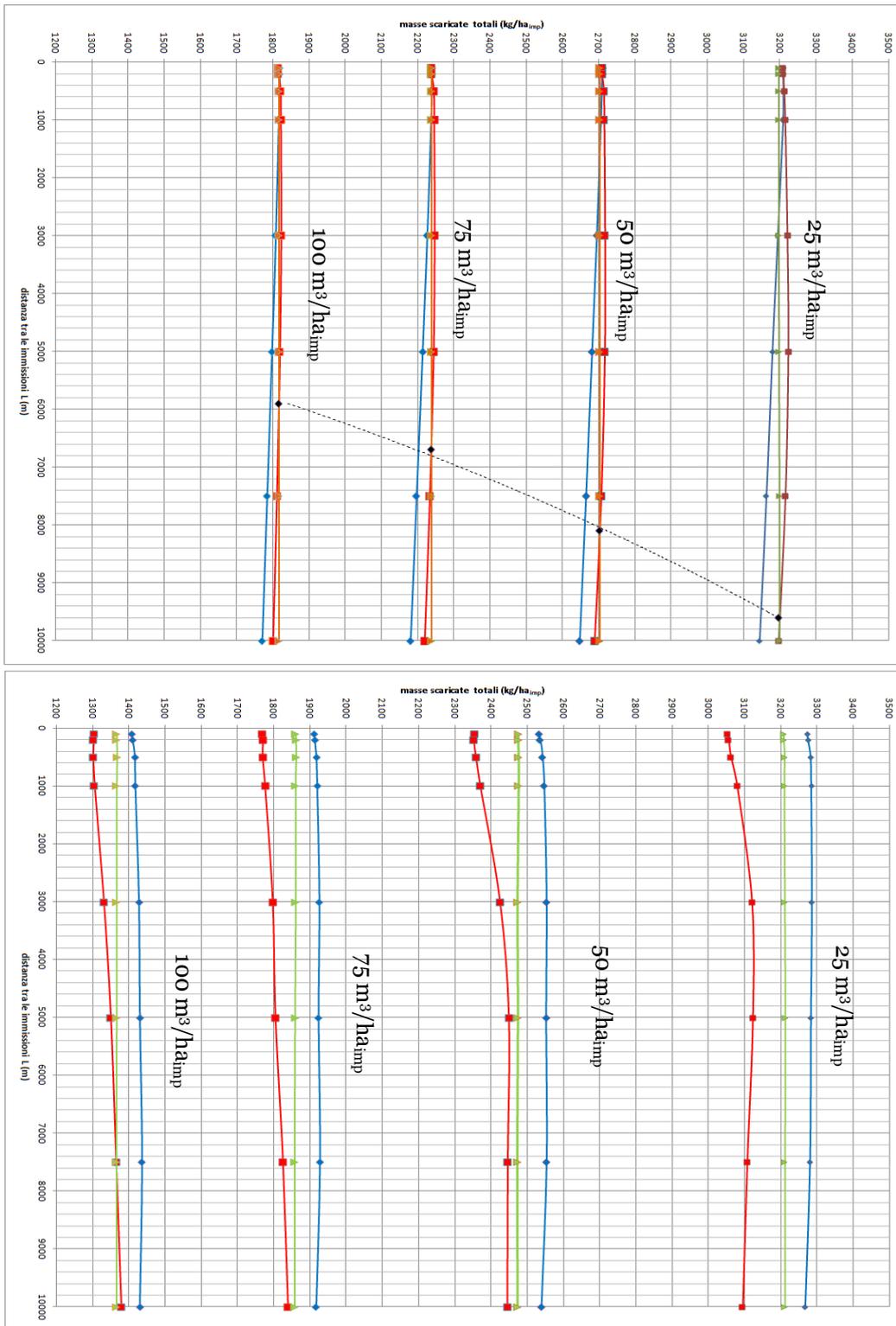


Grafico 4.60 - masse scaricate da tutte le tipologie di reti in funzione di L. In blu vasche in serie, in rosso vasche uniche, in verde vasche in parallelo. In alto sono rappresentate le vasche di transito mentre sotto le vasche di cattura

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

5.1 Conclusioni

L'aspetto d'interesse di questo lavoro di tesi è rappresentato dallo studio in simulazione dell'efficienza delle vasche di prima pioggia di differenti dimensioni e tipologia, inserite in reti che raccolgono le acque pluviali provenienti da due bacini distinti e variamente distanziati, analizzati su diverse disposizioni di tale vasche.

Si ricorda che le simulazioni sono state effettuate attraverso l'uso di due bacini uguali e con parametri di deposito e dilavamento dei sedimenti sulla superficie impermeabile medi e sempre uguali in tutte le reti. A partire da queste situazioni analizzate, si sono verificati tre aspetti significativi del problema: l'effetto della distanza tra le immissioni provenienti da due bacini distinti, l'effetto della variazione del volume delle vasche sugli scarichi al ricettore e il confronto tra le tipologie di vasche e di rete.

Ciò che emerge in maniera molto evidente è che la variazione della lunghezza L , lungo un collettore tra le immissioni di due bacini distinti, risulta essere pressoché ininfluyente rispetto allo scarico di volume d'acqua e di massa. Si nota infatti come le variazioni causate da questo parametro siano sì presenti e riconducibili ad un specifico comportamento in rete delle portate, ma molto basse rispetto alla totalità dei volumi e delle masse scaricate. Questo, quindi, ci dice che la distanza tra due bacini

di ugual dimensione, sia una caratteristica di poco conto nella progettazione di una rete che utilizza vasche di prima pioggia con portate in uscita così piccole, essendo questo parametro assolutamente centrale nell'effetto della distanza.

Discorso diverso per quanto riguarda la dimensione delle vasche: si nota che all'aumentare del volume delle vasche di prima pioggia, si ha una diminuzione sia di volume scaricato, sia di massa, assolutamente coerente con i risultati visti da precedenti ricerche (vedi [2], [4] e [3]). Il carattere assolutamente interessante di tale analisi è che al variare della tipologia di rete e quindi delle disposizioni delle vasche (o vasca), gli andamenti degli scarichi di massa e di volume sono assolutamente paragonabili con quelli visti in letteratura. Ciò è in coerenza con quanto è stato precedentemente detto: se i fattori di distanza e tipologia di rete influiscono molto poco sullo scarico, i risultati ottenuti non saranno lontani dai casi più semplici studiati precedentemente in letteratura.

Tale efficienza delle vasche sulle masse dilavate dalle piogge, è stata quantificata attraverso la relazione :

$$\varepsilon = (1 - \beta e^{\alpha V_{vas}})100 \quad 5.1$$

Dove α vale rispettivamente per le vasche di transito $0,008 \text{ ha}_{imp}/\text{m}^3$ e per le vasche di cattura $0,011 \text{ ha}_{imp}/\text{m}^3$, mentre β dipende dalla tipologia di rete e vasca con una variabilità molto bassa per tutti i casi studiati.

Confrontando quindi (come ultima analisi) l'effetto della tipologia di vasca sulle masse scaricate (le differenze sui volumi scaricati sono inesistenti) si scopre come all'aumentare della dimensione della vasca, le vasche dette di cattura hanno un rendimento via via migliore rispetto alle vasche di transito. Ciò è imputabile al fenomeno di rimescolamento nelle vasche di transito, che determina mediamente un aumento di concentrazione in vasca all'aumentare del volume disponibile, scaricando al ricettore un quantitativo di massa superiore alle vasche di cattura di medesima dimensione e medesimo volume scaricato. Quest'ultime infatti catturano una

parte di volume contenente TSS e scaricano a concentrazione pari a quella trasportata dalle portate volumetriche a monte della vasca stessa. Se per dimensioni di $25 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ le due tipologie hanno lo stesso rendimento all'aumentare del volume dei serbatoi, le vasche di cattura per gli eventi considerati risultano essere assolutamente più efficienti rispetto alle vasche di transito.

In ultimo, si sono confrontati i risultati ottenuti per le diverse tipologie di rete, dove si evidenzia che le diverse forme progettuali scelte (a vasche in parallelo, in serie ed uniche) per quanto riguarda le vasche di transito siano praticamente ininfluenti (pur essendoci delle spiegabili variazioni tra le varie tipologie lungo la distanza) e per quanto riguarda invece le vasche di cattura, la differenza tra le tre tipologie pur risultando molto bassa, mostra come la soluzione di vasca unica sia, per distanze sotto i 3000 metri, migliorativa di circa il 3-4% rispetto alla soluzione con vasche in parallelo e in serie (soluzione che scarica un maggior quantitativo di solidi sospesi per quanto riguarda le vasche di cattura).

Riassumendo si può quindi dire che per volumi superiori ai $50 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ le vasche di cattura risultano essere più efficaci rispetto a quelle di transito dove addirittura per scaricare la medesima massa di una vasca da $100 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ basta una vasca di $75 \text{ m}^3/\text{ha}$, e tra di queste la soluzione di vasca unica (di cattura) risulta essere sempre la più efficace al di sotto dei 3000m rispetto alle due soluzioni in parallelo ed in serie.

5.2 Sviluppi futuri

Tale analisi può essere considerata come un ottima base di partenza per poter verificare tipologie di rete e di vasche differenti su due o più bacini distinti. Senza dubbio risulterà interessante verificare e confrontare i risultati ottenuti variando alcune impostazioni di base delle simulazioni effettuate su 3 campi differenti.

Innanzitutto si potrà verificare l'efficienza delle vasche al variare dei parametri di dilavamento (più che altro del parametro amplificativo wash ed accu), mentre in questa sede si è deciso di effettuare le simulazioni tenendo come riferimento i parametri medi di dilavamento e accumulo. Tali parametri, infatti, possono attenuare o aumentare gli effetti di dilavamento in termini di *first flush* e *last flush*, andando quindi a variare le masse scaricate dalle tipologie differenti di vasche.

Inoltre risulterà interessante modificare l'estensione dei bacini impermeabili (che nella realtà non hanno sempre dimensione paragonabile) e i relativi volumi e portate limite delle vasche nelle tipologie di rete differenti, per verificare in queste condizioni l'influenza della distanza, probabilmente maggiore laddove le portate in uscita dalle vasche aumentassero.

In ultima analisi si potrebbe ampliare la distinzione delle vasche o delle reti, considerando anche la tipologia di vasche a cattura intermittente e reti inserite in fognature di tipo misto e non solo pluviale.

BIBLIOGRAFIA

- Paoletti, Sanfilippo, Innocenti* – Propagazione di inquinanti in corsi d'acqua naturali a valle di scarichi continui o intermittenti in moto permanente e in moto vario, "La tutela idraulica ed ambientale dei territori urbanizzati" Atti dei seminari di Parma (5-6 febbraio 2004) e Cosenza (13-15 dicembre 2004); Edito a cura del CSDU (2005). [1]
- Artina S., Bolognesi A., Liserra T., Maglionico M.* - Simulazione della rete fognaria della città di Bologna e dimensionamento di invasi per la mitigazione dell'impatto degli scaricatori di piena; "La tutela idraulica ed ambientale dei territori urbanizzati" Atti dei seminari di Parma (5-6 febbraio 2004) e Cosenza (13-15 dicembre 2004); Edito a cura del CSDU (2005). [2]
- S.Papiri, S. Todeschini* – Capture stormwater storage tanks in a storm sewer system. Articolo, Acqua e città 2011-4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana – Venezia, 21-24 giugno 2011 [3]
- L.Bornatici, C. Ciaponi, S. Papiri* - Le vasche di prima pioggia nel controllo della qualità degli scarichi fognari generati da eventi meteorici, Atti dei seminari. Parma (5-6 febbraio 2004) e Cosenza (13-15 dicembre 2004) [4]
- Oliveri E., Viviani G., La Loggia G* - Comportamento ed efficienza delle vasche di pioggia, Dalle fognature alla tutela idraulica e ambientale del territorio, Atti della II Conferenza Nazionale sul Drenaggio Urbano, 10-12 maggio 2000, Palermo (Italia), La Loggia (a cura di), pp. 279-290, CSDU, Milano, 2001 [5]
- A.Paoletti, P. Piro, U. Sanfilippo* – tutela idraulica e ambientale dei territori urbanizzati, Atti dei seminari di parma (5/6 febbraio 2004) e cosenza (13/14 dicembre 2004) [6]
- Novotny V., Bannerman R., Baum K.* (1985), "Estimating nonpoint pollution from small urban watersheds", Journal of Water Pollution Control Federation, vol. 57, n. 4, Washington D.C. [7]
- Novotny V., Goodrich-Mahoney J.* (1978), "Comparative assessment of pollution loadings from non point sources in urban land use", Prog. Water Tech., n. 10. [8]

- Bujon G.* (1988), "Prevision des débits et des flux polluants transités par les réseaux d'égouts par temps de pluie. Le modele FLUPOL", *La Houille Blanche*, n. 1. [9]
- Bujon G., Herremans L.* (1990), "FLUPOL modèle de prévision des débits et des flux polluants en réseaux d'assainissement par temps de pluie: calage et validation", *La Houille Blanche*, n. 2. [10]
- Artina S., Maglionico M.* - Dimensionamento di vasche di prima pioggia secondo criteri di "stream standard", Dalle fognature alla tutela idraulica e ambientale del territorio, Atti della II Conferenza Nazionale sul Drenaggio Urbano, 10-12 maggio 2000, Palermo (Italia), La Loggia G (a cura di), pp. 129-138, CSDU, Milano, 2001 [11]
- D. Citrini, G. Nosedà* – IDRAULICA, seconda edizione, casa editrice Ambrosiana [12]
- A. Paoletti, C. Passoni, U. Sanfilippo* - Indicatori per la valutazione del peso ambientale di sistemi di scaricatori di piena e di vasche di prima pioggia, ACQUA E CITTÀ - II CONVEGNO NAZIONALE DI IDRAULICA URBANA *Chia (CA)*, 25-28 settembre 2007 [13]
- A. Paoletti* - Sistemi di Fognature e Drenaggi, Ed. CUSL, Milano, 2002 [14]
- G. Becciu, A. Paoletti, U. Sanfilippo, R. Begnis* - Eventi meteorici critici per la qualità delle acque di drenaggio urbano, II Conferenza Nazionale sul Drenaggio Urbano *Palermo*, 10-12 maggio 2000 [15]
- C. Buscarnera* - Analisi multivariata dell'impatto ambientale degli scaricatori di piena di una rete di fognatura unitaria, tesi di laurea Politecnico di Milano 2010 [16]
- A. Bartoli* – simulazione qualitativa-quantitativa della rete fognaria della città di Modena e dimensionamento di invasi per la mitigazione dell'impatto degli scaricatori di piena, tesi di laurea Università degli studi di Bologna 2007 [17]
- Mignosa P., Paoletti A., Passoni G.*- Carichi effluenti dagli scaricatori di piena di fognature unitarie, *Idrotecnica*, n. 3, pp. 231-246, 1991. [18]
- Bornatici L., Ciaponi C., Papiri S.* - Sul controllo degli scarichi fognari nei corpi idrici ricettori in tempo di pioggia attuato mediante scaricatori di piena e vasche di prima pioggia, Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 7-10 settembre 2004, Trento (Italia), pp. 37-44, Editoriale Bios sas, Cosenza, 2004 [19]
- A. Gallina* – user guide of INFOWORKS [20]

Papiri S - Gli scaricatori di piena nelle fognature miste alla luce dei risultati di una simulazione continua quali-quantitativa delle acque meteoriche nel bacino urbano sperimentale di Cascina Scala (Pavia), Dalle fognature alla tutela idraulica e ambientale del territorio, Atti della II Conferenza Nazionale sul Drenaggio Urbano, 10-12 maggio 2000, Palermo (Italia), La Loggia (a cura di), pp. 49-60, CSDU, Milano, 2001. [21]

Barco O.J., Ciaponi C., Papiri S. - Inquinamento delle acque meteoriche di dilavamento. Il caso del bacino urbano residenziale di Cascina Scala (Pavia), Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 7-10 settembre 2004, Trento (Italia), pp. 21-29, Editoriale Bios sas, Cosenza, 2004. [22]

Fuchs S., Brombach H., Weiß G. (2004). New database on urban runoff pollution. Atti del Convegno "Novatech 2004", 5th International Conference, Lyon, France, 6-10 June 2004. [23]

Brombach H., Weiß G., Fuchs S. (2004), Combined or separate sewer systems? A critical comparison using a new database on urban runoff pollution. Atti del Convegno "Novatech 2004", 5th International Conference, Lyon, France, 6-10 June 2004. [24]

APPENDICE A

Vengono riportati in seguito i risultati numerici degli scarichi volumetrici e di massa per ogni tipologia di rete e vasca in funzione della distanza:

vasche in serie di transito, 25m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	613678.654	613641.8	159860.148	161245.8
200m	613678.653	613553.1	159862.299	161254.8
500m	613678.714	613155.7	159860.277	161172.7
1000m	613674.808	612519	159863.014	161110.6
3000m	613675.201	608379.4	159866.081	159651.8
5000m	613670.68	604380.7	159893.48	158156.7
7500m	613680.2	599531.8	159949.309	156462.5
10000m	613675.812	594991.2	159946.843	154591.6

vasche in serie di transito, 50m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	533666.595	533737.6	135134.411	135974.6
200m	533664.167	533663.9	135134.384	135974.8
500m	533666.653	533352.1	135134.658	135884.4
1000m	533663.072	532620.1	135133.719	135659.5
3000m	533651.98	529418.4	135137.175	134465.6
5000m	533679.346	525961.5	135162.879	133085.5
7500m	533683.175	521585.7	135167.466	131358
10000m	533685.04	517281.9	135168.482	129567.9

vasche in serie di transito, 75m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	465225.931	465256.7	111893.164	112230.6
200m	465224.18	465190.8	111898.178	112235.8
500m	465226.668	464909.9	111898.688	112149.8
1000m	465223.087	464335.3	111897.768	111958.1
3000m	465211.064	461483.4	111900.55	110848.8
5000m	465214.377	458224.3	111914.576	109534.9
7500m	465213.815	454044.2	111919.961	107832.1
10000m	465213.774	449973.3	111918.652	106138.3

vasche in serie di transito, 100m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	403088.954	403087.1	90869.894	90971.34
200m	403086.573	403027.6	90869.096	90968.28
500m	403089.059	402765.3	90869.951	90902.13
1000m	403085.479	402246.7	90868.901	90760.28
3000m	403073.461	399701.1	90871.513	89934.99
5000m	403076.772	396783.9	90879.646	88909.38
7500m	403076.535	393054.6	90879.063	87590.24
10000m	403076.861	389408.6	90877.873	86253.07

Vasca unica di transito, 25m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	1227299.2	320875.5
200m	1227197.9	320897.3
500m	1226698.8	321284.2
1000m	1226009.5	321590.3
3000m	1220716.9	322221.2
5000m	1214883	322492.8
7500m	1207609.4	321676.3
10000m	1199896	319711.2

Vasca unica di transito, 50m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	1067390.5	270872.2
200m	1067382.1	270878.9
500m	1066957.6	271396.8
1000m	1066093.2	271523.1
3000m	1061923.5	271726.5
5000m	1057333.9	271658.7
7500m	1051322.8	270692.9
10000m	1044853	268840.6

Vasca unica di transito, 75m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	930477.1	223882.2
200m	930431.32	223906.9
500m	930079.99	224604.9
1000m	929264.8	224692.4
3000m	925813.52	224819.2
5000m	921892.4	224534.4
7500m	916525.91	223454.5
10000m	910498.5	221946.6

Vasca unica di transito, 100m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	806137.79	181575.9
200m	805932.82	181569
500m	805621.94	182229.1
1000m	805018.56	182282.1
3000m	801963.47	182360
5000m	798530.44	182032.1
7500m	793666.34	181204.7
10000m	788437.16	180140

vasche in serie di cattura, 25m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	616045.397	609380.418	160482.1	166957.9
200m	615934.842	609806.401	160451.8	167233
500m	615258.893	610329.922	160564	167841.5
1000m	615080.67	609867.726	160518.6	168043.8
3000m	615050.682	609954.508	160573.6	168185.2
5000m	614907.87	607386.867	160626.4	167870.9
7500m	614976.036	602144.475	160607.2	167640.8
10000m	614975.266	597636.312	160590.3	166334.5

vasche in serie di transito, 50m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	538100.381	534008.145	123787.8	129477.3
200m	538174.892	535555.796	123768.4	129906.1
500m	537436.18	535461.77	123800.6	130511.2
1000m	537447.997	536606.062	123808.2	130982.9
3000m	537108.161	535796.448	123712.7	131759.8
5000m	537163.221	533562.855	123740	131595.3
7500m	536988.454	529919.106	123689	131780.6
10000m	536949.725	525862.489	123713.5	130227.8

vasche in serie di cattura, 75m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	469881.576	468139.852	93079.46	98279.97
200m	469797.999	468538.161	93096.31	98344.55
500m	469363.615	469466.206	93124.97	98762.63
1000m	469188.036	469654.306	93068.85	99055.96
3000m	469116.112	468974.337	93074.29	99663.41
5000m	469007.858	466375.854	93000.9	99521.87
7500m	468836.516	463484.528	92952.39	99956.82
10000m	468830.192	459668.048	92950.9	98908.91

vasche in serie di cattura, 100m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	Q _{sf2} (m ³)	M _{sf1} (kg)	M _{sf2} (kg)
100m	408732.7	408968.274	68346.9	72663.2
200m	408645.802	408343.849	68346.12	72817.79
500m	408382.149	409322.618	68403.94	73358.63
1000m	408227.292	409091.089	68338.47	73554.19
3000m	407926.97	408760.386	68325.85	74580.87
5000m	407965.1	406482.503	68313.6	74850.76
7500m	408046.468	404359.945	68282.17	75499.78
10000m	407830.7	401068.23	68305.68	74831.67

Vasca unica di cattura, 25m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	1228322.6	305230.8
200m	1227702.169	305640.8
500m	1226711.014	306272.1
1000m	1227584.302	307993.5
3000m	1224561.531	312121
5000m	1221340.995	312367.7
7500m	1214858.662	310809.3
10000m	1207461.273	309547.1

Vasca unica di cattura, 50m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	1074242.534	235559.7
200m	1073231.714	235345.1
500m	1073846.516	235951.1
1000m	1073852.541	237139.1
3000m	1071283.484	242568.4
5000m	1069151.374	244997.4
7500m	1064536.795	244702.1
10000m	1057274.894	244572.2

Vasca unica di cattura, 75m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	937035.349	176994.9
200m	939704.813	177156.1
500m	940148.641	177047.8
1000m	938961.512	177732.8
3000m	934235.952	179836.6
5000m	933328.285	180599.7
7500m	931717.159	182675
10000m	926997.885	184056.9

Vasca unica di cattura, 100m ³ /ha	Q _{sf1} (m ³)	M _{sf1} (kg)
100m	816582.163	130345.4
200m	817674.982	130291.8
500m	818288.316	130111.3
1000m	818515.947	130521.6
3000m	817092.802	133076.9
5000m	815824.837	135004
7500m	810151.434	136508.1
10000m	807310.104	137928