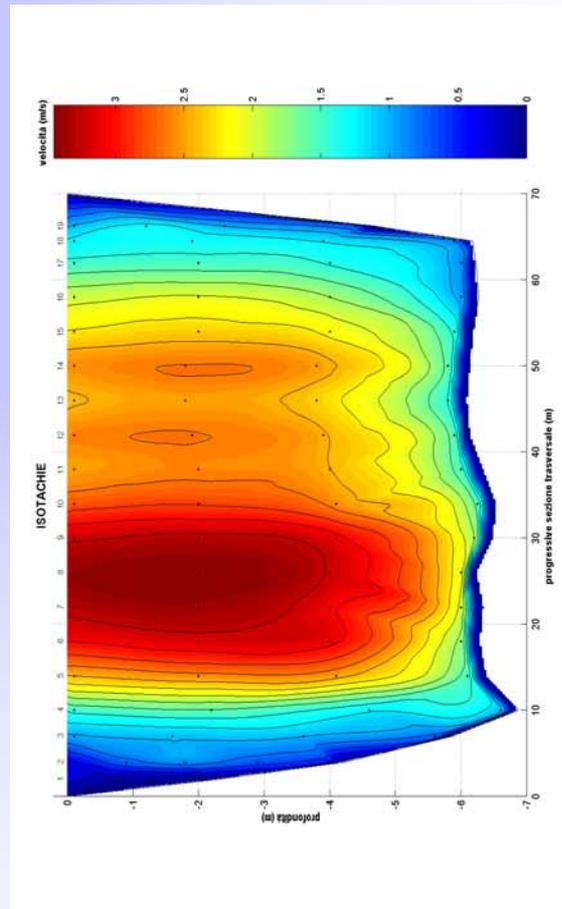
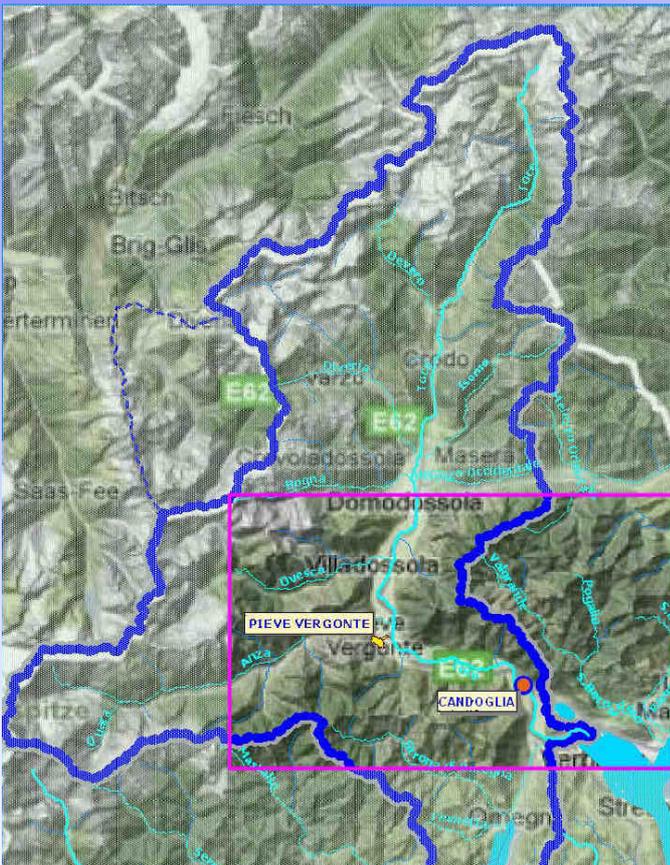




Politecnico di Torino - DITIC



ANALISI DELL'APPORTO DI D.D.T. DAL FIUME TOCE AL LAGO MAGGIORE





Politecnico di Torino - DITIC



**RAPPORTO FINALE RELATIVO AL PROGETTO:
“ANALISI DELL’APPORTO DI D.D.T. DAL FIUME TOCE
AL LAGO MAGGIORE”**

(Determina Dirigenziale n. 155/DA10.00 del 7 marzo 2008)

COMPONENTI GRUPPO DI LAVORO

Regione Piemonte - Direzione Ambiente

Settore Tutela Ambientale delle Acque

dott. Giovanni NEGRO

ing. Matteo DE MEO

dott.sa Silvia GRISELLO

Politecnico di Torino - Dipartimento di Idraulica Trasporti ed Infrastrutture Civili

prof. Luca RIDOLFI

prof. Roberto REVELLI

ARPA Piemonte – Struttura Qualità delle Acque

dott. Elio SESIA

Torino Giugno 2010

PRESENTAZIONE

Le problematiche legate alla diffusione di DDT e congeneri nel sistema “bacino idrografico del fiume Toce – Lago Maggiore” sono da tempo oggetto d’interesse da parte di diversi Enti; interesse testimoniato, fra l’altro, da studi finalizzati alla definizione degli effetti biologici e chimici di tale sostanza sull’ecosistema del lago.

La sorgente iniziale dell’inquinamento è il sito ex Enichem di Pieve Vergonte (VCO), individuato come sito contaminato di interesse nazionale e attualmente sottoposto a procedura di bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 (parte quarta, titolo V).

È inoltre accertata la presenza di inquinamento diffuso di DDT non solo nel territorio circostante lo stabilimento ma in particolare nel Lago Maggiore, lì veicolato dal rio Marmazza, affluente in destra orografica del fiume Toce, e dal Toce stesso.

Infatti, il rilascio di DDT e congeneri dal sito ex Enichem di Pieve Vergonte, veicolato attraverso il Toce, ha prodotto un accumulo di tali sostanze nell’ecosistema del lago Maggiore, evidenziato a metà anni ’90 con la presenza di elevate concentrazioni di questo insetticida clorurato e dei principali metaboliti nella fauna ittica del lago.

Tuttavia, a dispetto della grossa mole di dati di carattere chimico e biologico, soprattutto per quanto riguarda la presenza di DDT nel Lago Maggiore, sembrano però essere ancora scarse le informazioni qualitative e quantitative sui possibili vettori che trasportano il DDT dal sito in questione e dal bacino limitrofo al lago stesso.

In particolare, se pare plausibile da un punto di vista teorico che il probabile vettore di DDT è il solido in sospensione nella sua frazione più fine (limi ad argille), mancano tuttavia riscontri oggettivi di campo che lo confermino e studi volti a legare il regime idraulico ed idrologico alla movimentazione di tale frazione fine.

Al fine di verificare, quindi, la presenza di DDT e composti correlati nel fiume Toce e l’apporto al lago Maggiore considerando la frazione disciolta nell’acqua, il materiale trasportato e i sedimenti in condizioni idrologiche diverse compresi gli eventi di piena e tenendo conto anche delle attività legate alla bonifica del sito di Pieve Vergonte, la Direzione Ambiente della Regione Piemonte ha attivato, nel corso del 2008, il progetto “Valutazione dell’apporto di DDT dal Fiume Toce al Lago Maggiore”.

Per la realizzazione del progetto in questione, di durata biennale, la Direzione Ambiente, in considerazione dell’elevata complessità scientifica dei fenomeni da indagare, si è avvalsa della collaborazione scientifico - istituzionale del Dipartimento di Idraulica Trasporti ed

Infrastrutture Civili del Politecnico di Torino e dell'ARPA Piemonte, con ciascuno dei quali ha attivato una specifica Convenzione di ricerca.

Inoltre, il Gruppo di lavoro ha ritenuto opportuno affidare alla Società di ingegneria idraulica HYDRODATA di Torino l'esecuzione, durante gli eventi di piena, delle campagne di misure di portata, di trasporto solido al fondo e in sospensione in corrispondenza della stazione regionale di monitoraggio idrometrico del f. Toce a Candoglia (VB), a supporto delle attività tecnico - scientifiche del Politecnico di Torino e dell'ARPA Piemonte.

Dal punto di vista operativo, la Direzione Ambiente ha avuto il ruolo di soggetto capofila del progetto, l'ARPA Piemonte è stato individuato quale principale soggetto coinvolto nel monitoraggio e nelle analisi chimico-ambientali e il Dipartimento di Idraulica Trasporti ed Infrastrutture Civili del Politecnico di Torino ha assunto il coordinamento scientifico del progetto in argomento, il quale è stato articolato in due distinte fasi, come specificato di seguito.

Fase 1:

- individuazione e definizione delle problematiche da esaminare, nell'ambito del Gruppo di lavoro, e definizione delle competenze di ciascun soggetto.
- analisi delle informazioni pregresse significative, siano esse idrauliche/idrologiche siano chimico/biologiche. Ciò al fine: (i) di individuare le informazioni già note e le loro lacune e (ii) di verificare le metodologie usate per la loro raccolta.
- studio idraulico e morfologico della sezione in corrispondenza della passerella sul fiume Toce situata in prossimità dell'abitato di Candoglia; sezione ove effettuare le misure di trasporto solido in sospensione;
- individuazione dei punti di prelievo e campionamento del solido sospeso nonché le metodologie più appropriate per il rilievo;
- individuazione dei punti nel corso d'acqua e sul bacino più idonei al fine di effettuare carotaggi per verificare la presenza di DDT;
- predisposizione delle specifiche tecniche per l'affidamento delle misure di trasporto solido sospeso;
- esecuzione di campagne preliminari di misura per la caratterizzazione dei solidi trasportati in diverse condizioni idrologiche;
- ottimizzazione e validazione del metodo di prova per la determinazione del DDT e congeneri nella matrice acquosa e nei solidi trasportati;

- esecuzione di una campagna sperimentale di campionamento e analisi del DDT e congeneri nella matrice acquosa e nei solidi trasportati;
- ottimizzazione del monitoraggio regionale ordinario a cadenza mensile in relazione ai limiti di quantificazione per il DDT e congeneri;
- definizione del piano di monitoraggio, in particolare delle modalità di attivazione dei campionamenti in relazione al regime idrologico e a specifiche attività di bonifica del sito contaminato.

Fase 2:

- analisi dei dati raccolti dalle campagne di misura e supervisione scientifica delle misure idrauliche ed idrologiche;
- effettuazione delle campagne di campionamento e analisi del DDT e congeneri nella matrice acquosa e nei solidi trasportati;
- pianificazione ed effettuazione di campionamenti sperimentali e analisi di materiale sedimentato;
- organizzazione e valutazione dei dati ottenuti con stima dei carichi veicolati di DDT e delle dinamiche del trasporto dell'inquinante;
- correlazioni tra le informazioni prodotte dai vari soggetti coinvolti e interpretazione delle informazioni di carattere idrologico, idraulico, geomorfologico e chimico per individuare i reali meccanismi di trasporto di DDT, in funzione della portata idrica della corrente, attraverso la sezione investigata.

Da parte dell'ARPA Piemonte, le valutazioni sono state effettuate avendo come riferimento:

- la direttiva 2000/60/CE (WFD) che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque;
- la decisione 2455/2001/CE relativa all'istituzione di un elenco di sostanze prioritarie in materia di acque;
- la direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque;
- la direttiva 2009/90/CE che stabilisce le specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque;
- i decreti nazionali conseguenti (Decreto 16 giugno 2008 n. 131, Decreto 14 aprile 2009 n. 56) che modificano le norme tecniche del D.Lgs 152/06.

Infine, occorre anche sottolineare, oltre alla complessità scientifica dei fenomeni da indagare, la difficoltà da superare sotto il profilo della programmazione operativa delle attività progettuali da eseguire.

Infatti, dovendo avere a disposizione un numero sufficiente di eventi di piena significativi da indagare, le due fasi sopra delineate hanno dovuto presentare caratteristiche di flessibilità tali da consentire, nell'arco della durata biennale del progetto, da un lato l'immediata operatività di chi doveva effettuare le misure, dall'altro lato di garantire la raccolta di un numero minimo di dati tale per cui l'analisi fosse consistente ed efficace.

In particolare, da parte della Direzione Ambiente, è stato essenziale garantire che chi doveva eseguire le misure di trasporto solido lo facesse effettivamente in corrispondenza degli eventi di piena significativi, che per loro natura sono caratterizzati da una notevole imprevedibilità di accadimento.

Questa pubblicazione, a conclusione del progetto in questione, raccoglie le relazioni scientifiche, rispettivamente del Dipartimento di Idraulica Trasporti ed Infrastrutture Civili del Politecnico di Torino e dell'ARPA Piemonte, quali prodotti finali delle specifiche Convenzioni di ricerca attivate dalla Direzione Ambiente. In ciascuna relazione viene riportata la descrizione delle attività effettuate e i risultati ottenuti da ciascun Ente, quale contributo al risultato complessivo del progetto, frutto della proficua collaborazione istituzionale fra i diversi soggetti partecipanti.

Salvatore DE GIORGIO
Responsabile Direzione regionale Ambiente

Roberto RAVELLO
Assessore regionale all'Ambiente



Politecnico di Torino

DITIC - *Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed
Infrastrutture Civili*



Ricerca relativa alle problematiche legate al trasporto di
DDT nei corsi d'acqua superficiali
a valle dell'impianto di Pieve Vergonte (VCO)

Progetto Finanziato dalla Regione Piemonte n. 729/08



Relazione finale - Maggio 2010

Responsabili

Prof. Luca Ridolfi

Prof. Roberto Revell

Collaboratori

Ing. Carlo Campor

Ing. Fulvio Boano

Indice

1	Introduzione	1
2	Inquadramento geografico	5
3	Analisi Idrologiche	13
3.1	Caratteristiche climatiche	13
3.2	Serie idrologiche utilizzate	15
3.3	Curva di durata delle portate	16
3.4	Analisi statistica	23
3.5	Distribuzione dei massimi di portata giornaliera	30
3.5.1	Portate medie mensili e valori sopra soglia	30
3.5.2	Valori massimi delle portate medie giornaliere	31
3.5.3	Correlazione tra valori al colmo e portata media giornaliera	33
3.6	Analisi dei dati di precipitazione...	34
3.6.1	P1: evento di piena del 29-31 maggio 2008	39
3.6.2	P2: evento di piena del 3-7 novembre 2008	43
3.6.3	P3: evento di piena del 26-30 aprile 2009	45
3.6.4	C1: esame del periodo 5-20 gennaio 2009	49
3.6.5	C2: esame del periodo 19-31 agosto 2009	49
3.6.6	C3-C4: esame del periodo ottobre 2009	54
3.6.7	C5: esame del periodo novembre 2009	60
3.6.8	C6: esame del periodo dal 25 nov. 2009 al 10 dic. 2009	60
3.6.9	C7: esame del periodo dal 10 al 18 dicembre 2009	69
3.7	Dati riassuntivi di precipitazione e portata	69
4	Analisi delle condizioni di incipiente mobilizzazione dei sedimenti	87
4.1	Analisi preliminari sul trasporto solido	87
4.2	Misure del trasporto solido in sospensione	91
4.3	Analisi del trasporto solido nelle sezioni a monte di Candoglia	92
4.4	Valutazione della correlazione tra portata liquida e portata solida	99

5	Analisi dei dati di concentrazione di DDT nei sedimenti	103
5.1	Correlazioni tra portate, precipitazioni e concentrazioni di DDT	103
5.2	Dinamica del DDT nel bacino del Toce	110
5.2.1	Evoluzione all'interno del bacino	111
5.2.2	Evoluzione dei sedimenti contaminati nel corso d'acqua	115
5.3	Apporto di DDT al Lago Maggiore	120
5.4	Commenti ai risultati	124
6	Conclusioni	127
A	Analisi statistica per la valutazione della frequenza cumulata	131
A.1	Periodo di ritorno T	131
A.2	Metodo dei momenti	132
A.3	Metodo degli L-momenti	133
A.4	Distribuzione esponenziale	134
A.5	Distribuzione di Gumbel	135
A.6	Distribuzione GEV	135
A.7	Verifica del modello probabilistico	136
A.8	Scelta del modello probabilistico	138

Capitolo 1

Introduzione

Al termine del mese di aprile del 2008 veniva firmata una convenzione di ricerca biennale tra la Direzione Ambiente della Regione Piemonte e il Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Infrastrutture Civili (nel seguito indicato con l'acronimo DITIC) del Politecnico di Torino. Tale convenzione riguardava alcune problematiche idrauliche legate al trasporto di DDT nei corsi d'acqua superficiali, e in particolare nel fiume Toce, a valle dell'impianto di Pieve Vergonte sito nella provincia del Verbano-Cusò Ossola. La presente relazione finale raccoglie quanto svolto dal Politecnico nell'ambito di detta convenzione.

Le problematiche legate alla diffusione di DDT nel sistema bacino idrografico del fiume Toce - Lago Maggiore sono da tempo oggetto d'interesse da parte di diversi Enti; interesse testimoniato, fra l'altro, da studi finalizzati alla definizione degli effetti biologici e chimici di tale sostanza sull'ecosistema del lago. La sorgente iniziale dell'inquinamento è il sito ex-Enichem di Pieve Vergonte (VCO), individuato come sito contaminato di interesse nazionale e attualmente sottoposto a procedura di bonifica. E' inoltre accertata la presenza di inquinamento diffuso di DDT non solo nel territorio circostante lo stabilimento ma in particolare nel Lago Maggiore, lì veicolato dal rio Marmazza, affluente in destra orografica del fiume Toce, e dal Toce stesso. Al momento della stipula della presente convenzione il quadro conoscitivo era tale che, a dispetto della grossa mole di dati di carattere chimico e biologico, soprattutto per quanto riguarda la presenza di DDT nel Lago Maggiore, erano invece assai scarse le informazioni qualitative e quantitative sui possibili processi idraulici che contribuiscono al trasporto del DDT dal sito in questione e dal bacino limitrofo al lago stesso. Altrettanto vaga era l'idea su quando questi processi agiscano, se solo durante le piene o in maniera meno intermittente. In base alle proprietà chimiche del DDT pareva plausibile che il probabile vettore di DDT è il materiale solido più fine (limi ed argille), che verrebbe mobilitato lungo l'asta fluviale essenzialmente in forma di trasporto solido in sospensione. Tuttavia si trattava solo di una ipotesi, seppure la più verosimile, e mancavano riscontri oggettivi di campo che la confermassero. Inoltre erano assenti, almeno a quanto noto agli scriventi, studi volti a legare il

regime idraulico ed idrologico del tratto terminale del Toce alla movimentazione di tale frazione fine; ne consegue che non si era in grado di fare alcuna previsione su quale portata metta in moto il trasporto del DDT e sulle concentrazioni che transitano nel Toce a valle di Pieve Vergonte. Scopo del presente lavoro è stato pertanto di contribuire a chiarire questi punti incogniti in collaborazione con l'ARPA. A quest'ultima sono stati dati compiti di analisi chimica, mentre al Politecnico si è affidato l'incarico di curare gli aspetti idraulici e delineare un quadro del possibile processo di trasporto del DDT lungo l'asta del Toce.

Le incertezze di fondo sui meccanismi idraulici che spiegano la presenza del DDT nel Lago Maggiore, unitamente al fatto che si è in un ambiente pedemontano, ha indirizzato gli scriventi ad impostare lo studio commissionato evitando di realizzare, o comunque di utilizzare, sofisticati modelli matematici teorici per simulare i processi idrologici di afflussi-deflussi e i processi di trasporto del DDT dal sito di Pieve Vergonte al lago Maggiore. Si sarebbe infatti trattato di un approccio (i) alquanto prematuro allo stato attuale delle conoscenze sul problema in esame e (ii) che comunque si sarebbe fondato su teorie idrauliche che con grande difficoltà (e quindi grandi incertezze) si adattano ai tratti pedemontani dei corsi d'acqua. Sono ben note infatti le difficoltà nel valutare il trasporto solido in questi casi: se non si hanno misure sulle quali validare i modelli, si rischia seriamente che l'incertezza della stima ottenibile dal modello idrologico/idraulico sia molto ampia e tale da rendere inutile dal punto di vista operativo qualsiasi risultato modellistico così ricavato. Una conferma della complessità del processo di trasporto sarà evidente nelle prossime pagine, nella parte di relazione relativa alle misure del trasporto solido in sospensione, laddove sarà fatto notare che i risultati sperimentali sono in netta contrapposizione con i classici andamenti normalmente osservati nei tratti di pianura dei corsi d'acqua. Questo a conferma di come occorra molta cautela nel trasporre ai tratti montani e pedemontani le conoscenze ricavate nei tratti di pianura.

Di concordia con gli altri soggetti che partecipano allo studio si è quindi ritenuto molto più utile impostare il lavoro in modo differente, evitando di avventurarsi in costose ed inattendibili implementazioni di complessi (ma qui sostanzialmente inutili) modelli teorici e invece orientando gli sforzi a indagare quale sia il reale meccanismo di trasporto e come la concentrazione di DDT trasportato dipenda dalla portata idrica della corrente. A tale fine si sono utilizzate misure di campo, sia idrauliche sia chimiche, e si è fatto ricorso a semplici modelli di bilancio del trasporto chimico. Le misure, sebbene delicate e necessariamente limitate, hanno permesso di vedere il fenomeno oggetto di studio, mettendone in luce le principali caratteristiche, alcune delle quali non intuitive. Le misure di sedimenti (sul fondo ed in sospensione) e DDT nel Toce sono state quindi un punto essenziale dello studio effettuato. Le campagne di misura condotte in precedenti studi, essendo state volte ad altri fini, hanno infatti spesso trascurato il trasporto solido che, invece, è il problema fondamentale qui investigato. I modelli di bilancio, volutamente formulati in modo semplice, hanno poi aiutato ad interpretare i ri-

sultati sperimentali. Nei prossimi capitoli sarà infatti evidente come tali misure non siano sempre facilmente interpretabili e mostrino comportamenti non regolari. Inoltre il loro numero limitato, dettato dall'oggettiva difficoltà sperimentale, rende ancora più difficile la loro interpretazione. Di qui il fondamentale aiuto di modelli di dinamica del DDT volti ad isolare i possibili scenari di trasporto compatibili con le misure stesse.

Il capitolo delle conclusioni sarà la parte di relazione dove si trarranno i risultati finali di quanto svolto e se ne tratterà il bilancio. Tuttavia è utile premettere sin d'ora due aspetti che hanno improntato il lavoro e che è bene avere presente per una sua corretta lettura. Il primo riguarda la complessità del problema affrontato. Seguire il percorso di una particella di DDT dal punto in cui è stata rilasciata sino al Lago Maggiore significa davvero imbattersi in tutti i processi di trasporto che compongono il moto delle sostanze a scala di bacino idrografico. Essi vanno dal moto di filtrazione insaturo nella porzione superficiale dei suoli alla formazione del deflusso sui versanti, dal trasporto iporreico nei sedimenti lungo il corridoio fluviale ai processi di diffusione turbolenta e dispersione nella corrente fluida. Quest'ultima, a sua volta, è spesso ben lungi dall'essere in moto uniforme e invece mostra spiccate disuniformità (quali correnti secondarie, onde, ecc.) e comportamenti variabili nel tempo. In generale, si tratta di processi di trasporto che contengono forti non linearità, dipendenti da diversi parametri di difficile calibrazione e parzialmente ancora scientificamente ignoti. Il secondo punto chiave concerne l'oggettiva difficoltà delle misure di trasporto solido, specie della frazione più fine. Come sarà testimoniato nei prossimi capitoli relativamente agli aspetti idraulici, e nella relazione di competenza dell'ARPA per quanto attiene a quelli chimici, si tratta di misure complicate, onerose e che possono essere praticamente svolte solo nella sezione di Candoglia. Tutto ciò comporta che le misure, oltre ad avere un grado di incertezza, sono necessariamente limitate in numero e quindi insufficienti per una completa comprensione dell'intero processo di trasporto. Di fronte a questo quadro, l'atteggiamento con cui si è svolto il lavoro non è stato quindi quello di cercare di fare luce su ogni aspetto, col proposito di giungere a risultati quantitativi dettagliati ed esaurienti (pretesa assurda di fronte alla formidabile complessità dei processi analizzati), quanto piuttosto di usare al meglio le poche, ma proprio per questo preziosissime, informazioni acquisite per delineare un quadro coerente e di aiuto per la Regione Piemonte. In altre parole, si è trattato di proporre scenari di trasporto che siano compatibili con le misure e con quanto noto nella letteratura scientifica riguardo il trasporto di scalari attraverso un bacino idrografico.

La relazione è organizzata secondo il seguente schema. Nel Capitolo 2 si ricordano alcune caratteristiche generali del Fiume Toce e del suo bacino e si evidenziano alcune peculiarità della sezione di chiusura di Candoglia. Si tratta di un'ottima stazione, posta in una sezione fluviale strategica per il presente studio, con un profilo morfologico campionato con una discreta regolarità, ben mantenuta nel tempo e, pertanto, capace di fornire dati di ottima qualità. Nel Capitolo 3

sono riportate le elaborazioni idrologiche necessarie allo svolgimento del lavoro. Esse riguardano i dati di portata registrati nella sezione di misura di Candoglia. Inoltre si sono integrati i dati registrati negli ultimi anni dall'ARPA con quanto presente sugli annali storici e con i dati misurati dall'Istituto di Idrobiologia di Pallanza, questi ultimi recuperati per il tramite della Regione Piemonte. Poichè lo studio in questione non ha un obiettivo specificatamente idrologico, si è evitata un'approfondita ed estesa analisi statistica dei dati che sarebbe stata sostanzialmente inutile ai fini del presente lavoro. Tuttavia si sono compiute le analisi fondamentali per avere un quadro del regime idrologico del Toce e si sono fatte alcune analisi idrologiche separate per sottobacini. Il Capitolo 4 è dedicato all'analisi del trasporto solido nella sezione di Candoglia e al trasporto solido nel tratto di asta del Toce compreso tra Pieve Vergonte e Candoglia stessa. Nel Capitolo 5 si descrivono alcuni modelli di bilancio, a scala di versante e a scala di corso d'acqua, del contenuto di DDT. Tali modelli sono poi usati per delineare alcuni scenari di trasporto plausibili ed escluderne altri: alla luce di ciò, si interpretano i risultati relativi al trasporto solido ed i dati misurati dall'ARPA. Infine, come precedentemente detto, nel Capitolo 6 si traggono le conclusioni generali del lavoro effettuato e si indicano possibili ulteriori sviluppi.

Capitolo 2

Inquadramento geografico

Il fiume Toce appartiene al bacino idrografico del fiume Ticino, essendo un immissario del Lago Maggiore nel quale confluisce a monte dell'abitato di Stresa. Il bacino è geograficamente ubicato nelle Alpi centro-occidentali: la maggior parte di esso (circa il 90%) è situata nella zona a nord della Regione Piemonte, mentre la parte restante (circa il 10%) è in territorio svizzero (si veda la Figura 2.1).

Il Toce è caratterizzato da una lunghezza dell'asta fluviale principale di oltre 80 km, valutata dalle sorgenti poste in prossimità del Passo San Giacomo fino alla confluenza del Toce nel Lago Maggiore. Il bacino idrografico complessivo, chiuso alla confluenza con il Lago Maggiore, presenta una superficie di circa 1780 km². Esso è caratterizzato prevalentemente da strette valli di origine glaciale, con una quota geodetica media superiore ai 1500 m s.l.m., ed una altimetria compresa tra i 4623.5 m s.l.m. del Monte Rosa - situato nella zona a sud-ovest, nel bacino idrografico del torrente Anza, affluente del Toce - ed i 193 m s.l.m. corrispondenti alla confluenza con il Lago Maggiore.

Il fiume Toce scorre in direzione prevalente nord-sud fino alla confluenza con il torrente Anza (affluente in sponda destra), quindi devia il suo percorso gradualmente verso sud-est e mantiene tale direzione fino alla sua confluenza nel lago Maggiore. All'interno del bacino sono identificabili numerosi laghi artificiali di notevoli dimensioni assoggettati quasi tutti ad un uso idroelettrico. Questi sono posti nei rami terminali degli affluenti principali, quindi a quote molto elevate, e dotati di una capacità complessiva di invaso superiore ai 150 milioni di metri cubi. A questi si deve aggiungere anche il lago d'Orta, di origine naturale, con l'emissario confluyente nel torrente Strona, affluente in sponda destra del fiume Toce, quando ormai quest'ultimo è prossimo alla sua foce nel Lago Maggiore.

Lo studio in esame ha riguardato, però, solo una parte del bacino idrografico del fiume Toce, evidenziata dalla sezione di chiusura posta sul corso d'acqua principale in corrispondenza della stazione di misura di Candoglia (vedasi la Figura 2.2), posta a circa 6 km dalla foce nel lago Maggiore ed individuata dalle



Figura 2.1: Contesto geografico in cui è inserito il bacino del fiume Toce, indicato in arancione (fonte: Google Maps).

coordinate:

$$XUTM = 455'223 \text{ m est} \quad YUTM = 5'091'317 \text{ m nord}$$

definite nel sistema di riferimento European Datum 1950 UTM Zone 32N.

La sezione di chiusura in esame è posta a pochi chilometri dalla confluenza nel Lago Maggiore, venendo in questo modo ad escludere gli apporti provenienti dal torrente Strona e, di conseguenza, dal lago d'Orta. Il bacino idrografico del fiume Toce sotteso dalla sezione di chiusura di Candoglia ha un'estensione di 1530 km², una quota della sezione di chiusura a 196 m s.l.m. ed è inscrivibile in un rettangolo di coordinate (European Datum 1950 UTM Zone 32N):

$$\begin{aligned} \text{Vertice sud-est:} & \quad XUTM = 412'257 \text{ m est} \quad YUTM = 5'083'532 \text{ m nord} \\ \text{Vertice nord-ovest:} & \quad XUTM = 459'105 \text{ m est} \quad YUTM = 5'145'784 \text{ m nord} \end{aligned}$$

Percorrendo l'asta principale è stato possibile individuare sette affluenti principali i cui bacini idrografici sono stati valutati con sezione di chiusura alla confluenza con il fiume Toce (Figura 2.2). Questi torrenti sono da prendere in particolare considerazione in quanto presentano un'estensione areale elevata, come ad esempio il torrente Diveria (17% del totale del bacino) ed il Torrente Anza (21%), o una particolare posizione di confluenza con il fiume Toce, come per il gruppo dei torrenti Bogna, Melezzo ed Isorno, le cui confluenze ricadono in un tratto di circa 3 km, con un'area complessiva dei loro bacini pari a circa il 15% dell'area

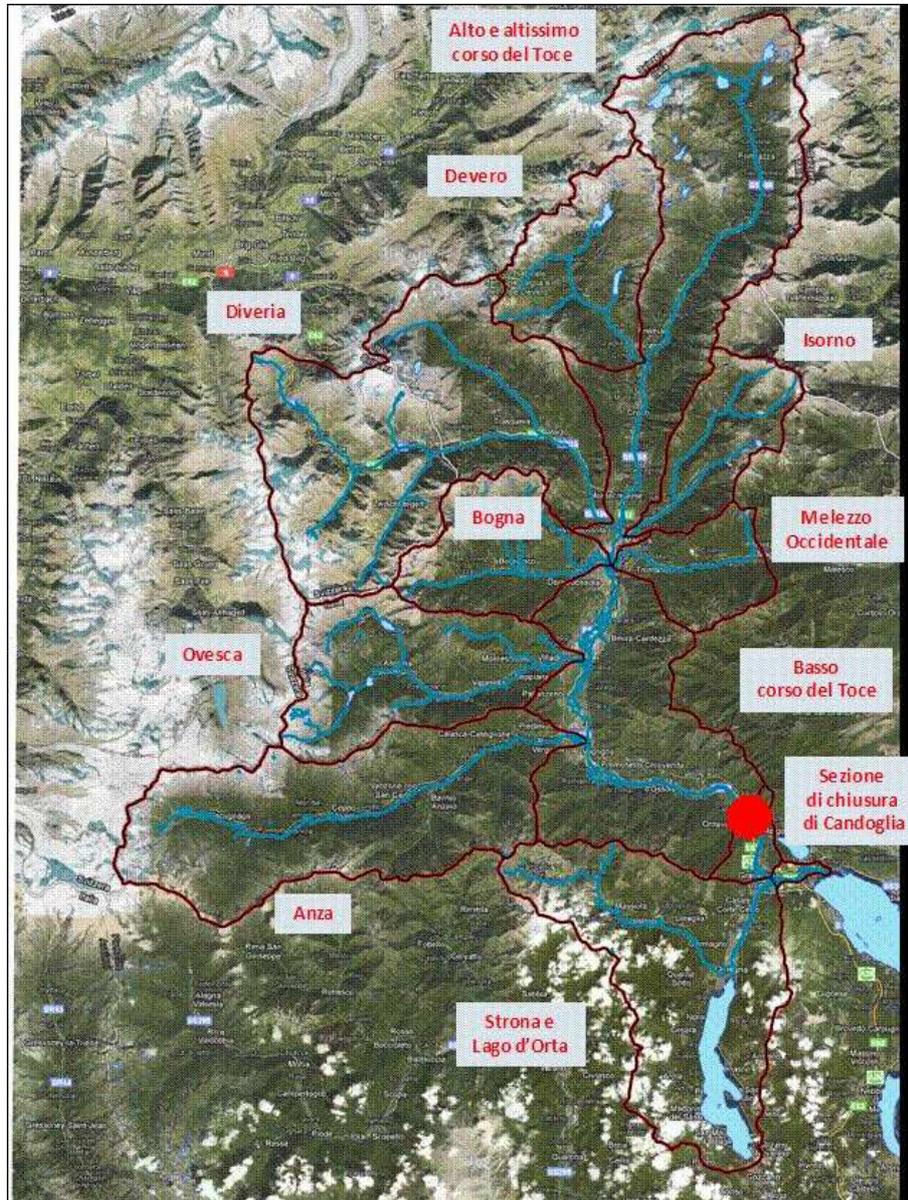


Figura 2.2: Individuazione dei bacini principali all'interno del bacino del fiume Toce.

complessiva del bacino in esame. E' stato così possibile ottenere, sia per il bacino in esame, che per ogni singolo sottobacino le principali caratteristiche in termini di quota minima, media, massima e per fasce di quota, così come riportato nella Tabella 2.1.

Tabella 2.1: Principali caratteristiche del bacino del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia e dei suoi principali sottobacini (con sezione di chiusura alla confluenza con il fiume Toce), ottenute da analisi del DTM con scala di dettaglio di 250 m.

	Corso d'acqua							
	F. Toce	T. Anza	T. Ovesca	T. Bogna	T. Melezzo Occ.	T. Isorno	T. Diveria	T. Devero
Estensione [km ²]	1530	258	151	95	59	73	322	111
quota [m s.l.m.]								
minima	193	217	231	277	268	279	299	521
media	1674	1779	1719	1528	1152	1542	2023	1987
massima	4488	4488	3384	2671	2248	2574	3910	3194
Area per fasce di quota [km ²]								
0 - 250 m s.l.m.	44.1	0.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
250 - 500 m s.l.m.	67.0	3.9	3.9	5.4	5.9	2.6	3.6	0.0
500 - 1000 m s.l.m.	211.0	35.4	22.1	14.8	17.5	9.6	20.1	6.3
1000 - 1500 m s.l.m.	290.4	55.2	29.8	22.4	21.3	16.8	45.6	11.3
1500 - 2000 m s.l.m.	361.4	66.0	39.1	28.1	12.5	25.9	81.9	28.8
2000 - 2500 m s.l.m.	364.6	56.9	37.5	23.4	1.6	16.8	100.6	50.0
2500 - 3000 m s.l.m.	149.3	25.8	14.6	0.8	0.0	1.3	47.8	13.8
3000 - 3500 m s.l.m.	32.4	8.3	3.0	0.0	0.0	0.0	17.3	0.8
3500 - 4000 m s.l.m.	7.9	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0
4000 - 4500 m s.l.m.	1.9	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4500 - 4623.5 m s.l.m.	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

In Figura 2.3 è riportato il reticolo idrografico principale del fiume Toce sovrapposto al DEM da cui sono stati estratti i valori riportati in Tabella 2.1.

Della particolare posizione di questi affluenti se ne deve tener conto nelle analisi idrologiche in quanto il bacino del fiume Toce a monte della confluenza con il torrente Diveria occupa un'area di soli 371 km². L'asta fluviale del Toce, valutata da questo punto alla sezione di Candoglia ha una lunghezza di circa 30 km, comportando che oltre il 70% del bacino si trova ad una distanza inferiore a quella indicata. Studi condotti sui tempi di risposta dei bacini idrografici italiani da Bocchiola et al. (2003) [4], mostrano che per il bacino del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia è ipotizzabile con buon attendibilità un tempo di ritardo della risposta del bacino di circa 10 ore, riscontrata anche grazie al confronto con

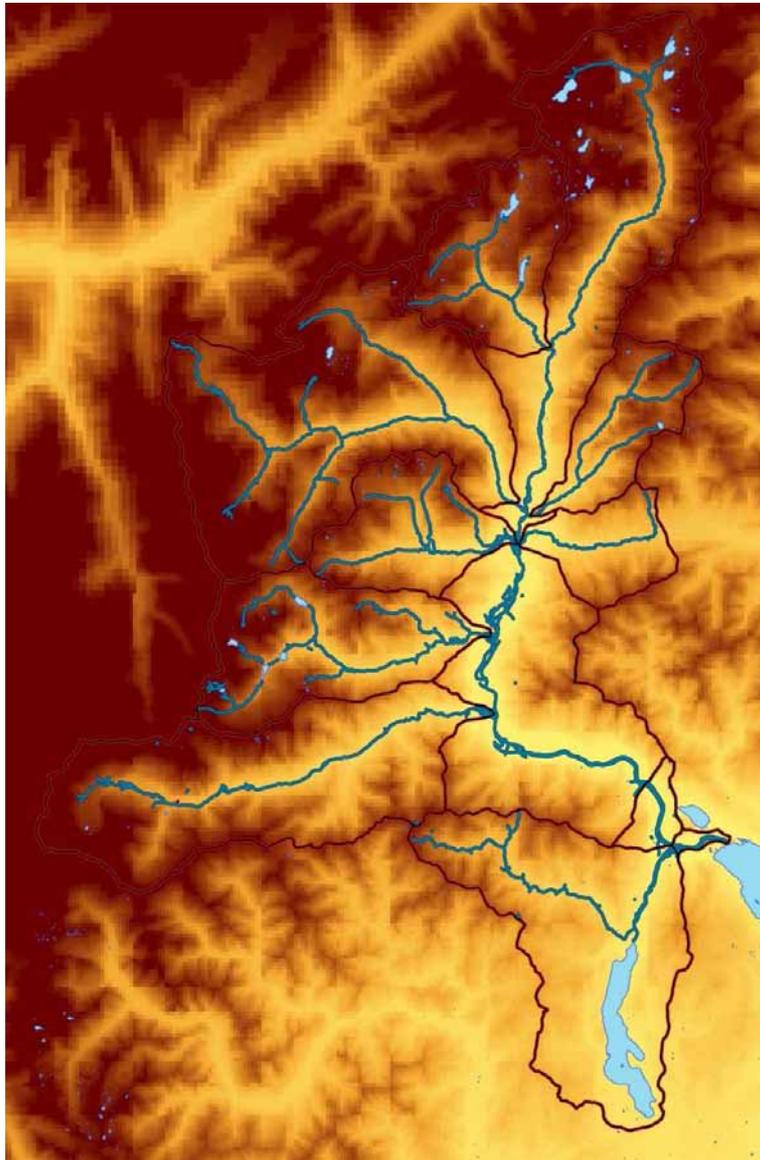


Figura 2.3: Bacini principali all'interno del bacino del fiume Toce, e loro sovrapposizione al DEM.

i tempi di ritardo misurati per alcuni eventi di piena. Ciò lascia presumere che un evento meteorico intenso permette il raggiungimento del colmo di piena in meno di 24 ore. Con la Figura 2.4, infine, si vuole fornire anche un'indicazione sulle principali tipologie di uso del suolo per il bacino in esame. Questo presenta le classiche caratteristiche di un bacino alpino, con elevata presenza di zone a prato e boschi a quote medio-basse, con piccole aree dedicate anche all'agricoltura, zone a pascolo ed incolte a quote più elevate e zone di roccia o nevi perenni nelle fasce a quota molto elevata. Le aree edificate sono concentrate principalmente lungo l'asta del medio-basso Toce dove, grazie alla valle più aperta, è stato possibile realizzare i grossi centri abitati, primo tra tutti Domodossola, posto nella parte centrale del bacino.

La sezione di chiusura di Candoglia si trova nel basso corso del fiume Toce, a monte della confluenza del torrente Strona nel Toce stesso. Questo tratto del fiume Toce è ormai caratterizzato da pendenze medie dell'asta fluviale ridotte. Si tenga infatti presente che la sezione di Candoglia si trova ad una quota di 196 m s.l.m., contro i 193 m s.l.m. della sezione terminale del fiume corrispondente all'immissione nel Lago Maggiore. La distanza tra le due sezioni è di circa 9700 metri, con una pendenza media di quest'ultimo tratto inferiore a $0.5 \cdot 10^{-3}$. Variazioni di livello del Lago Maggiore influenzano quindi i profili della corrente in transito. Nella Figura 2.5 si riporta un estratto della cartografia CTR della Regione Piemonte in prossimità della sezione di Candoglia. Nella Figura 2.6 si riporta un'immagine satellitare (fonte: Google Maps) della stessa area.

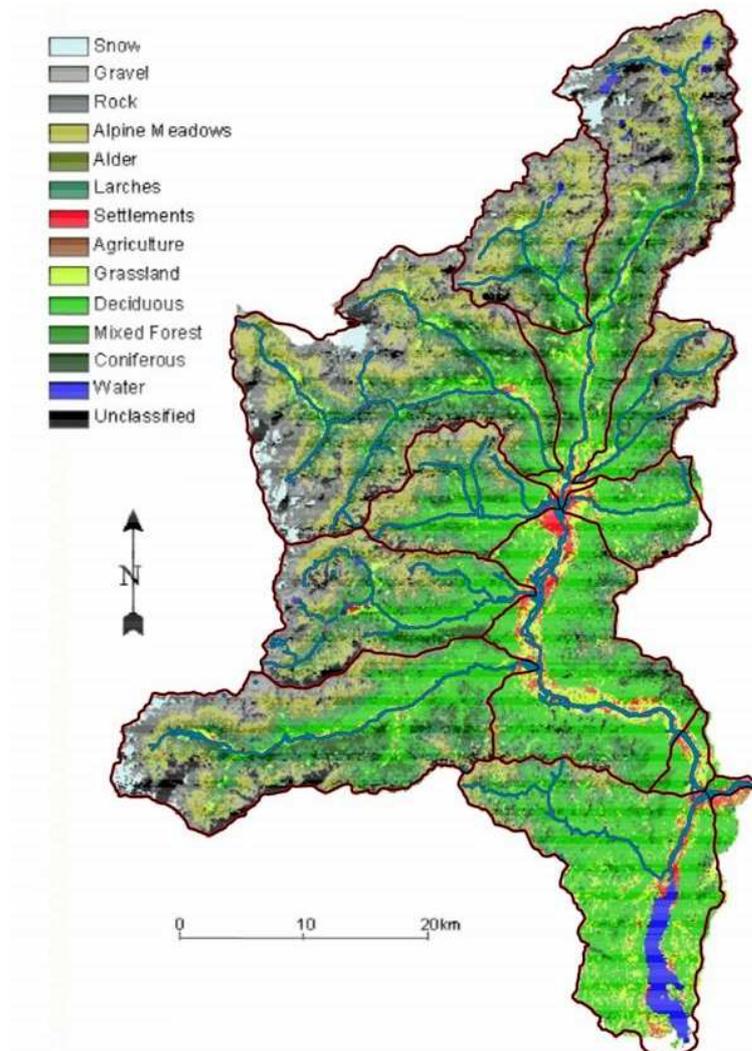


Figura 2.4: Principali usi del suolo per il bacino idrografico del fiume Toce a monte della sezione di chiusura di Candoglia (fonte: RAPHAEL project).

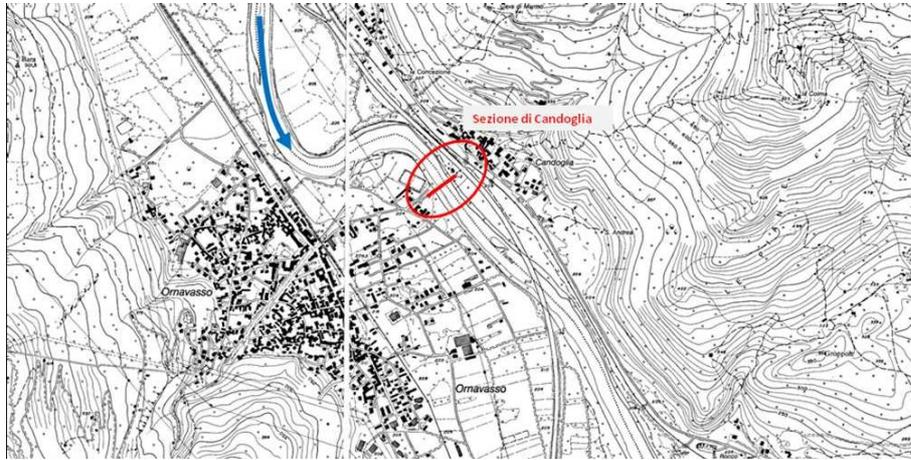


Figura 2.5: Estratto delle CTR per l'area in prossimità della sezione di Candoglia.



Figura 2.6: Immagine aerea dell'area in prossimità della sezione di Candoglia (fonte: Google Maps).

Capitolo 3

Analisi Idrologiche

Le valutazioni idrologiche presentate nel presente capitolo sono volte sia all'individuazione delle portate che possono innescare fenomeni di trasporto solido nel fiume Toce, portando alla mobilità di quella parte dei depositi presenti in alveo contenenti particelle di inquinanti, sia, più in generale a fornire i dati idrologici per le successive elaborazioni. Risulta a tal fine utile concentrare la propria attenzione non sui singoli eventi di piena che possono verificarsi nel corso d'acqua in esame, ma piuttosto lavorare sulle portate medie giornaliere. Il fenomeno di trasporto solido a cui ci si riferisce ha, infatti, inizio per portate di modesta entità. Per la valutazione del numero di giorni a scala annuale e mensile in cui si prevede che sia superata la portata che determina l'inizio del fenomeno di trasporto solido si ricorre alla curva di durata delle portate. A questa è associata un'analisi statistica volta a determinare a scala mensile anche la probabilità di superamento dei valori di soglia delle portate, ottenuti questi ultimi a partire dall'analisi del fenomeno del trasporto solido.

In seguito si procederà anche ad un esame di alcuni eventi di piena compresi nel periodo 2000-2006, avente lo scopo di valutare al meglio il legame esistente tra portate medie giornaliere e valori al colmo, oltre a ricavare informazioni sulle tipologie di piene che si manifestano nel bacino in esame.

Infine verranno presi in considerazione i dati di precipitazione e portata in corrispondenza dei periodi di campionamento effettuati con lo scopo di valutare la quantità di DDT presente nei sedimenti stessi, di cui verrà discusso ampiamente nei capitoli successivi.

3.1 Caratteristiche climatiche

Le caratteristiche climatiche di interesse per il presente studio sono identificabili principalmente nel regime idrometrico del bacino, valutato sia in termini di eventi estremi che di valori medi giornalieri.

Per quanto riguarda il regime idrometrico degli eventi estremi, dai rapporti di evento, disponibili sul sito della regione Piemonte, è stato possibile ricavare la frequenza dei fenomeni alluvionali nei vari mesi dell'anno, valutata complessivamente in 34 eventi, distribuiti come indicato in Tabella 3.1. Si può osservare come la maggior frequenza delle piene è concentrata nei mesi autunnali, con assenza di fenomeni significativi nel periodo invernale e con una discreta concentrazione nel periodo tardo-primaverile.

Tabella 3.1: Eventi di piena causa di fenomeni di alluvione storicamente documentati.

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
		1946	1963	1926	1957	1930	1934	1947	1755	1930	
		1956		1931	2002	2001	1935	1948	1839	1951	
				1960			1939	1956	1868	1962	
				1902			1978	1960	1924	1968	
								1961	1977	2002	
								1993	1993	2002	
									2000		

Un'informazione simile è ricavabile analizzando il regime idrometrico medio alla sezione di Candoglia, rappresentato in Figura 3.1, dal quale traspare che le portate medie giornaliere massime si hanno nei mesi di maggio–giugno, a causa della concomitanza di eventi pluviometrici e scioglimento nivale, e nel periodo settembre–ottobre a causa, questa volta, del solo regime idrometrico.

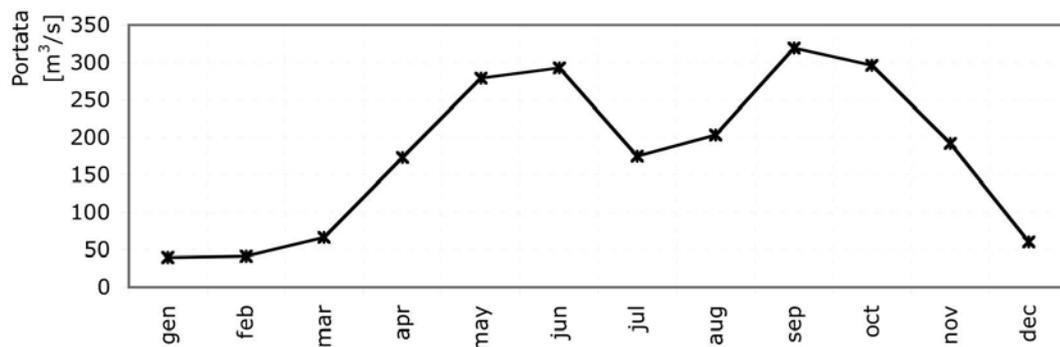


Figura 3.1: Regime idrometrico medio per il bacino idrografico del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia.

3.2 Serie idrologiche utilizzate

Per lo studio in esame è stata utilizzata la serie storica delle portate giornaliere rilevate per il fiume Toce alla sezione di Candoglia. Tramite l'utilizzo dei dati presenti negli Annali e di dati forniti direttamente dagli uffici della Regione Piemonte, è stato possibile ottenere una serie storica che copre il periodo compreso tra l'anno 1935 e l'anno 2006. Di questi 72 anni di dati, in realtà sono utilizzabili nel presente studio solo 56 anni, facenti riferimento a serie annuali complete o senza inconsistenze. Nella Tabella 3.2 è riportato un riepilogo delle principali informazioni utilizzate nell'intervallo di tempo indicato.

Tabella 3.2: Schema riassuntivo dell'analisi di consistenza dati della serie storica delle portate medie giornaliere registrate per il bacino del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia.

Periodo	N° anni	Osservazione		Origine	
		Portata	Livello	Annali	Regione
1935 - 1941	7	x	-	x	-
1942	1	-	-	-	-
1943 - 1960	18	x	-	x	-
1961	1	-	-	-	-
1962 - 1964	3	x	-	x	-
1965 - 1977	35	-	-	-	-
1978 - 1999	22	x	-	-	x
2000	1	x	x	-	x
2001	1	o	o	-	o
2002 - 2006	5	x	x	-	x

x: serie completa o: serie incompleta -: serie mancante

Nel verificare la consistenza dei dati ed eventuali loro anomalie, si è riscontrato un'evidente periodicità a scala settimanale nelle portate minime, come emerge dallo stralcio di serie annuale presentato in Figura 3.2, riferito al periodo compreso tra lunedì 14 gennaio 2002 e domenica 17 febbraio 2002. Sul reticolo idrografico del fiume Toce sono presenti numerosi sbarramenti, fra cui 16 grandi dighe, asserviti ad impianti idroelettrici. Nei giorni feriali il funzionamento di questi impianti determina un rilascio in alveo delle portate turbinate, mentre nei giorni festivi la minore richiesta di energia elettrica permette l'utilizzo parziale di questi impianti, favorendo l'accumulo dei volumi idrici in ingresso ai grandi serbatoi. Il ridotto rilascio delle portate in ingresso ai vari sbarramenti determina un minor valore delle portate in transito, con una variazione tra giorni feriali e festivi di circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dalla Figura 3.3 alla Figura 3.11 sono presentate le serie annuali di portata media giornaliera raggruppate in base al periodo di riferimento in cui si aveva

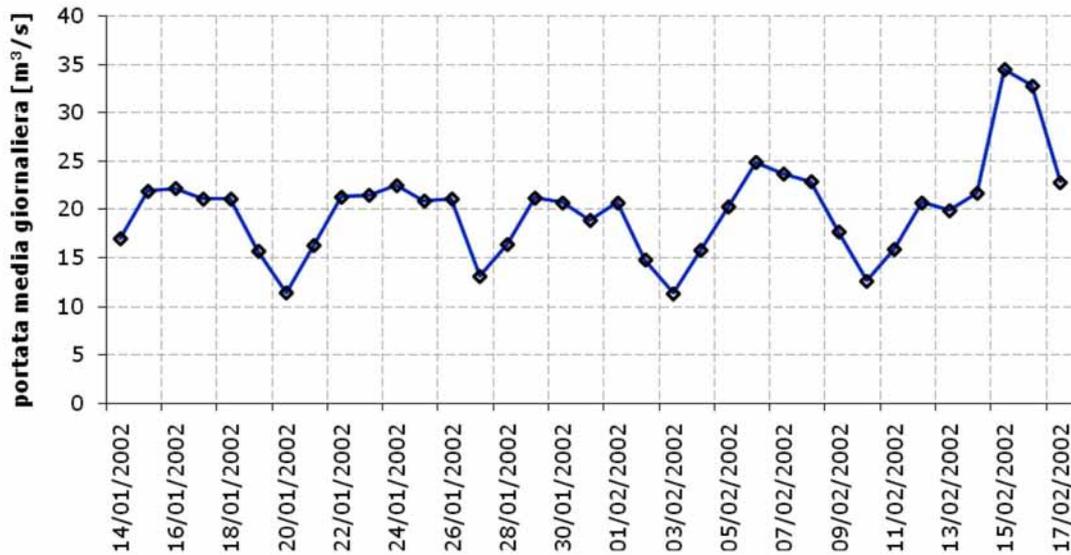


Figura 3.2: Esempio di periodicità a scala settimanale rilevata nelle serie storiche delle portate medie giornaliere, ed imputabile alla presenza di numerosi impianti idroelettrici presenti nel reticolo fluviale del fiume Toce.

una continuità nei dati (Tabella 3.2). I valori massimi, registrati durante eventi di piena intensi, variano tra i $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ed i $1200 \text{ m}^3/\text{s}$, con alcune eccezioni, come per la piena dell'ottobre 2000, caratterizzata da un livello idrico superiore a 8.5 metri, corrispondenti ad una portata stimata di oltre $2600 \text{ m}^3/\text{s}$, come si desume anche nel "Rapporto sull'evento alluvionale del 13-16 ottobre 2000" pubblicato dalla Regione Piemonte [16]

Dalla Figura 3.11 si nota che per l'anno 2001 la serie annuale non è completa in quanto presenta molte lacune nella serie dei dati, rendendo inutilizzabile la serie stessa.

3.3 Curva di durata delle portate

La curva di durata delle portate rappresenta il legame intercorrente tra le portate medie giornaliere e la loro frequenza di superamento [6]. In essa, infatti, si collega ad ogni valore di portata la frequenza o, in maniera più diretta, il numero di giorni in un anno in cui tale portata è superata. Essa deve essere rappresentativa delle caratteristiche del corso d'acqua e dunque è necessario effettuare un'analisi delle portate giornaliere e delle rispettive frequenze di superamento che coinvolga un numero elevato di anni. Nel caso qui esaminato si hanno a disposizione in totale 56 anni di osservazione di portate medie giornaliere.

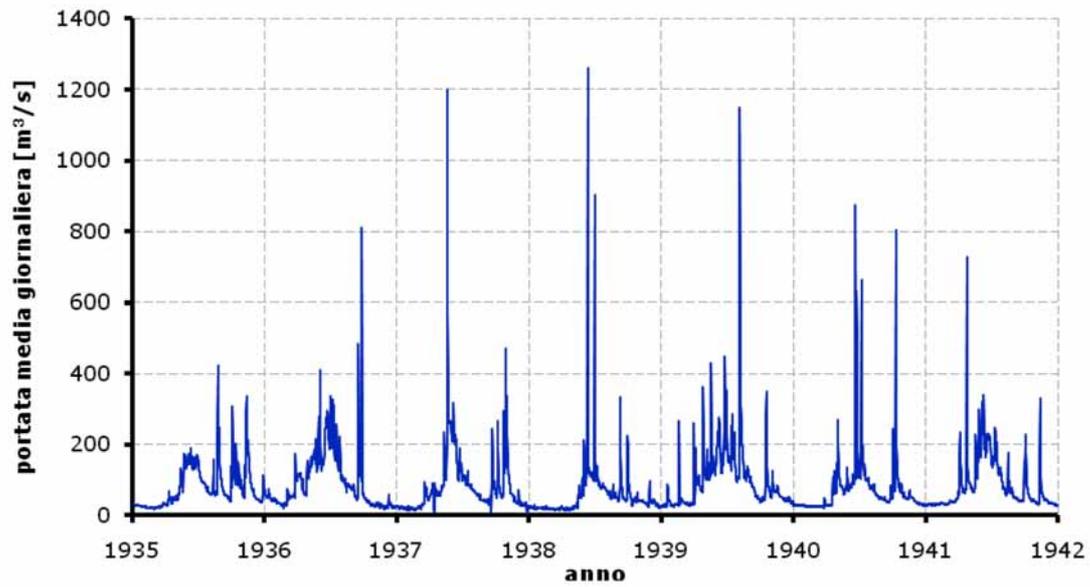


Figura 3.3: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1935 - 1941.

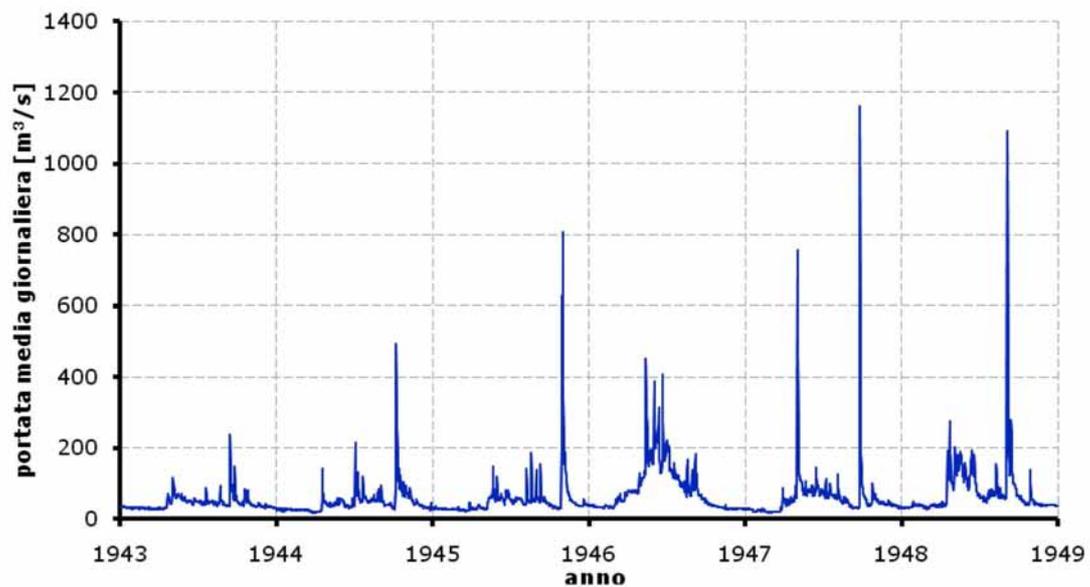


Figura 3.4: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1943 - 1948.

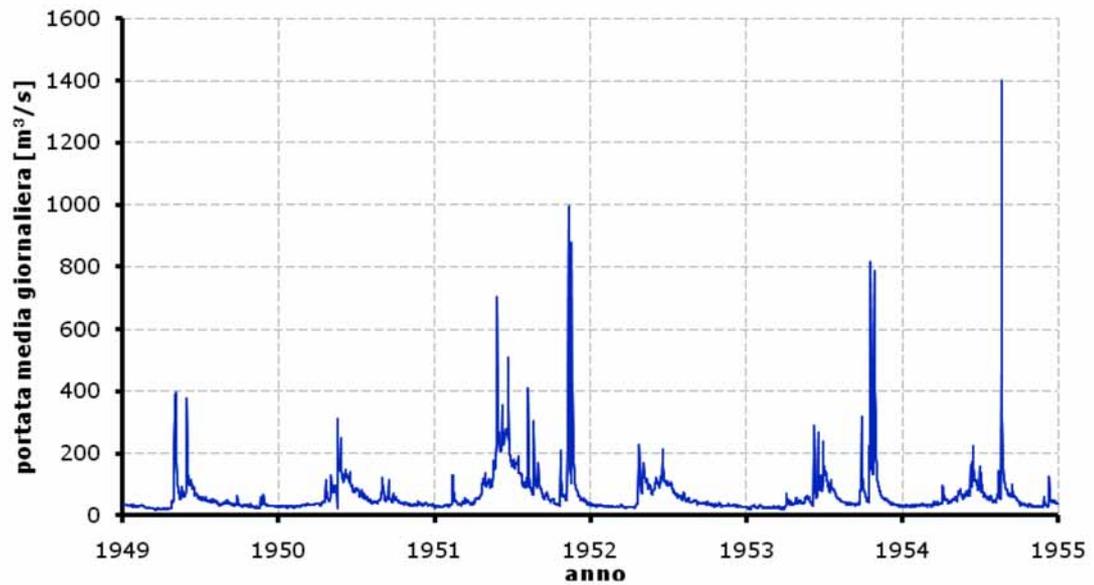


Figura 3.5: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1949 - 1954.

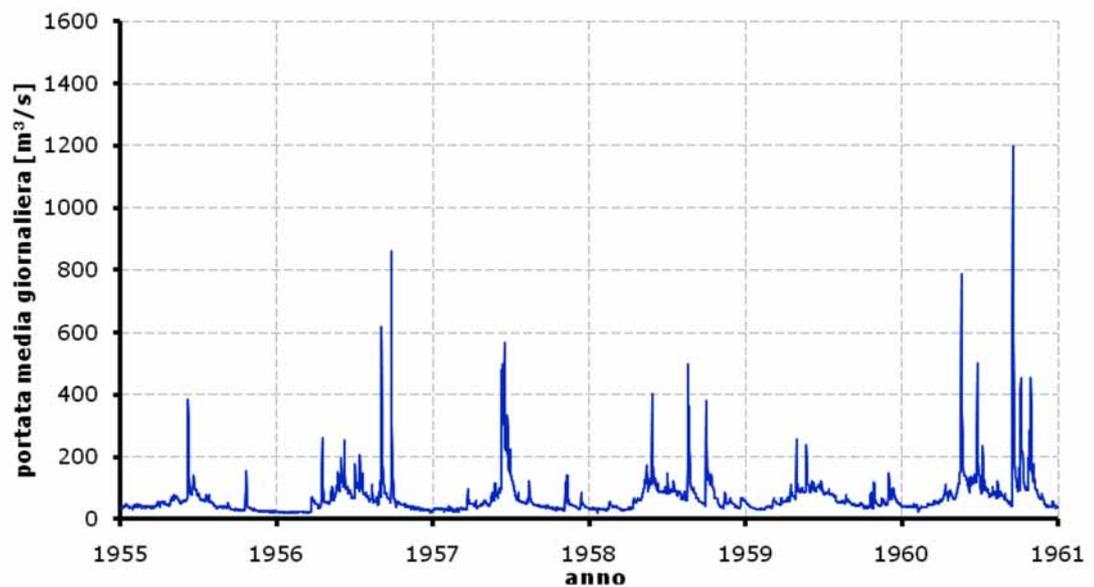


Figura 3.6: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1955 - 1960.

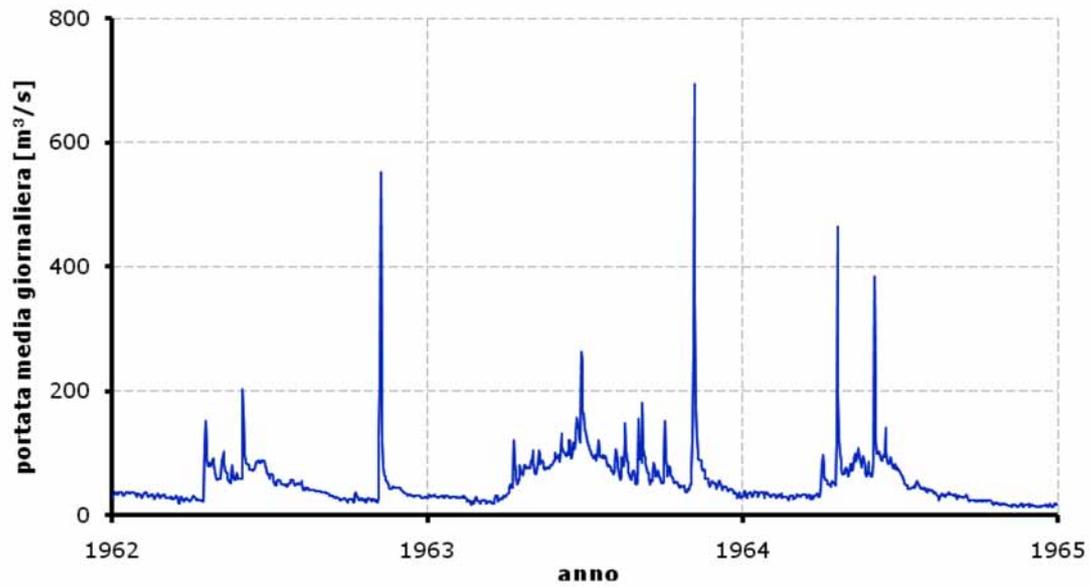


Figura 3.7: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1962 - 1964.

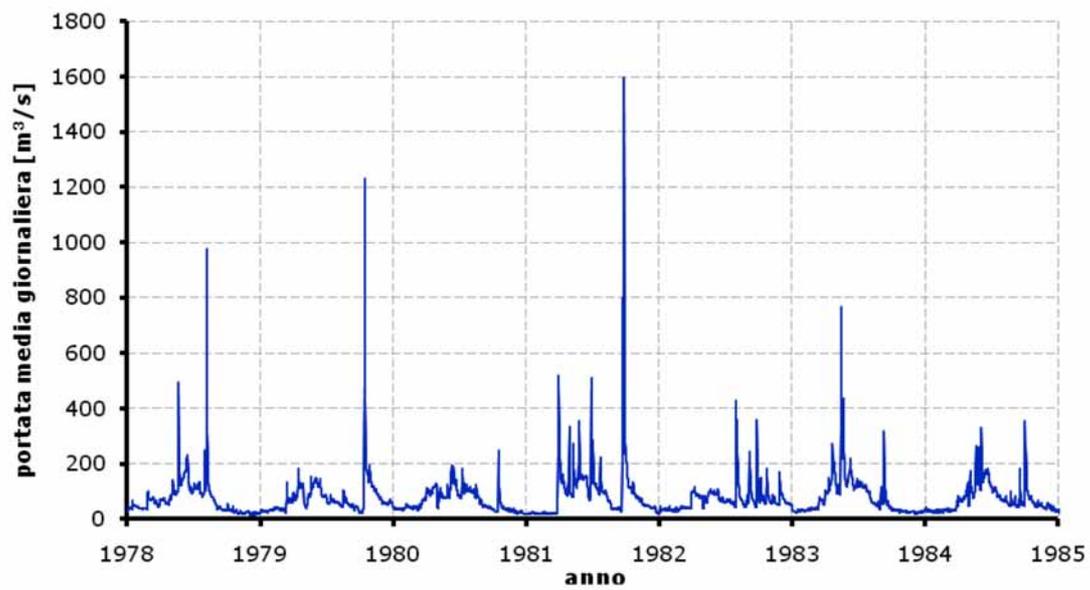


Figura 3.8: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1978 - 1984.

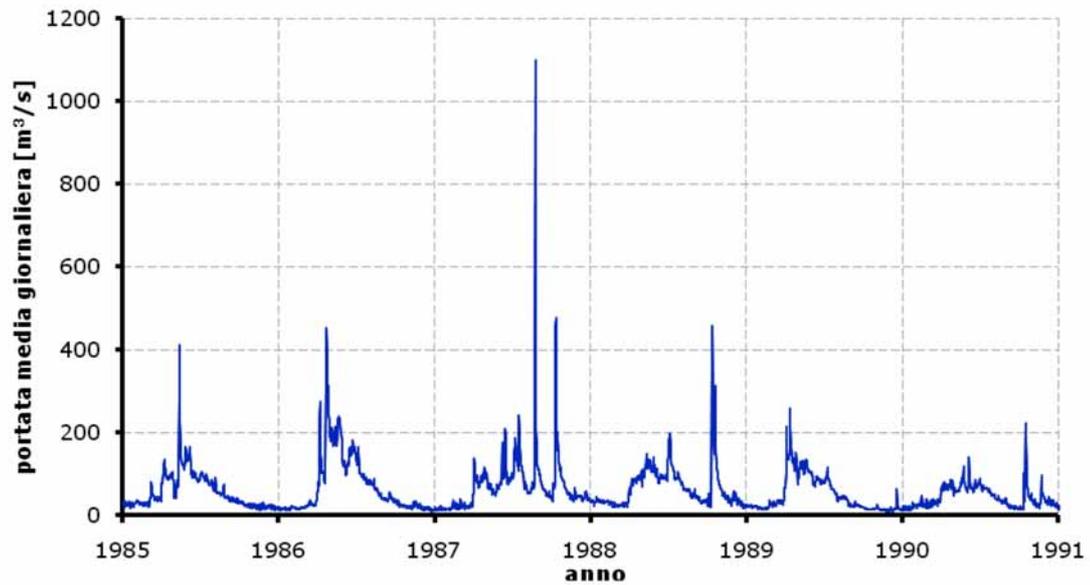


Figura 3.9: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1985 - 1990.

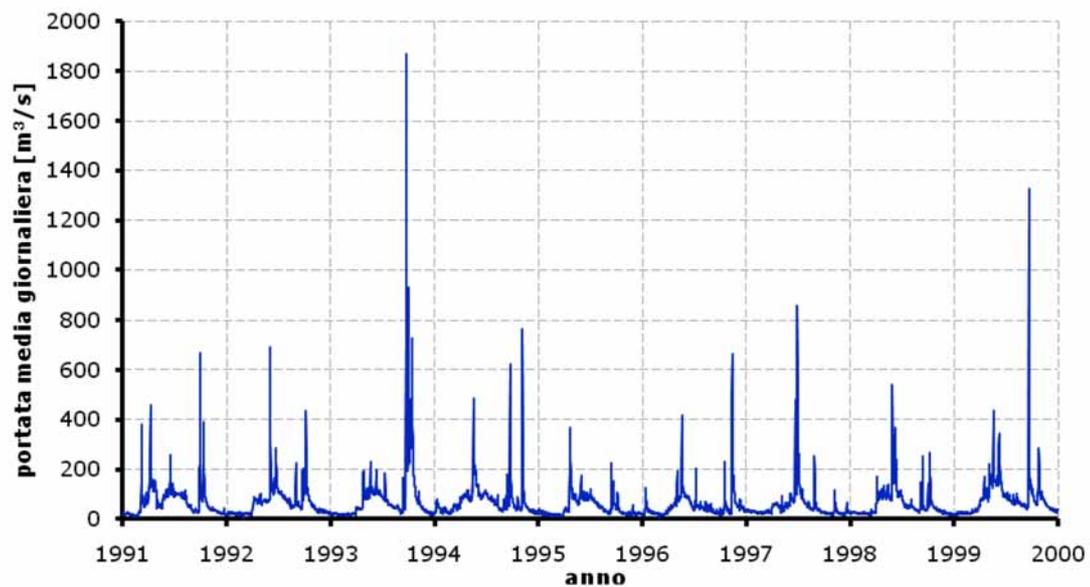


Figura 3.10: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1991 - 1999.

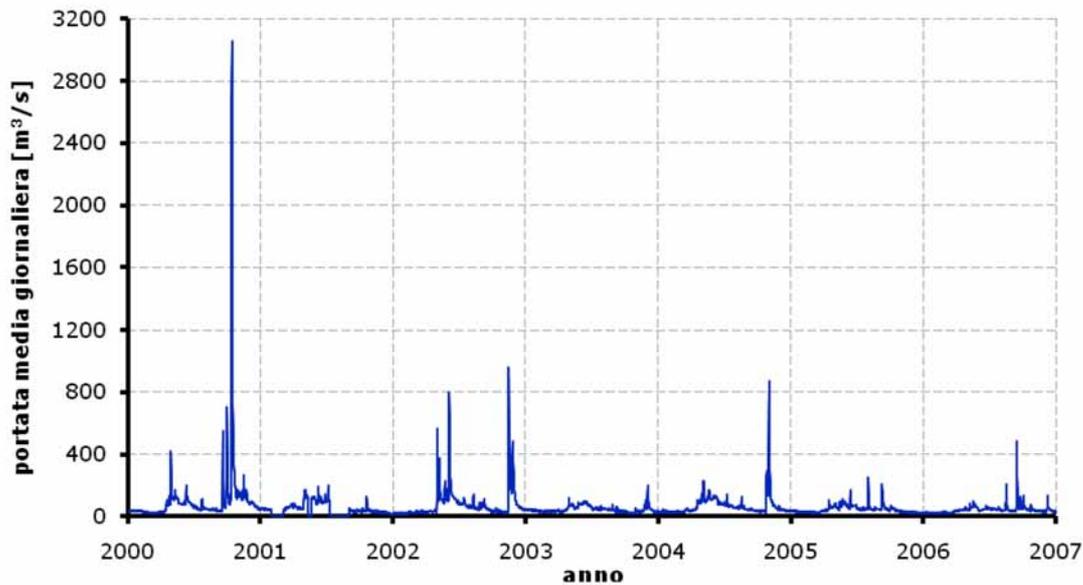


Figura 3.11: Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 2000 - 2006.

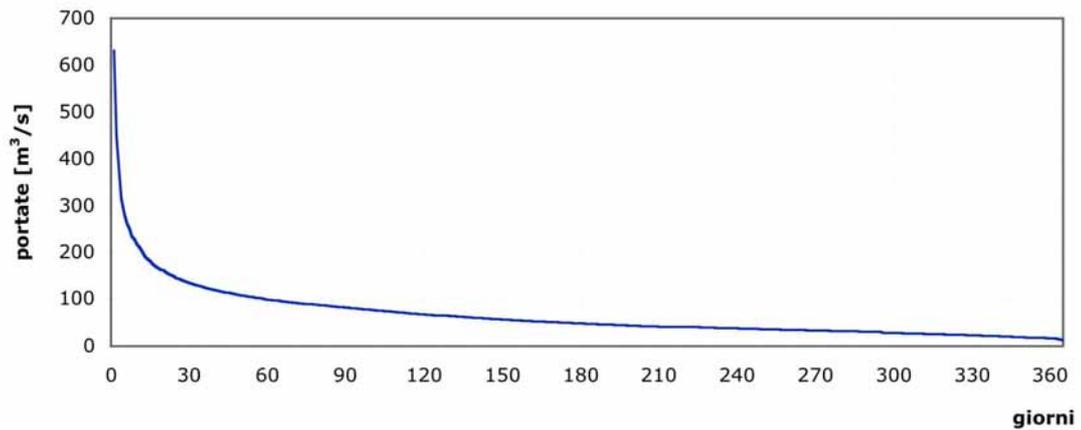
Basandosi sulla serie ordinata di numerosità N si associa ad ogni i -esimo valore anche la rispettiva frequenza di superamento, data da

$$F(i) = \frac{i}{N} \quad (3.1)$$

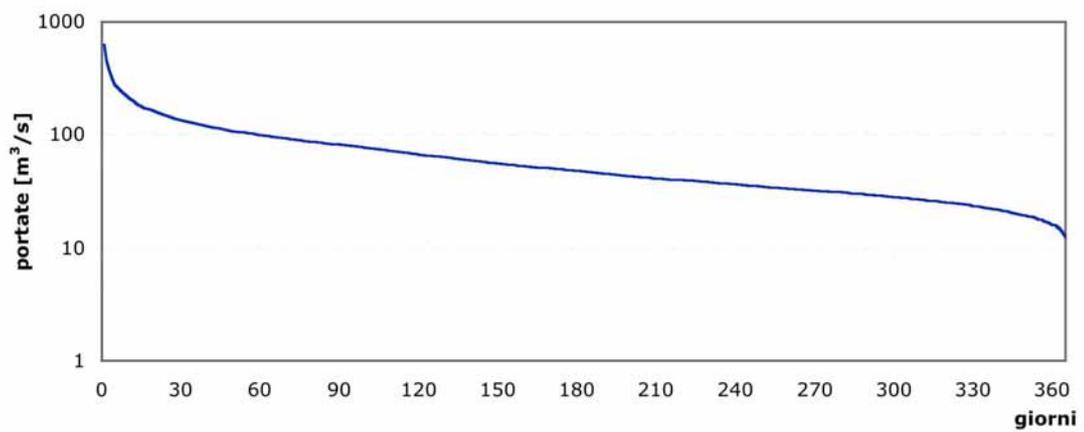
tale per cui a valori elevati delle portate corrispondono valori ridotti della frequenza, verificando quindi l'ipotesi che le portate elevate hanno una frequenza di superamento ridotta. Procedendo in tal modo, si ha che il valore minimo dei deflussi medi giornalieri viene superato 365 giorni all'anno, avendo quindi una frequenza di superamento pari a 1.

La curva delle portate così determinata è riportata nella successiva Figura 3.12a. In questa rappresentazione la curva è di difficile lettura, avendo un andamento molto prossimo agli assi coordinati. Per ovviare a tale problema si riporta la stessa curva con l'asse delle ordinate in scala logaritmica, ottenendo la Figura 3.12b. In questo caso, inoltre, si è deciso di rappresentare la frequenza di superamento in giorni, ossia si è fatta l'ipotesi che la curva di durata ottenuta sia quella rappresentativa di un ipotetico anno in cui sono racchiuse tutte le caratteristiche del corso d'acqua: alla frequenza di superamento $F(i) = 1$ corrisponde la durata $d = 365$ giorni.

Si determinano a questo punto alcuni valori caratteristici, corrispondenti alle durate di 10, 91, 182, 274 e 355 giorni. In questo modo è possibile effettuare un confronto anche con i corrispondenti valori presenti sulla Pubblicazione 17 [17]. I valori così ricavati sono riportati nella Tabella 3.3. I risultati ottenuti dalle due fonti, ossia l'analisi sui dati disponibili ed i valori complessivi disponibili sulla



(a)



(b)

Figura 3.12: Curva di durata delle portate, rappresentata in scala normale (a) e con l'asse delle ordinate in scala logaritmica (b).

Pubblicazione 17, sono molto prossimi tra loro, imputando le differenze solo al fatto che risulta diverso l'intervallo temporale di riferimento. I dati analizzati, infatti, arrivano fino al 2006, mentre quanto riportato nella Pubblicazione 17 è riferito al periodo 1933-1964.

Il passaggio tra frequenza di superamento e numero di giorni rappresentati nei vari diagrammi, a cui è associata la corrispondente portata, è ottenuto semplicemente utilizzando la relazione

$$F(i) = \frac{i}{365 + 1} \quad (3.2)$$

Tabella 3.3: Valori caratteristiche della curva delle portate valutata per il bacino del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia. Confronto eseguito con i dati riportati nella Pubblicazione 17.

Durate caratteristiche		Deflussi medi giornalieri	
Giorni	Frequenza	Stimati m ³ /s	Pubb. 17 m ³ /s
10	0.027	216.4	227,0
91	0.249	80.5	75.9
182	0.499	47.0	46.8
274	0.751	31.4	32.7
355	0.973	17.7	20.6

La stessa procedura è stata applicata utilizzando come scala temporale il mese, procedendo ad una suddivisione delle serie temporali in base al mese di riferimento, ottenendo in questo modo 12 distinte serie di valori associate ciascuna ad uno dei 12 mesi dell'anno. I valori di ogni serie sono stati ordinati in senso decrescente, valutando, come riportato precedentemente, la corrispondente curva di durata. In questo caso il numero di giorni di superamento varia tra 1 ed il numero massimo di giorni del mese, rimanendo comunque valida l'ipotesi che la frequenza di superamento vari tra 0 ed 1. Per il mese di febbraio si è deciso di assumere 29 come numero di giorni del mese. Nelle Figure 3.13-3.24 sono rappresentati i risultati ottenuti.

3.4 Analisi statistica

I risultati esposti consentono di valutare la curva di durata a scala annuale e mensile per il bacino in esame. In questo modo è possibile associare ad ogni valore di portata media giornaliera un corrispondente valore di frequenza o di numero di giorni di superamento. Il passo successivo prevede la valutazione della frequenza e del periodo di ritorno con cui i valori massimi di portata media giornaliera possono presentarsi.

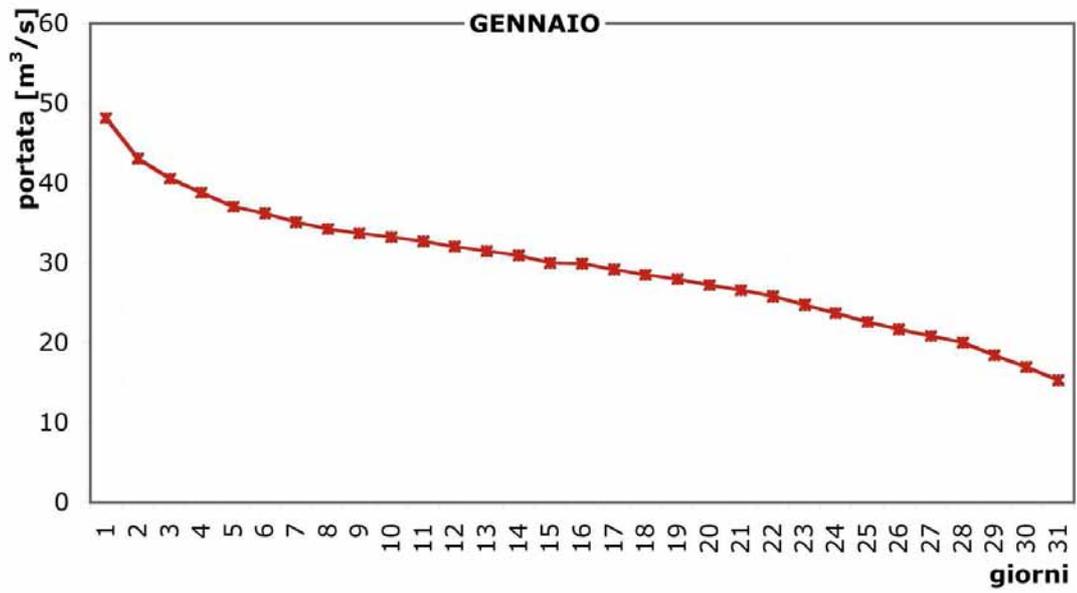


Figura 3.13: Curva di durata delle portate a scala mensile.

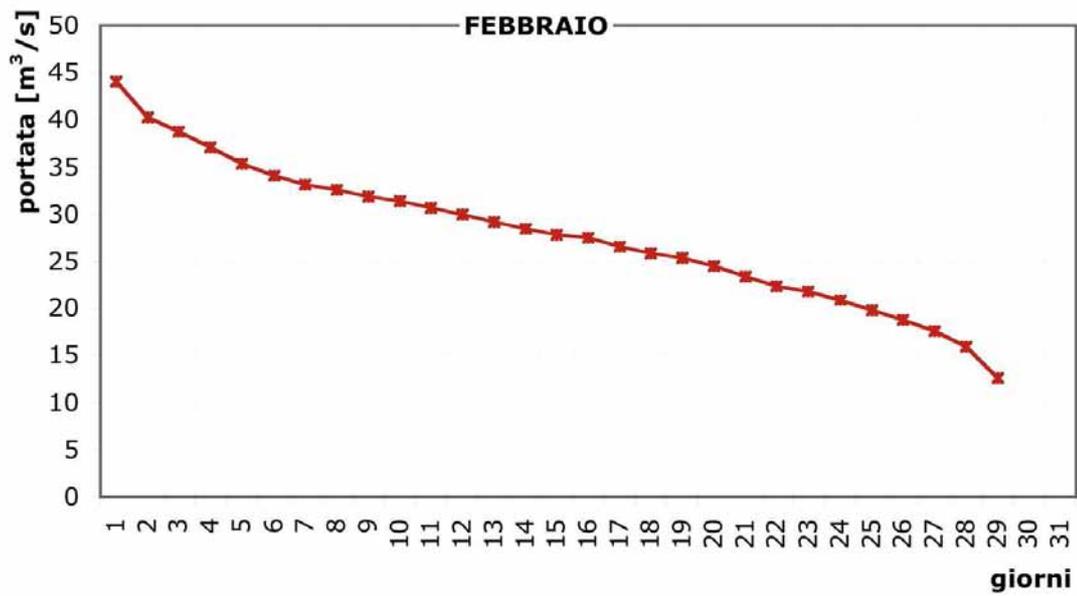


Figura 3.14: Curva di durata delle portate a scala mensile.

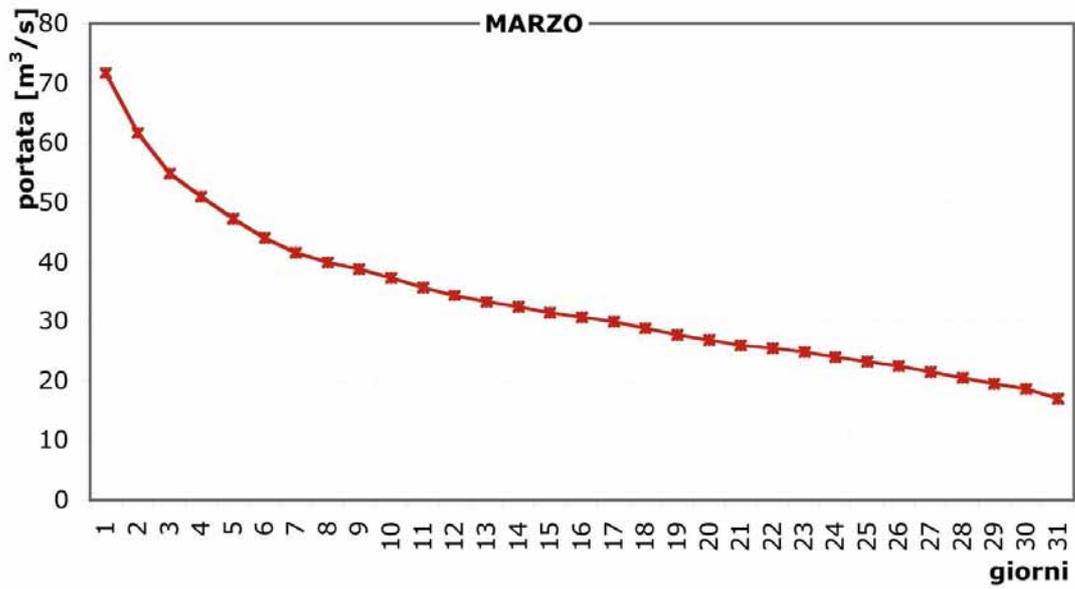


Figura 3.15: Curva di durata delle portate a scala mensile.

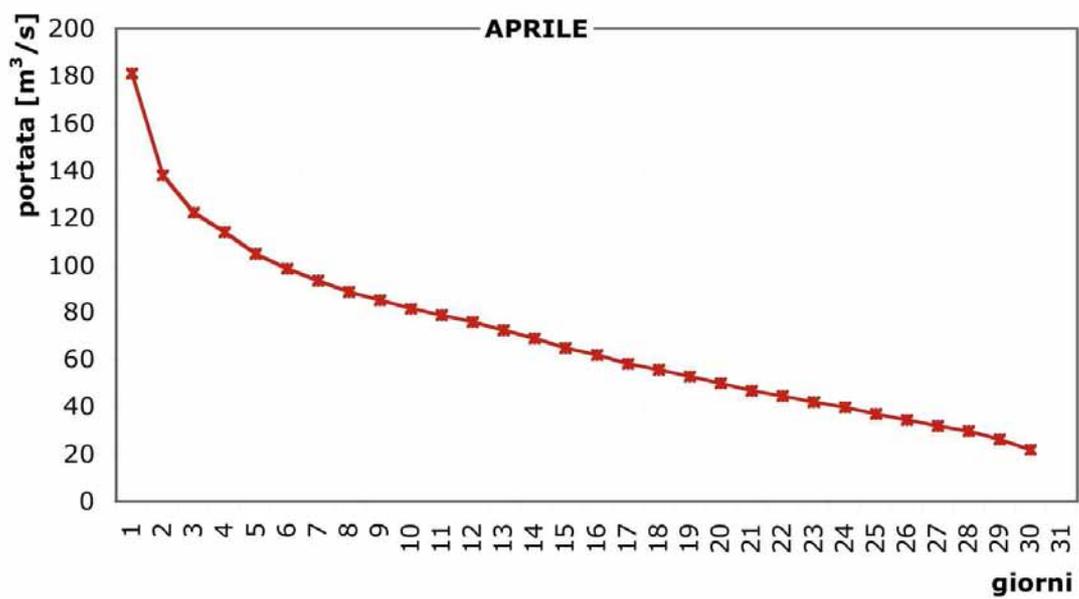


Figura 3.16: Curva di durata delle portate a scala mensile.

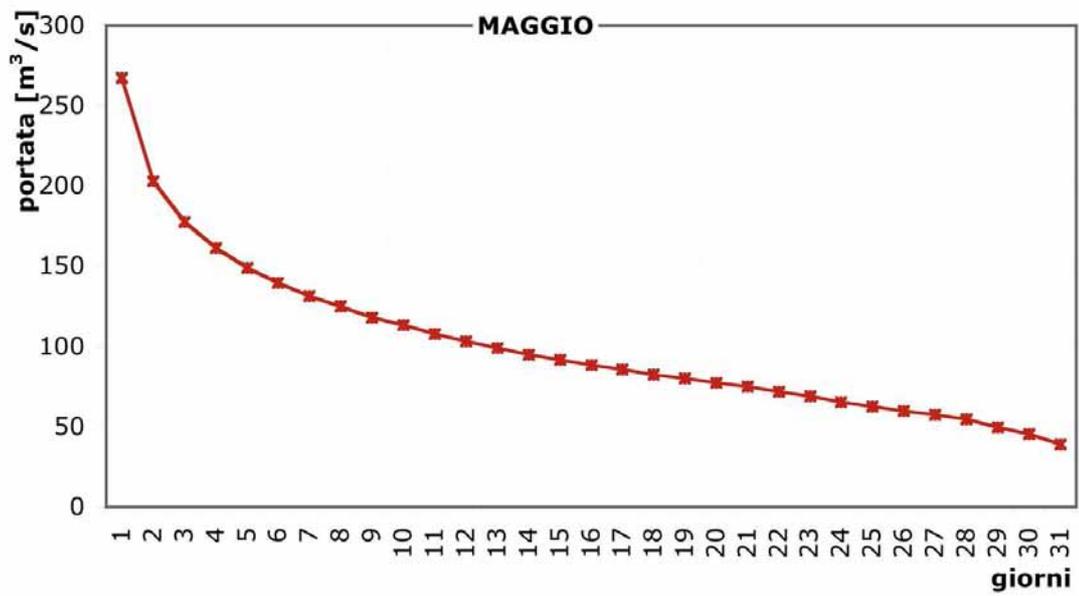


Figura 3.17: Curva di durata delle portate a scala mensile.

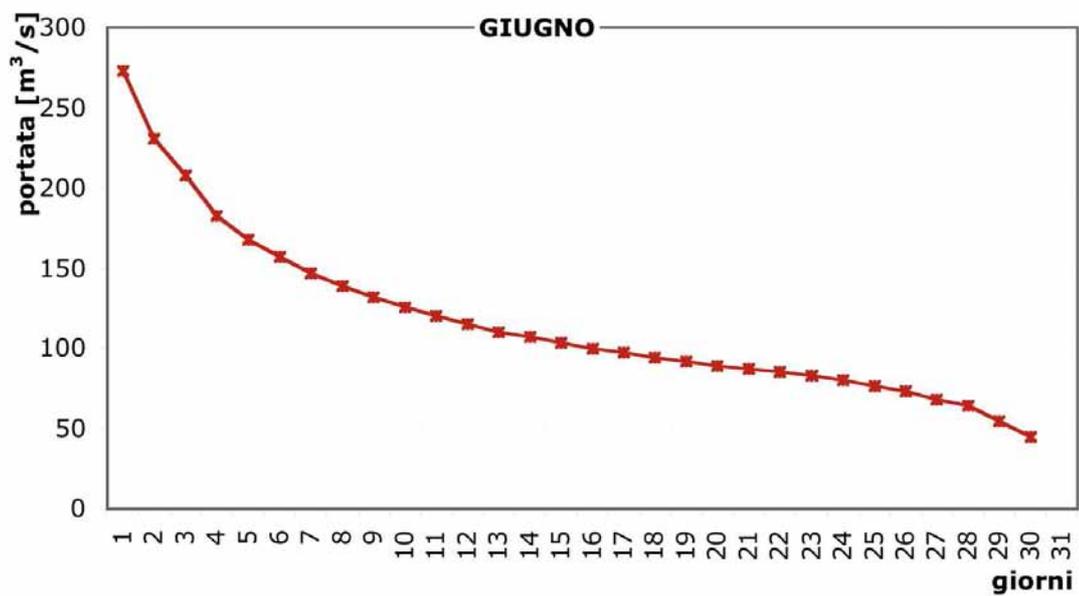


Figura 3.18: Curva di durata delle portate a scala mensile.

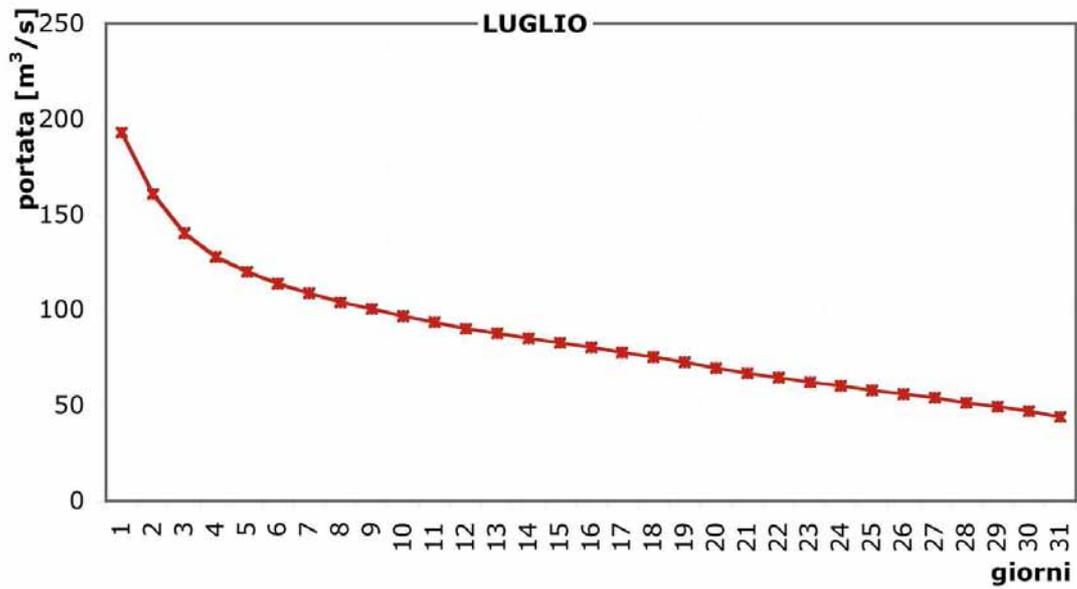


Figura 3.19: Curva di durata delle portate a scala mensile.

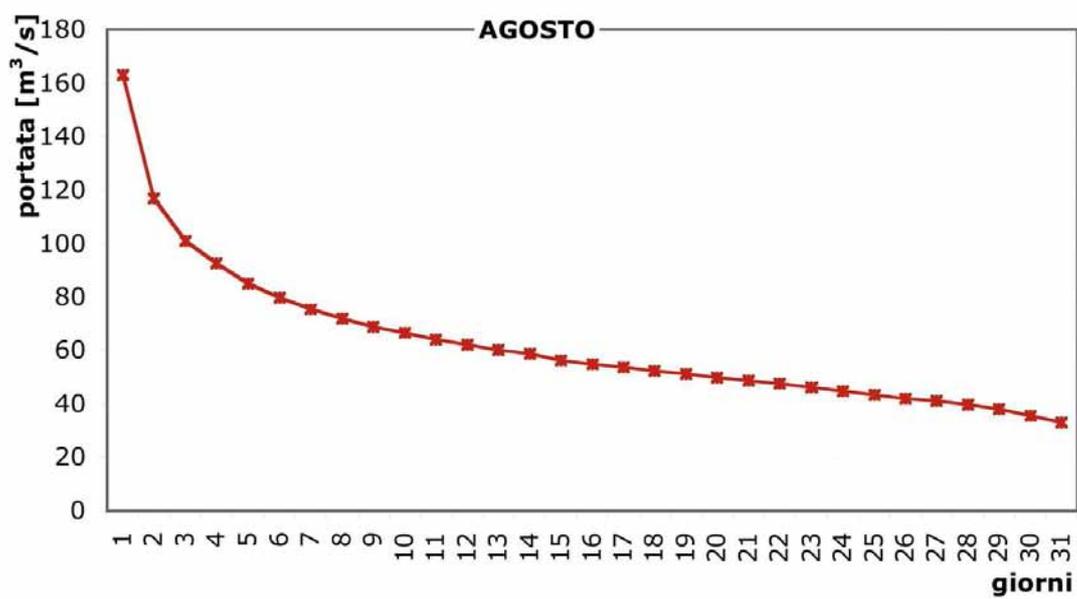


Figura 3.20: Curva di durata delle portate a scala mensile.

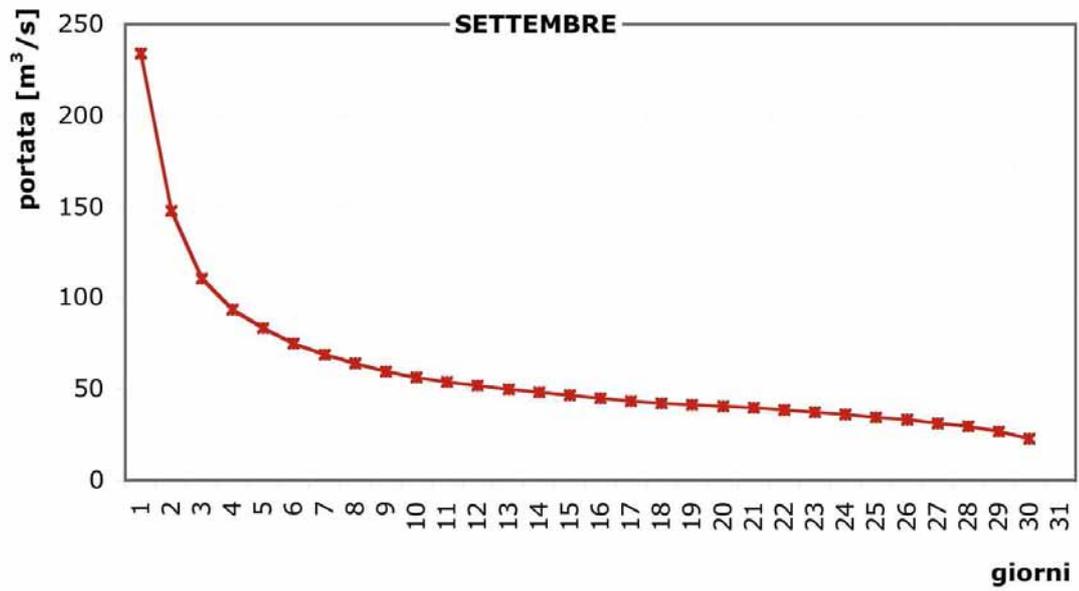


Figura 3.21: Curva di durata delle portate a scala mensile.

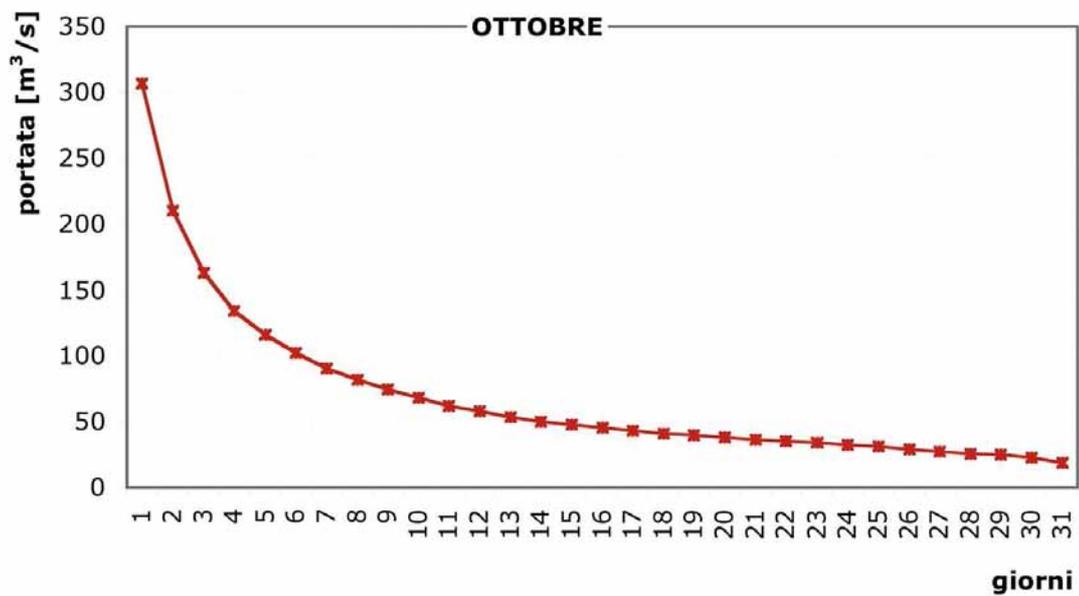


Figura 3.22: Curva di durata delle portate a scala mensile.

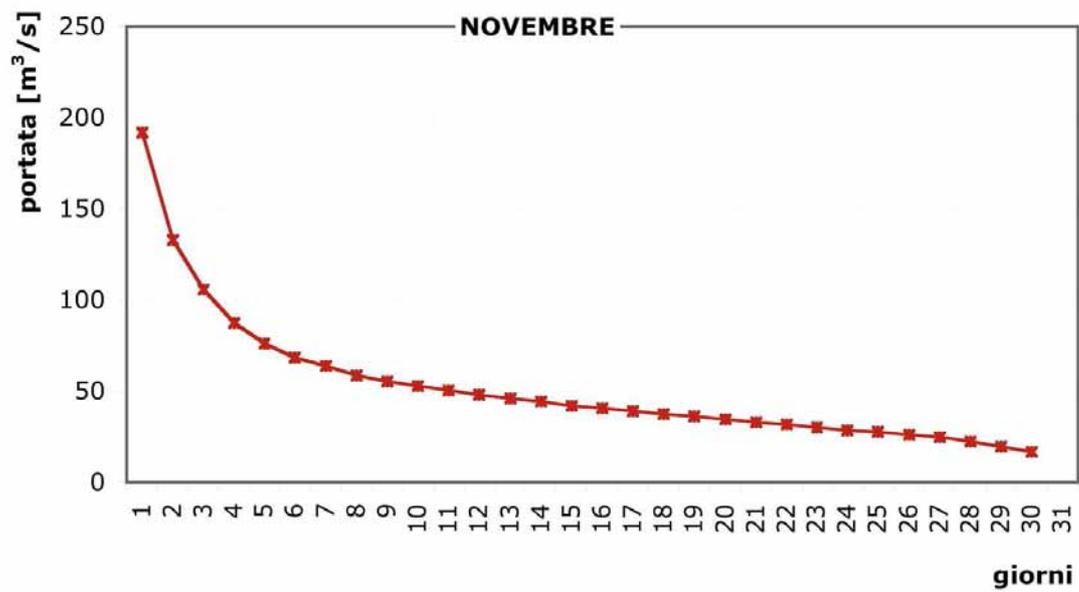


Figura 3.23: Curva di durata delle portate a scala mensile.

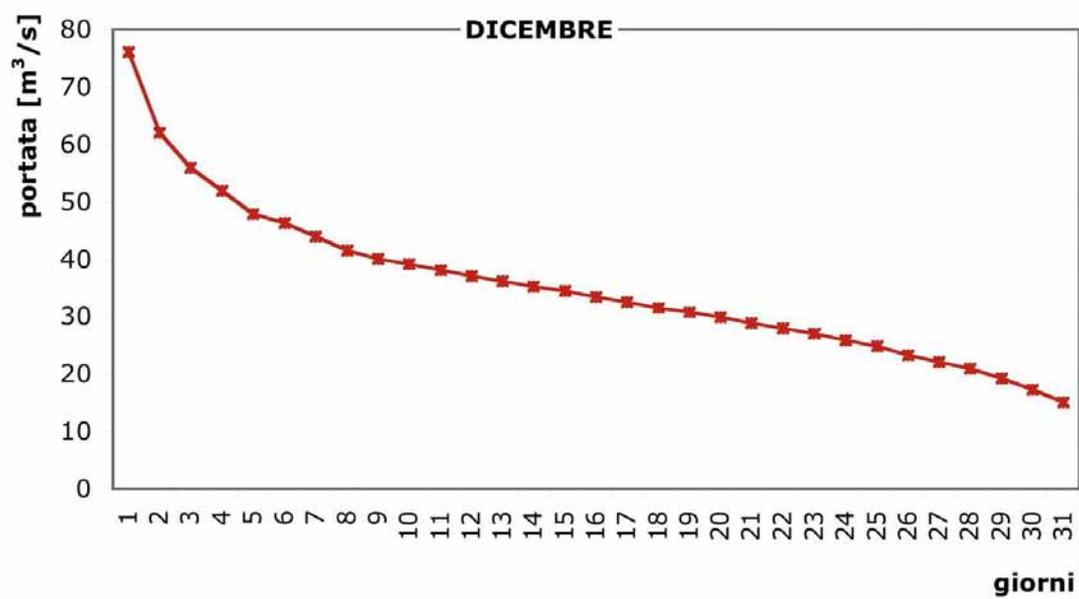


Figura 3.24: Curva di durata delle portate a scala mensile.

Da ogni serie annuale di dati è stato estratto il valore massimo per ogni mese di riferimento. Avendo a disposizione 56 anni di dati, si sono ottenuti in questo modo 12 serie, una per ogni mese, con una numerosità di 56 valori ciascuna. Questi sono trattati in base ai criteri classici della statistica [12][13][8], secondo la seguente procedura:

- ordinamento della serie in ordine crescente;
- attribuzione ad ogni valore della posizione i -esima nel campione ordinato;
- valutazione della frequenza cumulata;
- valutazione del periodo di ritorno associato alla frequenza cumulata;
- calcolo della distribuzione di probabilità del campione utilizzando la distribuzione esponenziale, la distribuzione di Gumbel e la distribuzione di Weibull, i cui parametri sono calcolati con il metodo dei momenti e degli L-moments;
- applicazione dei test statistici per stimare la distribuzione migliore.

I risultati dell'analisi statistica sono esposti graficamente associando ad ogni valore di portata la frequenza e la probabilità, oltre alla rappresentazione del legame tra la portata ed uno specifico periodo di ritorno.

Avendo applicato le procedure tipiche della analisi statistica classica delle serie idrologiche ed allo scopo di non appesantire la relazione, i fondamenti teorici di tale analisi sono riportati in Appendice A alla quale si rimanda per un approfondimento dei singoli concetti e passaggi.

3.5 Distribuzione dei massimi di portata giornaliera

3.5.1 Portate medie mensili e valori sopra soglia

Dall'analisi delle serie storiche a disposizione, relative alle portate medie giornaliere registrate alla stazione di Candoglia, è stato possibile prima di tutto valutare gli apporti medi mensili per il periodo di riferimento. Anche in questo caso (Figura 3.25) si nota la stagionalità, con i valori maggiori in primavera, in particolar modo in maggio-giugno e nel periodo autunnale, con un picco in ottobre. Nel periodo invernale, da dicembre a marzo, le portate in alveo sono molto ridotte non superando, come portata media mensile, i $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Passando ora all'analisi dei valori massimi delle portate medie giornaliere, dai dati a disposizione è stato possibile anche valutare il numero di giorni in cui venivano superati certi valori limite di portata. Sono state considerate in tutto

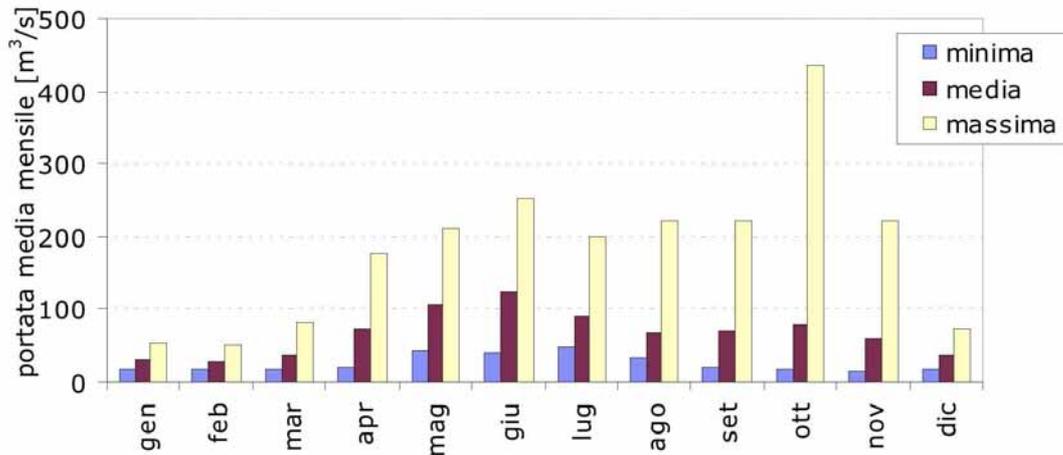


Figura 3.25: Portate medie mensili nel periodo 1935-2006. Sono stati indicati i valori minimi, medi e massimi delle portate medie mensili.

4 soglie indicative contando, per ogni mese dell'anno, il numero di giornate in cui si superavano i $500 \text{ m}^3/\text{s}$, i $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, i $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ed i $2000 \text{ m}^3/\text{s}$. Anche in questo caso (Figura 3.26) traspare la stagionalità per cui il numero di eventi con valori di portata elevati sono stati registrati in tarda primavera e nel periodo autunnale. Si riscontra nuovamente che il mese di ottobre risulta essere quello più critico, con eventi di piena superiori a $2000 \text{ m}^3/\text{s}$. Questi ultimi, inoltre, sono stati registrati recentemente, essendo riferiti all'evento di piena dell'ottobre 2000.

3.5.2 Valori massimi delle portate medie giornaliere

Come emerso, i valori massimi delle portate medie giornaliere al variare del periodo di ritorno sono stati ottenuti utilizzando una distribuzione GEV con parametri valutati con il metodo degli L-momenti.

Nella Tabella 3.4 sono indicati i valori stimati al variare del periodo di ritorno, con periodo di ritorno variabile tra 2 anni e 500 anni. Di questi, in Figura 3.27 sono rappresentati solo 5 periodi di ritorno ritenuti significativi: 10, 50, 100, 200 e 500 anni.

Lo studio mostra che nel periodo maggio-giugno, in cui si verificano i primi eventi di piena consistenti dell'anno, le portate medie giornaliere non superano, per i periodi di ritorno considerati i $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ per un periodo di ritorno di 500 anni, attestandosi a valori inferiori ai $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ per periodi di ritorno inferiori ai 100 anni.

Il secondo periodo caratterizzato da elevati valori di portata è quello autunnale, in cui l'analisi permette di stimare le massime portate medie giornaliere in circa $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ per un periodo di ritorno di 100 anni.

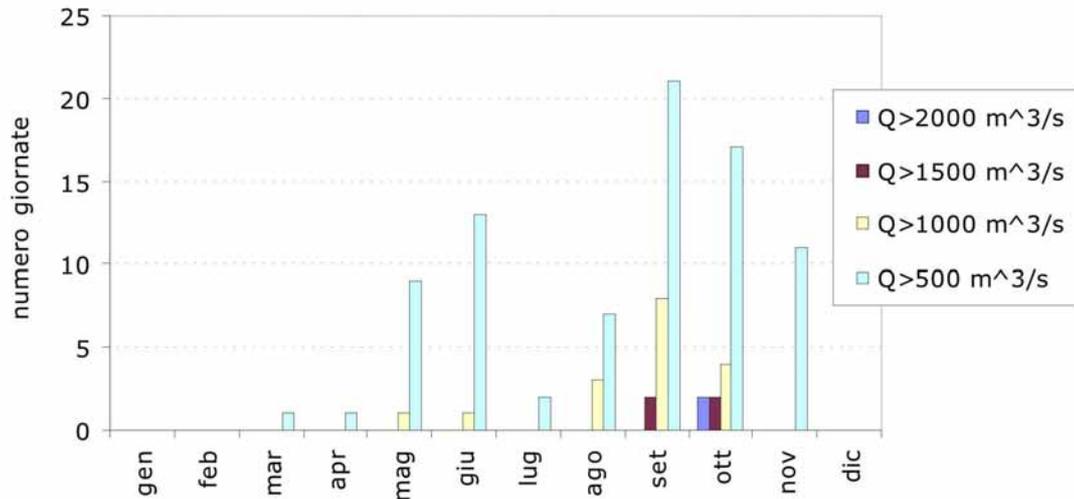


Figura 3.26: Numero di giornate in cui sono stati superati i valori di soglia indicati per le portate medie giornaliere.

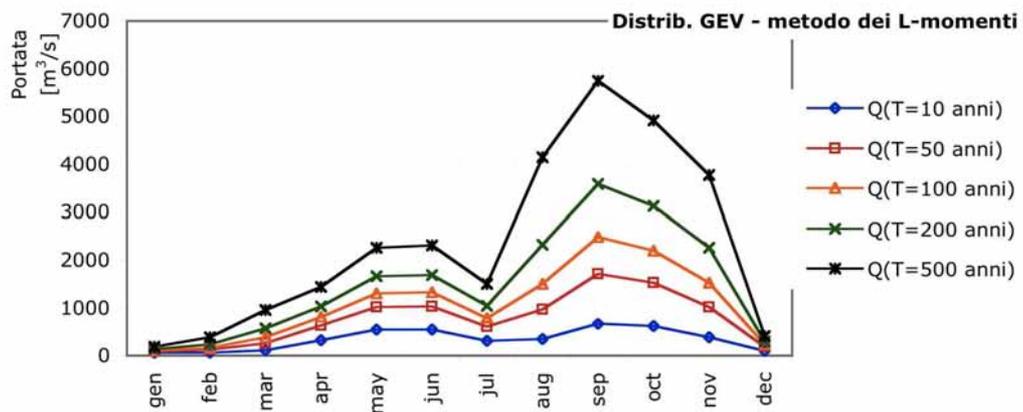


Figura 3.27: Portate medie giornaliere in funzione del periodo di ritorno T.

Tabella 3.4: Portata media giornaliera stimata con la distribuzione GEV, con parametri ottenuti applicando il metodo dei L-momenti, al variare del periodo di ritorno. Valori in m^3/s

T [anni]	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2	35	33	44	129	208	222	132	108	168	164	98	49
5	47	45	73	233	385	396	220	217	412	389	235	77
10	57	59	106	325	540	548	303	346	667	621	384	103
15	65	70	132	388	643	652	362	451	860	793	500	120
20	70	79	154	437	723	732	410	542	1021	935	598	134
30	79	94	193	515	848	858	486	703	1290	1171	764	155
40	86	107	227	576	945	957	547	843	1516	1368	906	171
50	92	119	258	628	1026	1039	600	971	1714	1539	1032	185
100	113	166	382	813	1315	1335	795	1504	2491	2203	1536	235
150	128	203	482	942	1513	1538	936	1941	3086	2705	1931	270
200	139	235	570	1044	1668	1699	1050	2326	3586	3124	2269	297
250	149	264	648	1130	1797	1834	1148	2677	4027	3491	2569	320
300	157	290	721	1205	1910	1951	1234	3002	4426	3820	2843	340
400	172	336	852	1333	2100	2150	1384	3596	5132	4402	3334	374
500	184	378	971	1441	2259	2316	1512	4138	5755	4910	3771	402

3.5.3 Correlazione tra valori al colmo e portata media giornaliera

Per poter valutare al meglio le condizioni per cui avviene il trasporto solido è conveniente analizzare anche il legame esistente tra valori al colmo e portate medie giornaliere.

I valori di portata media giornaliera a disposizione sono quelli prelevati dagli annali e quelli forniti direttamente dalla Regione Piemonte. Per i valori al colmo si hanno invece a disposizione le osservazioni a scala di 30 minuti per gli eventi di piena dal 2000 al 2006. A questi si devono aggiungere anche i dati presenti sulla Pubblicazione 17, la quale però fornisce solo un valore al colmo per ogni anno di osservazione.

Per il periodo 2000-2006 è stato possibile isolare 15 eventi di piena significativi, per i quali sono stati estrapolati i valori al colmo ed i corrispondenti valori di portata media giornaliera, dato fornito dalla regione. Il rapporto tra valori al colmo e valori medi giornalieri (Tabella 3.5) risulta variabile tra 1.2 e 3.2, ottenuti rispettivamente per idrogrammi di breve durata, normalmente inferiore alle 24 ore, con picco nelle ore notturne, e per idrogrammi di lunga durata, la cui fase di piena è superiore al giorno. In Figura 3.28 sono riportati due idrogrammi di esempio. Il primo (Figura 3.28a), riferito ad un evento di piena del 2002, mostra come il picco di oltre $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ è stato raggiunto in circa 12 ore, potendo ritenere concluso l'evento di piena in meno di 24 ore dall'inizio. In questo caso il rapporto tra valore al colmo e portata media giornaliera si è attestato intorno a 2.1. Il

secondo esempio, riferito all'anno 2000, (Figura 3.28b) mostra un evento di piena simile come valore al colmo, ma con un andamento temporale diverso, in quanto il colmo è stato raggiunto in questo caso dopo circa 24 ore dall'inizio, con una durata complessiva dell'evento di piena superiore alle 48 ore. Il rapporto tra valore al colmo e portata media giornaliera in questo caso è stato valutato pari a 1.2.

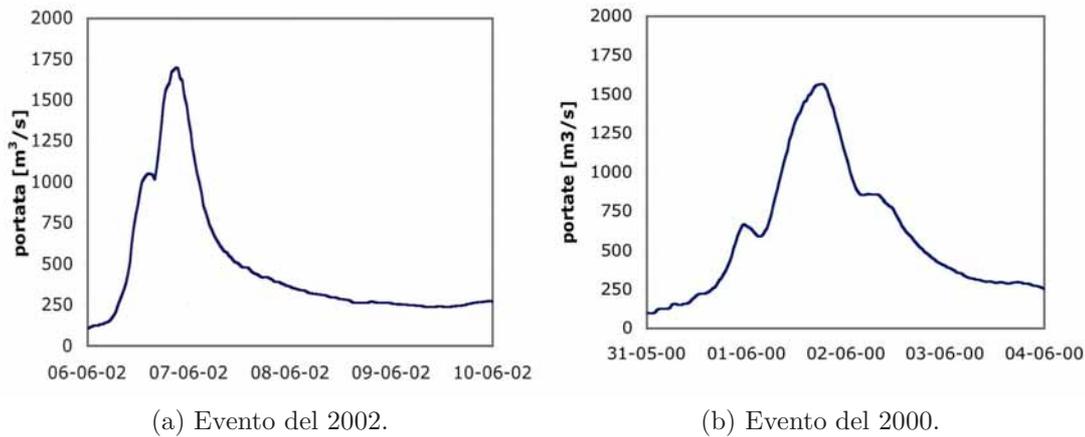


Figura 3.28: Confronto tra eventi di piena con valore al colmo simile, ma diversa durata.

Confrontando invece le stesse informazioni presenti sulla Pubblicazione 17 (Tabella 3.6) si osserva che nel periodo compreso tra il 1933 ed il 1961 il rapporto varia tra 1 e 2.1, con l'unica eccezione per l'anno 1958 in cui si è registrato un rapporto tra i due valori pari a 4.8.

Indicativamente, quindi, si può affermare che i valori al colmo risultano essere circa 1.6 – 2 volte superiori ai corrispondenti valori di portata media giornaliera utilizzati nelle analisi precedenti. In Figura 3.29 sono stati rappresentati graficamente i rapporti tra la portata giornaliera e la portata al colmo per diversi eventi di piena, evidenziando i due periodi temporali presi a riferimento.

3.6 Analisi dei dati di precipitazione e di portata in concomitanza dei periodi di campionamento

Nella presente sezione verranno presentati i dati di precipitazione e di portata registrati durante i periodi di campionamento dei materiali solidi trasportati in corrispondenza della sezione di Candoglia. In particolare tali dati verranno analizzati nei due seguenti capitoli nei quali verranno affrontati nello specifico

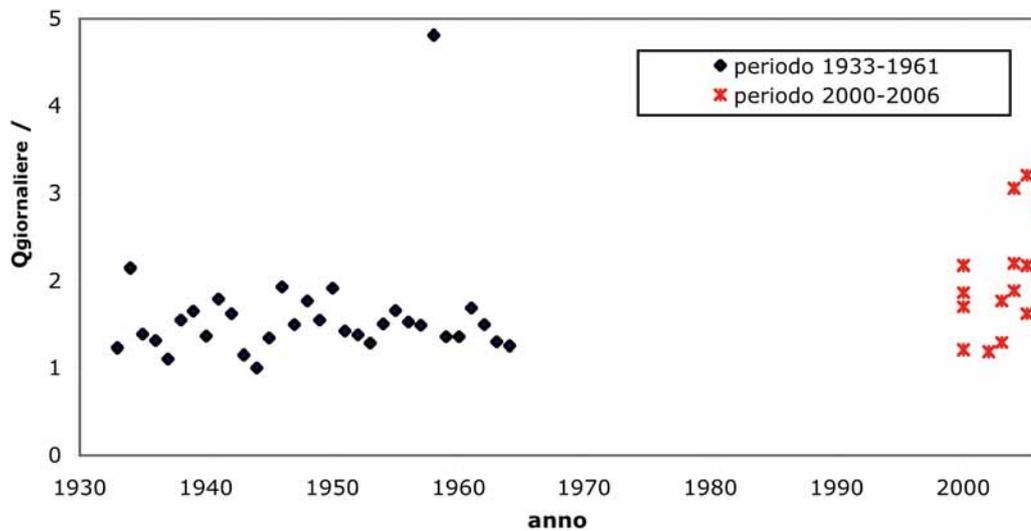


Figura 3.29: Rapporto tra la portata giornaliera e la portata al colmo per diversi eventi di piena. E' stata mantenuta la suddivisione tra i due periodi temporali analizzati.

Tabella 3.5: Confronto tra valori al colmo e portata media giornaliera per il periodo 2000-2006. Q_c portata al colmo, q_g portata media giornaliera.

Data	Q_c m^3/s	q_g m^3/s	Q_c/q_g —
25-04-2000	248	133	1.9
30-04-2000	717	421	1.7
21-09-2000	1202	552	2.2
1-10-2000	1563	1298	1.2
4-05-2002	673	567	1.2
10-05-2002	488	378	1.3
24-05-2002	460	150	3.1
28-05-2002	283	175	1.6
6-06-2002	1700	801	2.1
4-12-2003	224	127	1.8
27-10-2004	563	298	1.9
3-11-2004	1287	585	2.2
10-09-2005	307	96	3.2
13-09-2005	218	100	2.2
16-09-2006	702.9	251.9	2.8

Tabella 3.6: Confronto tra valori al colmo e portata media giornaliera massima annuale per il periodo 1933-1961. Q_c portata al colmo, q_g portata media giornaliera massima annuale.

Anno	Q_c m ³ /s	q_g m ³ /s	Q_c/q_g —
1933	941	765	1.2
1934	1040	485	2.1
1935	1080	780	1.4
1936	634	484	1.3
1937	1320	1200	1.1
1938	1260	817	1.5
1939	1900	1150	1.7
1940	1090	802	1.4
1941	608	339	1.8
1942	1830	1132	1.6
1943	273	238	1.1
1944	493	493	1.0
1945	1080	806	1.3
1946	872	451	1.9
1947	1730	1160	1.5
1948	1930	1090	1.8
1949	615	397	1.5
1950	597	312	1.9
1951	1410	994	1.4
1952	312	227	1.4
1953	1040	815	1.3
1954	2100	1400	1.5
1955	639	386	1.7
1956	1310	860	1.5
1957	843	567	1.5
1958	954	198	4.8
1959	324	239	1.4
1960	1620	1200	1.4
1961	746	443	1.7
1962	827	553	1.5
1963	900	695	1.3
1964	582	465	1.3

le problematiche relative al trasporto solido ed alla dinamica del DDT lungo il reticolo idrografico.

In particolare, durante il periodo oggetto della convenzione sono stati eseguiti campionamenti sia durante eventi di piena, sia in condizioni di deflusso normale. I primi sono stati eseguiti nelle giornate di

- 30 maggio 2008 (evento P1)
- 5 novembre 2009 (evento P2)
- 28 aprile 2009 (evento P3)

mentre i secondi sono stati eseguiti per periodi di tempo più prolungati

- 10-20 gennaio 2009 (evento C1)
- 19-31 agosto 2009 (evento C2)
- 9-20 ottobre 2009 (evento C3)
- 20-30 ottobre 2009 (evento C4)
- 6-16 novembre 2009 (evento C5)
- 25 novembre - 10 dicembre 2009 (evento C6)
- 10-18 dicembre 2009 (evento C7)

Nel presente studio, a partire dai dati puntuali di precipitazione registrati durante gli eventi di piena selezionati, si è effettuata una aggregazione temporale dei dati ed in seguito una loro distribuzione spaziale a copertura del bacino del Toce. Procedendo in questo modo è stato possibile individuare le aree maggiormente interessate dalle precipitazioni. Le sezioni di misura in cui si sono registrati gli eventi indicati sono:

- Torrente Devero, sezione di Baceno;
- Torrente Isorno, sezione di Pontetto;
- Torrente Bogna, sezione di Ponte Caddo;
- Fiume Toce, sezione di Domodossola;
- Fiume Toce, sezione di Candoglia.

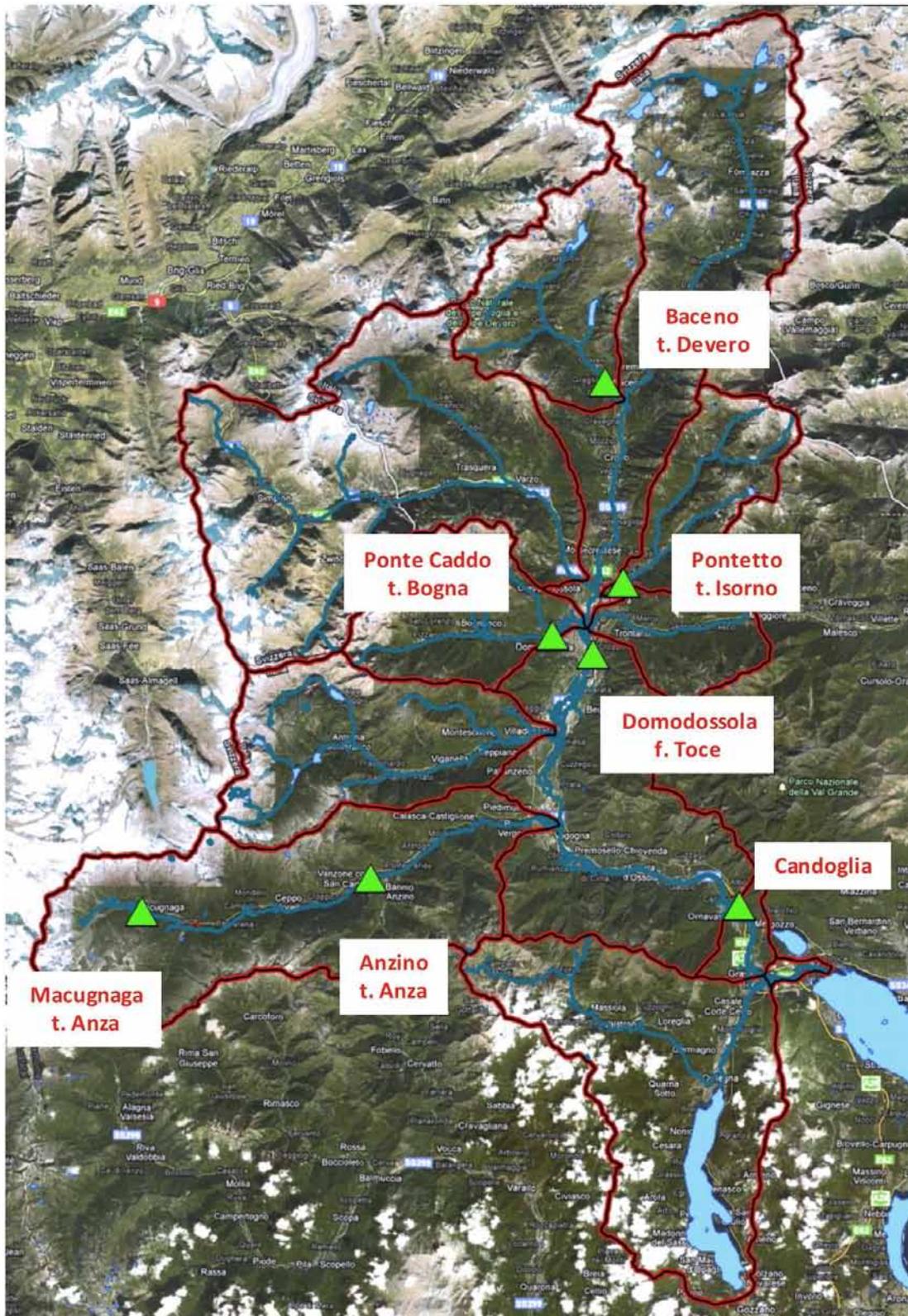


Figura 3.30: Individuazione dei siti di misura delle portate e delle analisi di granulometria ed inquinanti all'interno del bacino del fiume Toce (immagine di sfondo tratta da Google Maps).

Nella successiva Figura 3.30 è indicata l'ubicazione delle sezioni di misura indicate. Il sito di Pieve Vergonte e la sezione di effettuazione delle analisi chimiche di Vogogna sono ubicati tra le sezioni di Domodossola e di Candoglia.

I dati relativi alle precipitazioni sono stati invece rilevati in 21 stazioni di misura ricadenti all'interno del bacino del Toce. I dati, rilevati ad un passo di 10 minuti, si sovrappongono temporalmente agli eventi in esame. In Figura 3.31 sono indicate le stazioni di misura delle precipitazioni utilizzate nell'analisi.

I dati relativi alle precipitazioni sono stati aggregati a scala giornaliera e distribuiti spazialmente sul bacino del Toce secondo il metodo dell'inverse distance. Il bacino del Toce è stato suddiviso in maglie quadrate di 1 chilometro di lato e per ognuna di queste è stato valutato il peso delle stazioni più prossime. Noto il peso che ogni stazione ha su una singola cella si è proceduto con il valutare la precipitazione moltiplicando il peso della stazione per il valore della precipitazione e sommando tra loro i valori ottenuti per ogni stazione.

3.6.1 P1: evento di piena del 29-31 maggio 2008

L'evento di piena del 30 maggio 2008 ha avuto inizio il giorno 29 maggio e termine il giorno 31. Sono disponibili gli idrogrammi registrati in 3 stazioni di misura, individuate in Baceno (t. Devero), Pontetto (t. Isorno) e Domodossola (f. Toce). Alla stazione di misura di Domodossola sono stati registrati valori di portata superiori a $400 \text{ m}^3/\text{s}$, con un valore al colmo di circa $450 \text{ m}^3/\text{s}$. In questa stazione di misura i valori di portata nei periodi precedenti e successivi all'evento di piena risultano prossimi a circa $80 \text{ m}^3/\text{s}$. Gli idrogrammi registrati alle stazioni di misura indicate sono riportati dalla Figura 3.32 alla Figura 3.34.

Nella Figura 3.35 sono riportate le mappe della distribuzione spaziale della precipitazione giornaliera registrata nei 4 giorni ritenuti di interesse per l'evento di piena, individuati nel periodo 28-31 maggio 2008. Il giorno 28 la precipitazione ha interessato maggiormente l'alto corso del Toce, con una maggiore concentrazione dell'evento nel bacino del Diveria e del Devero, dove la cumulata di precipitazione giornaliera ha superato anche i 40 mm. Il giorno 29 l'evento ha raggiunto il suo massimo, con valori di precipitazione molto elevati, caratterizzati da una precipitazione cumulata superiore a 50 mm in quasi tutto il bacino del Toce. Nel bacino dell'Anza e del Diveria sono stati superati anche i 100 mm, con un picco superiore a 170 mm nell'alto bacino del torrente Anza. L'area in prossimità del sito inquinato di Pieve Vergonte è caratterizzato da precipitazioni con valore compreso tra 50 e 70 mm di cumulato giornaliero. I giorni 30 e 31 presentano valori di precipitazione cumulata ridotta, inferiore generalmente a 25 mm per il giorno 30 e a 8 mm il giorno 31.

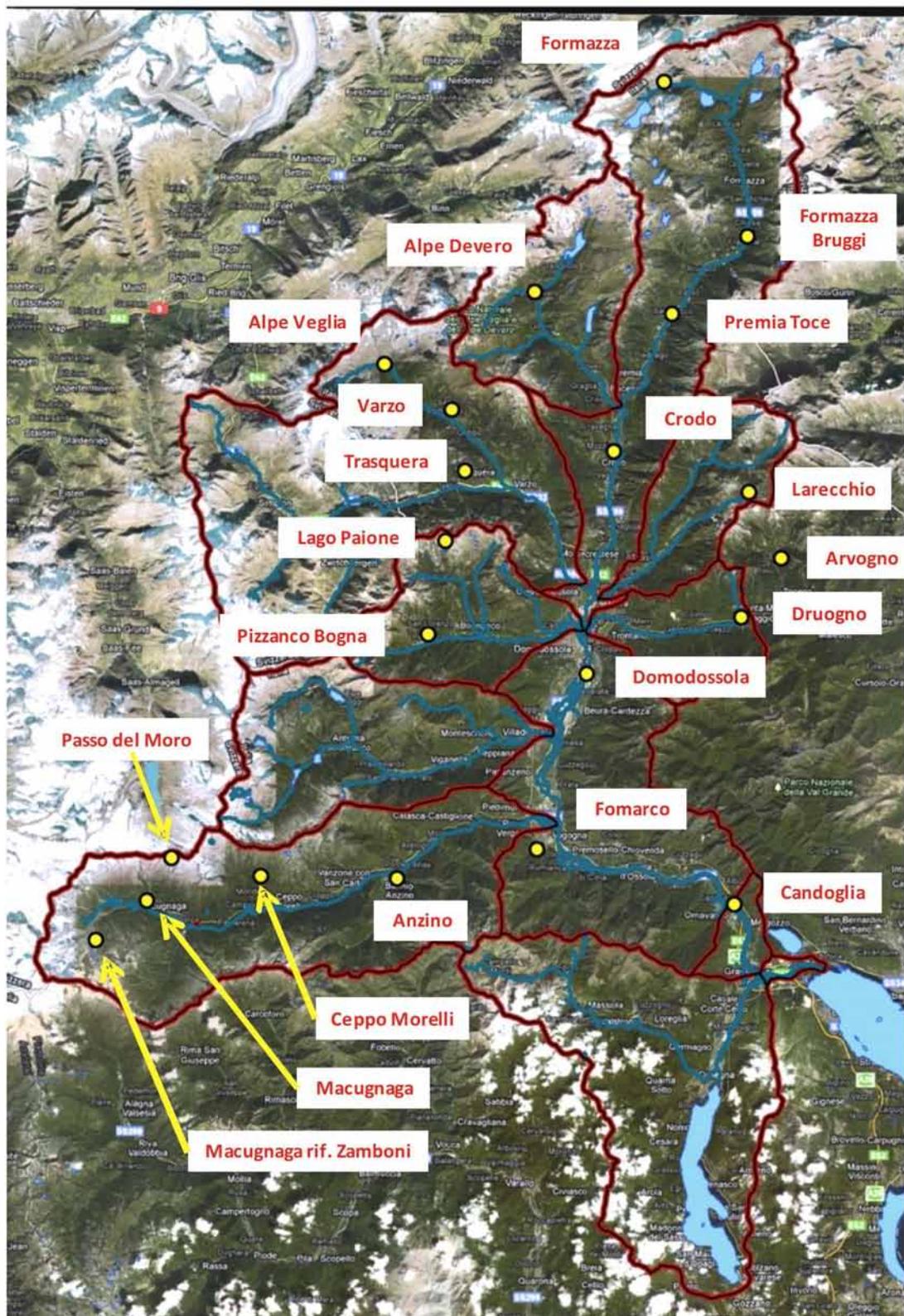


Figura 3.31: Stazioni di misura delle precipitazioni utilizzate nell'analisi.

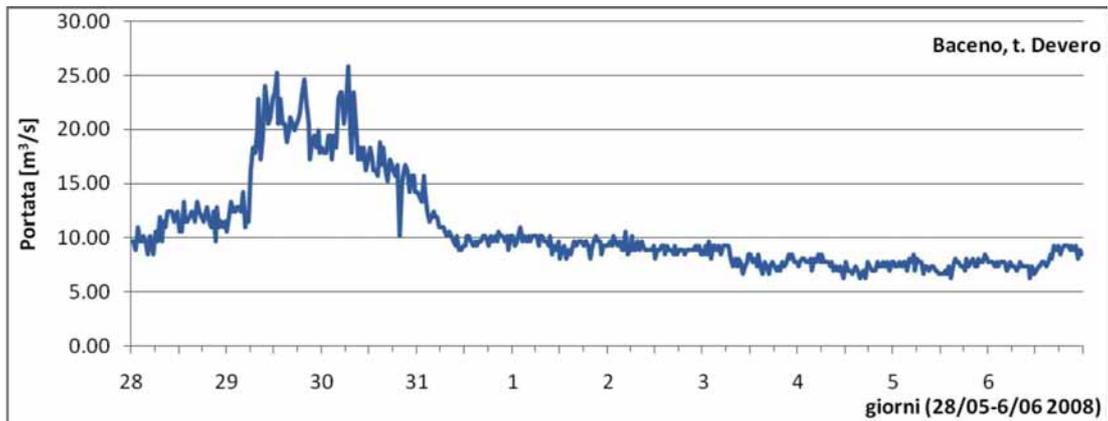


Figura 3.32: Idrogramma relativo al periodo 28/05/2008 – 06/06/2008 per la sezione di Baceno, torrente Devero.

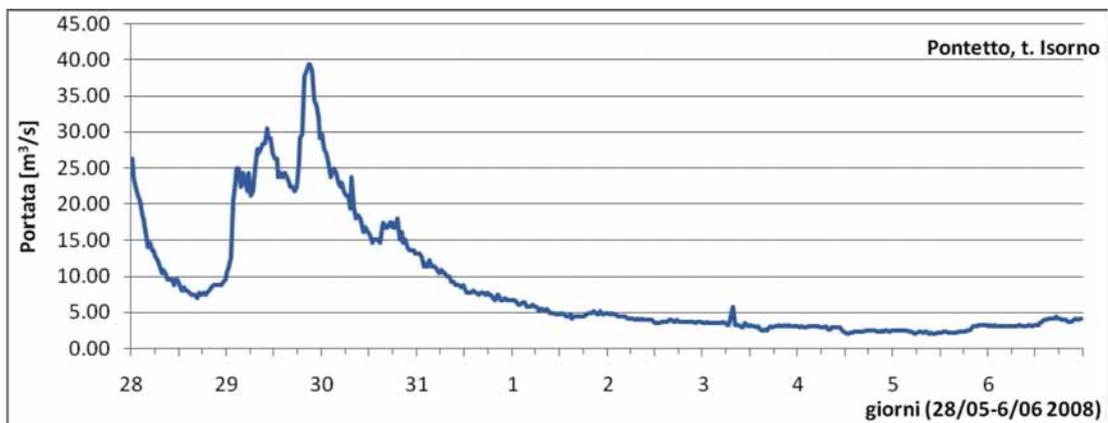


Figura 3.33: Idrogramma relativo al periodo 28/05/2008 – 06/06/2008 per la sezione di Pontetto, t. Isorno.

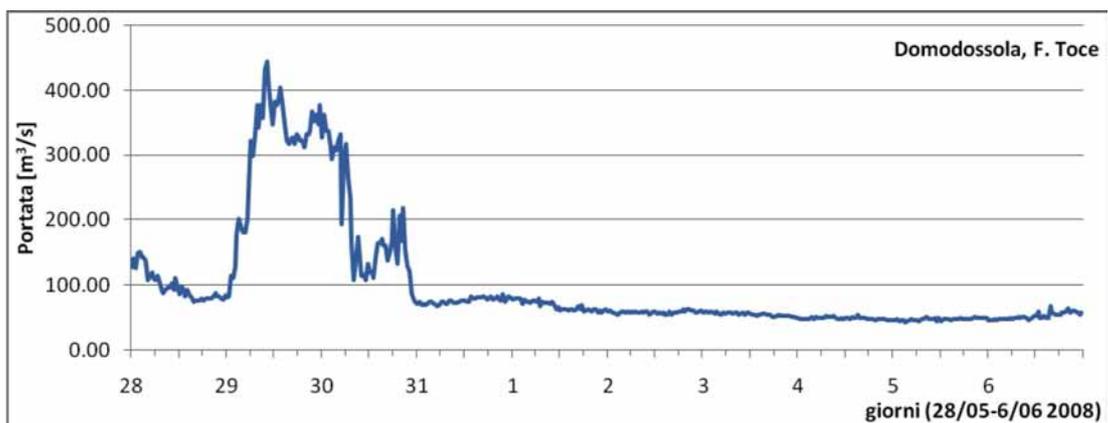
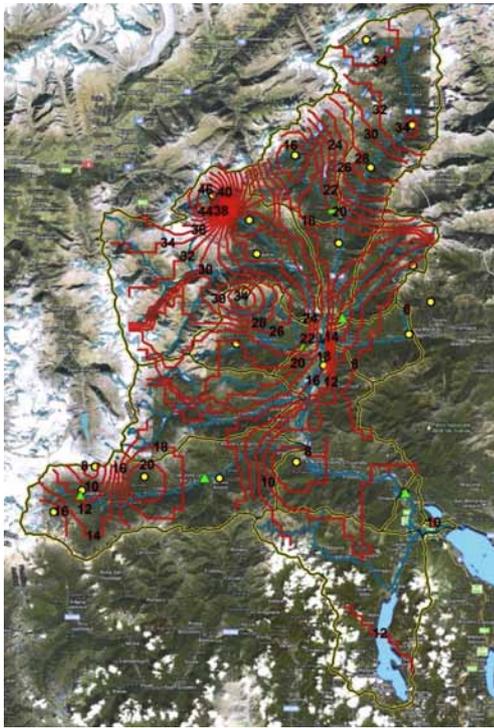
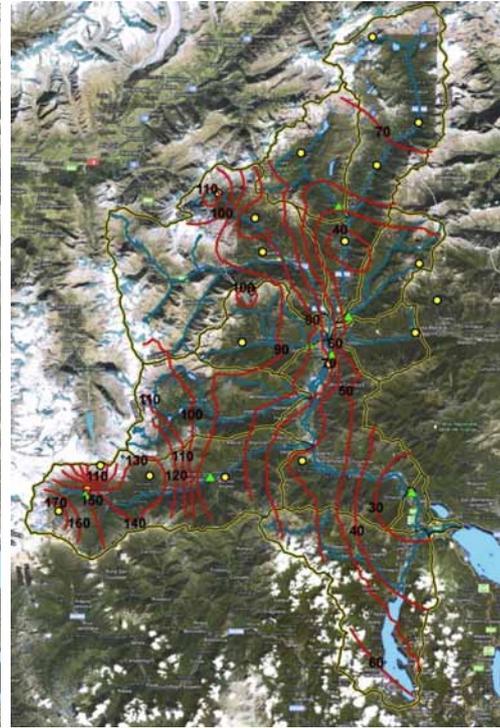


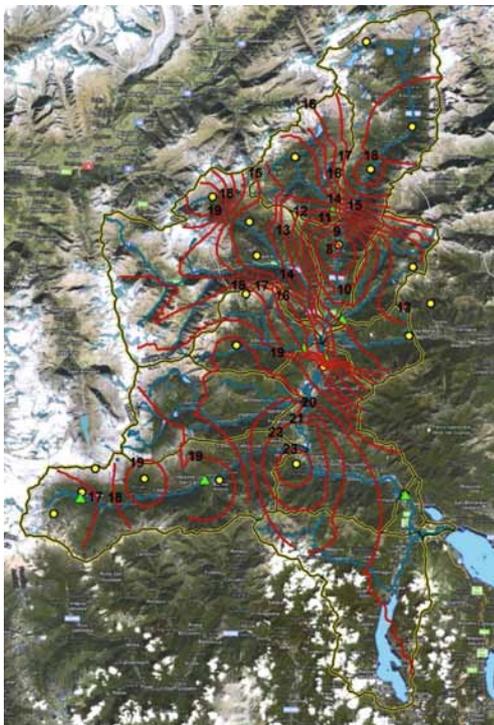
Figura 3.34: Idrogramma relativo al periodo 28/05/2008 – 06/06/2008 per la sezione di Domodossola, f. Toce.



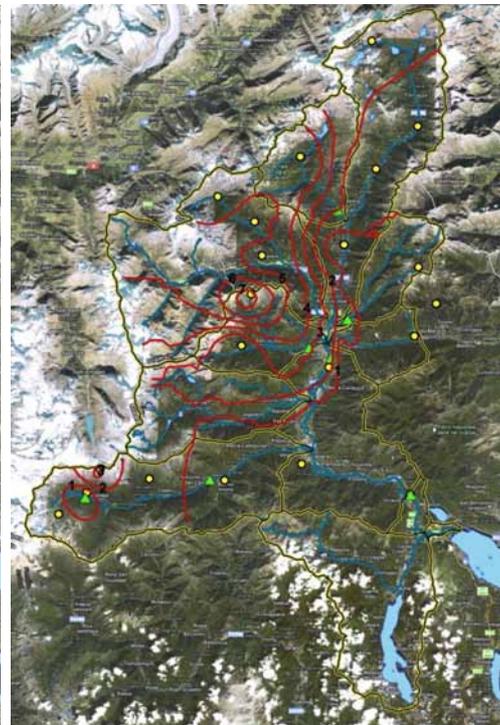
(a) 28 maggio 2008.



(b) 29 maggio 2008.



(c) 30 maggio 2008.



(d) 31 maggio 2008.

Figura 3.35: Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 28 – 31 maggio 2008.

3.6.2 P2: evento di piena del 3-7 novembre 2008

L'evento esaminato ha riguardato il periodo compreso tra il 3 ed il 7 novembre 2008, in cui si sono verificati 2 eventi di piena. Il primo si è verificato il giorno 3 novembre ed ha avuto una durata di circa 24 ore, con un picco di piena alla sezione di Candoglia inferiore a $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Il secondo evento ha inizio nel pomeriggio del giorno 4 e inizio della fase di esaurimento dell'idrogramma nel giorno 7. Il colmo di piena si raggiunge il giorno 5 e presenta un valore superiore a $900 \text{ m}^3/\text{s}$. Gli idrogrammi registrati in alcune sezioni di chiusura sono riportati dalla Figura 3.36 alla Figura 3.39.

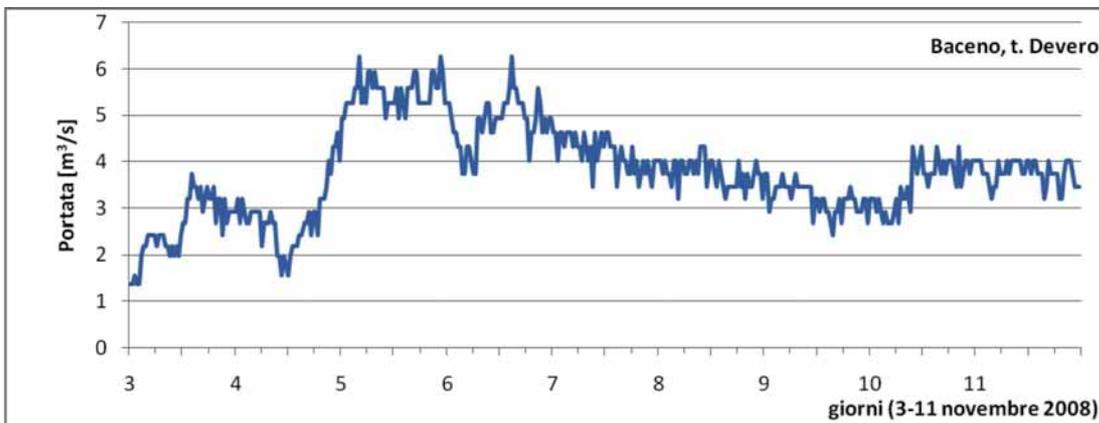


Figura 3.36: Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Baceno, t. Devero.

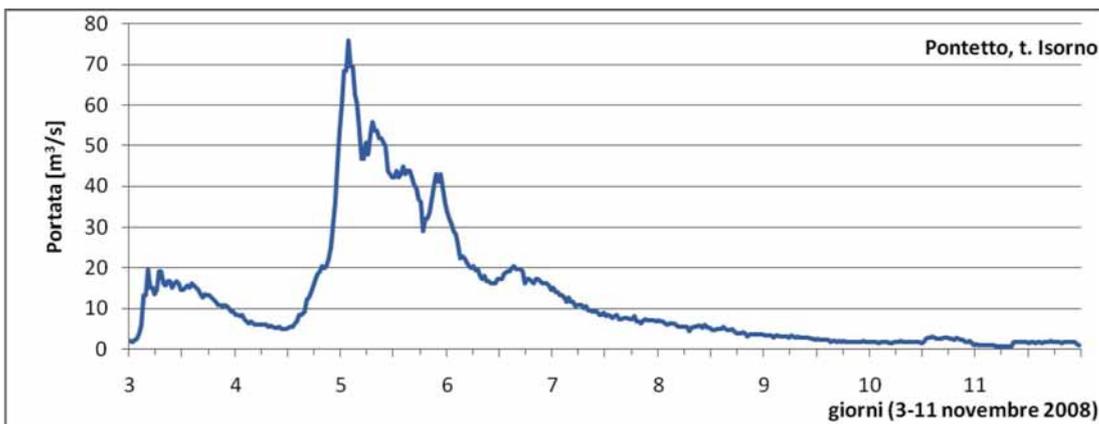


Figura 3.37: Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Pontetto, t. Isorno.

I risultati relativi alla distribuzione spaziale delle precipitazioni cumulate giornaliere nei giorni di interesse è riportata nelle Figure 3.40 e 3.41a .

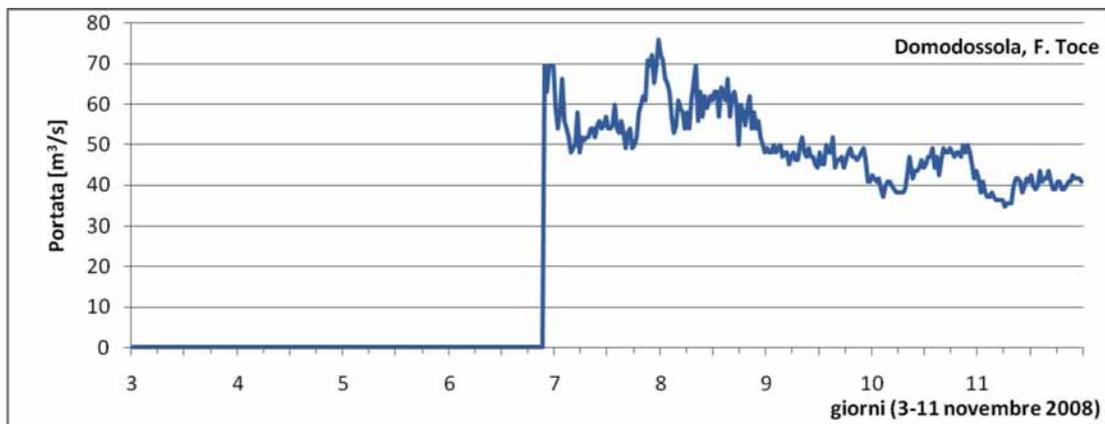


Figura 3.38: Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Domodossola, f. Toce.

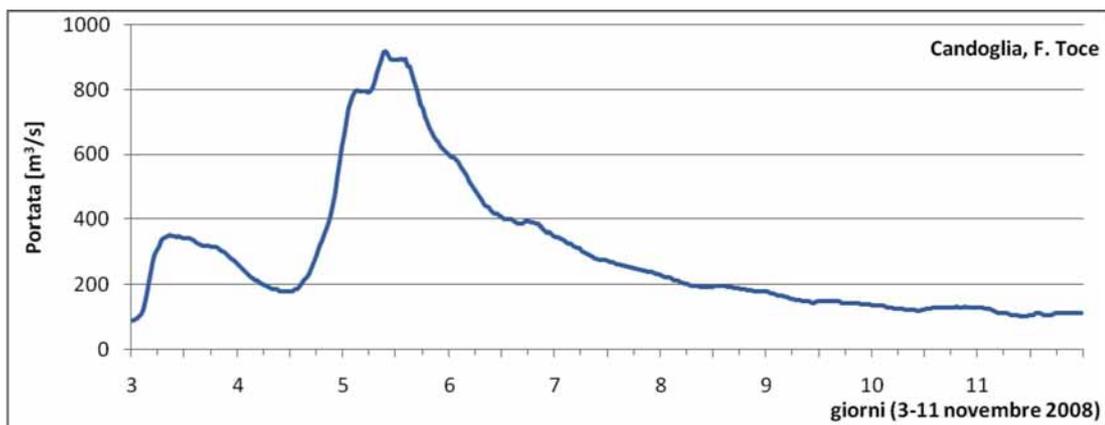


Figura 3.39: Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Candoglia, f. Toce.

Il giorno 3 novembre le precipitazioni hanno interessato maggiormente i bacini in sponda sinistra ed il basso corso del Toce. Sul bacino del Melezzo Occidentale si sono registrati valori di precipitazione maggiori di 60 mm, mentre in prossimità della sezione di Candoglia si sono superati i 70 mm. Nelle restanti parti del bacino del fiume Toce si sono registrati valori molto variabili di precipitazione, da 10mm fino a 55 mm, valore quest'ultimo ottenuto in aree limitate. Il sito di Pieve Vergonte è stato interessato da precipitazioni cumulate di 55 mm.

Il 4 novembre le precipitazioni risultano maggiori, con valori superiori a 70 mm in gran parte del bacino, soprattutto nel medio-basso corso del Toce e nei suoi affluenti in questa parte del corso d'acqua. Localmente si sono superati anche e 100 mm di valore cumulato giornaliero. Il sito di Pieve Vergonte è stato interessato da precipitazioni cumulate di 90 mm.

Il 5 novembre le precipitazioni si sono concentrate sui bacini in sinistra orografica nel bacino del Toce e nel basso corso del Toce, dove sono stati superati i 90 mm di valore cumulato giornaliero. Valori superiori a 80 mm sono stati anche registrati nell'alto corso del Toce. Ad esclusione dell'alto corso del torrente Anza, dove le precipitazioni sono state più ridotte, nei restanti bacini la precipitazione cumulata è stata comunque superiore a 50 mm.

Il giorno 6 novembre l'evento di precipitazione comincia ad attenuarsi, presentando valori compresi tra 20 e 35 mm nell'alto corso del fiume Toce e nei suoi bacini in sponda sinistra.

Il giorno 7 novembre non vengono superati i 10 mm di precipitazione cumulata giornaliera su tutto il bacino del Toce.

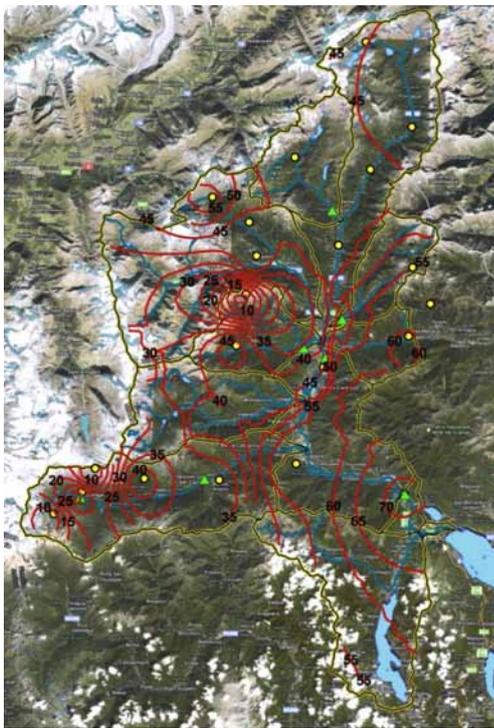
3.6.3 P3: evento di piena del 26-30 aprile 2009

L'evento di piena del 26-29 aprile 2009 ha una durata complessiva di circa 3 giorni, con inizio la mattina del giorno 27 aprile e termine la mattina del giorno 30 aprile. Per la giornata del 28 aprile 2009 i valori di portata alla sezione di chiusura di Candoglia sono stati sempre superiori a 500 m³/s, con valori superiori a 150 m³/s nei 3 giorni successivi. Alla sezione di Domodossola si sono registrati valori superiori a 80 m³/s nella giornata del 28 aprile 2009 (Figure 3.42-3.45).

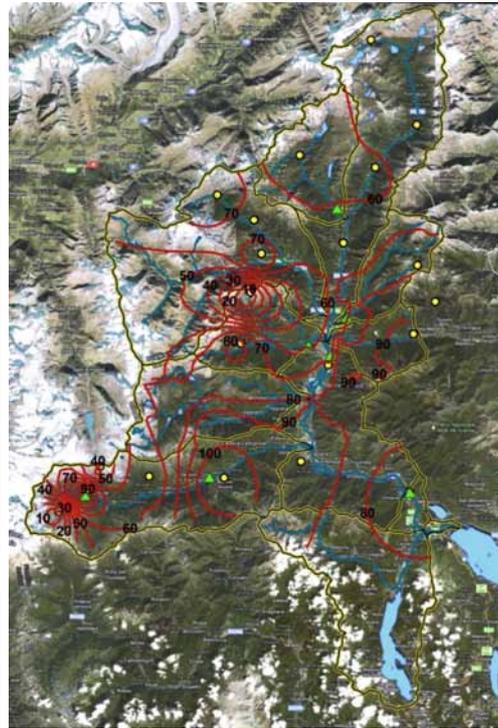
L'analisi delle precipitazioni cumulate giornaliere evidenzia degli eventi meteorici intensi, caratterizzati da elevati valori delle precipitazioni cumulate su base giornaliera, come riportato nelle Figure 3.46 e 3.47a.

Il giorno 26 aprile gli eventi maggiori si sono verificati nel basso corso del Toce e nei bacini in sinistra orografica (Isorno e Melezzo), in cui sono stati superati mediamente i 30 mm di precipitazione cumulata giornaliera.

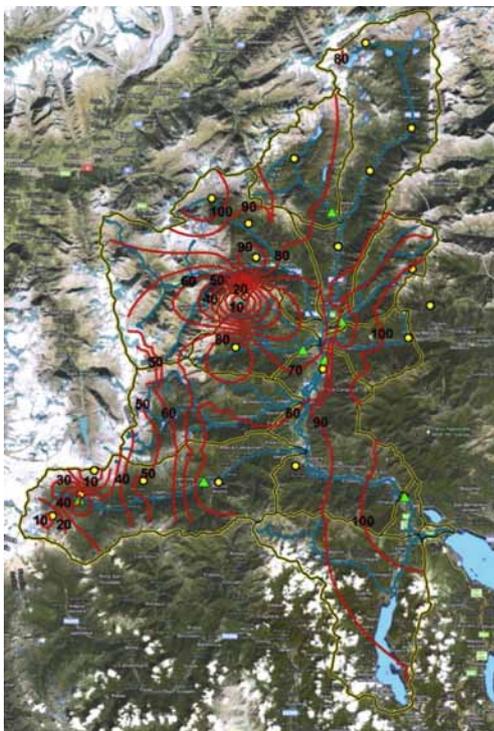
Il giorno 27 aprile l'evento meteorico è stato molto più intenso e di carattere diffuso su tutto il bacino del Toce, in cui il valore cumulato della precipitazione giornaliera ha superato in gran parte della sua area i 100 mm. Eventi concentrati con valori superiori a 130 mm hanno interessato diffusamente quasi tutti i bacini. Nell'area di Pieve Vergonte sono stati superati i 140 mm.



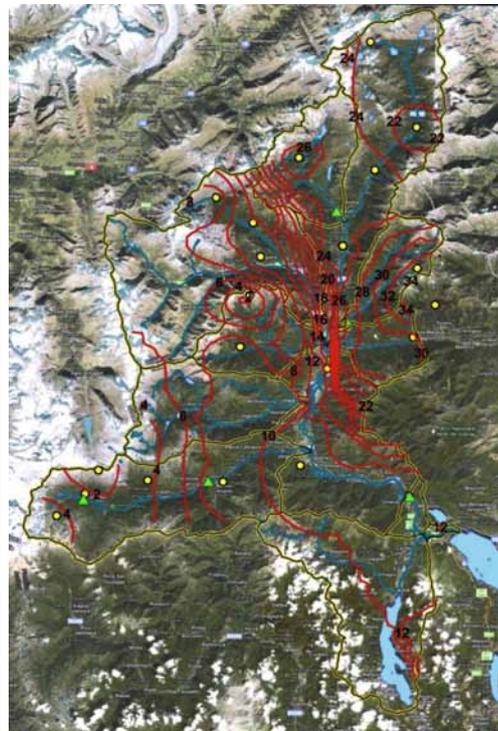
(a) 3 novembre 2008.



(b) 4 novembre 2008.

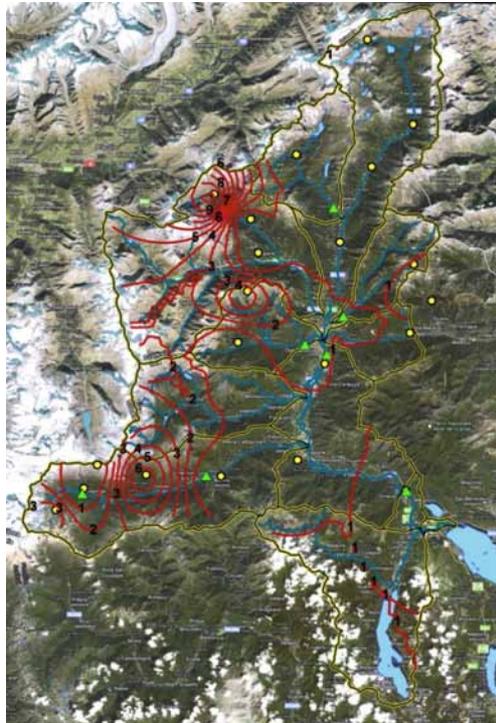


(c) 5 novembre 2008.



(d) 6 novembre 2008.

Figura 3.40: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 3-6 novembre 2008.



(a) 7 novembre 2008.

Figura 3.41: Precipitazioni giornaliere cumulate nel giorno 7 novembre 2008.

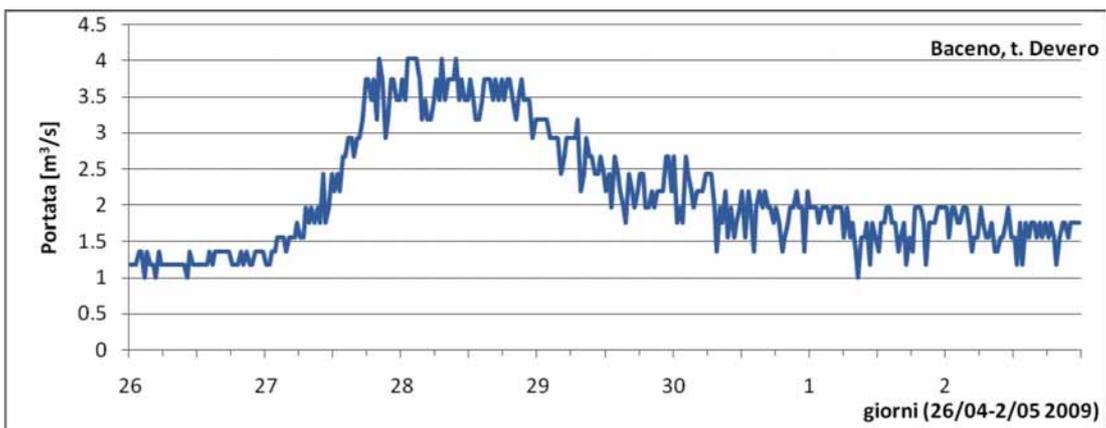


Figura 3.42: Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Baceno, t. Devero.

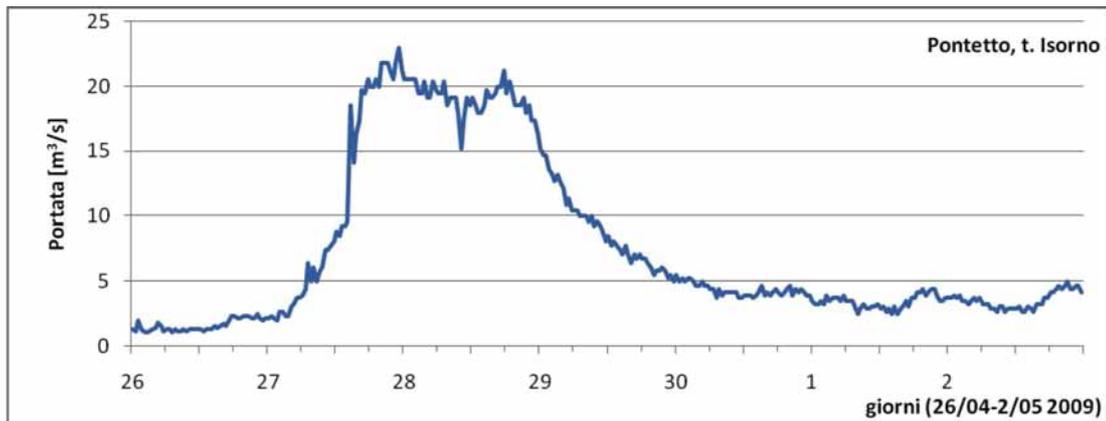


Figura 3.43: Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Pontetto, t. Isorno.

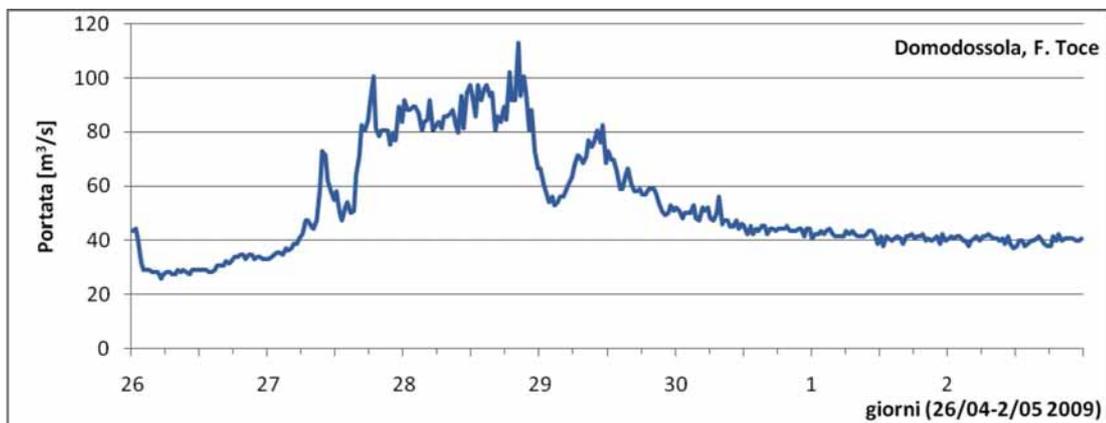


Figura 3.44: Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Domodossola, f. Toce.

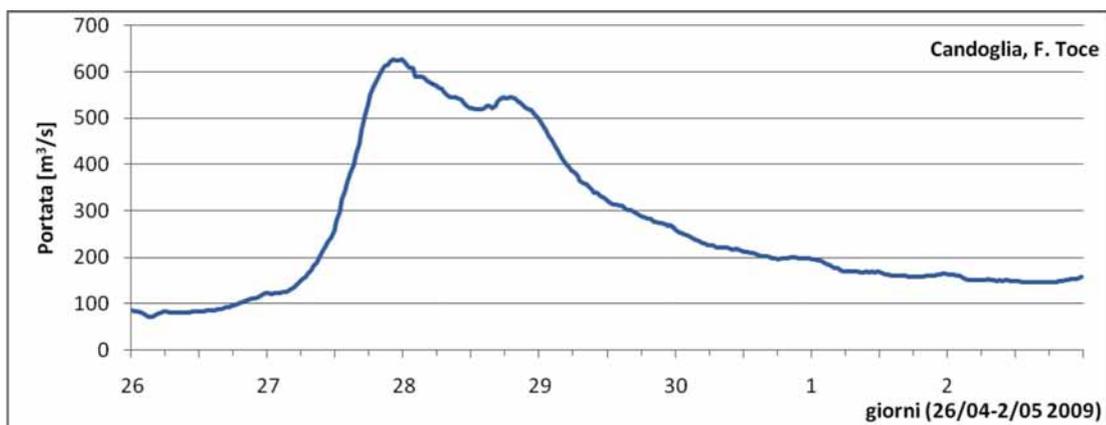


Figura 3.45: Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Candoglia, f. Toce.

L'evento del giorno 28 aprile risulta di media intensità tra i due precedenti, con valori che in gran parte del bacino del Toce hanno superato i 30 mm. In ampie aree, ricadenti principalmente nel bacino del t. Melezzo Occidentale, del t. Anza ed il bacino del basso corso del fiume Toce, sono stati superati i 50 mm. L'area in prossimità del sito di Pieve Vergonte è caratterizzata da un valore di precipitazione cumulata giornaliera superiore a 60 mm.

Il giorno 29 aprile si sono verificati eventi di ridotta intensità, con precipitazioni inferiori a 6 mm in quasi tutto il bacino del f. Toce, ad esclusione del bacino dell'Isorno, in cui si sono registrati valori compresi tra 20 e 30 mm.

Anche per il giorno 30 aprile non si registrano eventi particolarmente intensi. Valori superiori a 20 mm di precipitazione cumulata giornaliera si registrano solo nell'alto bacino dell'Anza, nel bacino del t. Isorno ed in alcune aree del bacino del t. Diveria.

3.6.4 C1: esame del periodo 5-20 gennaio 2009

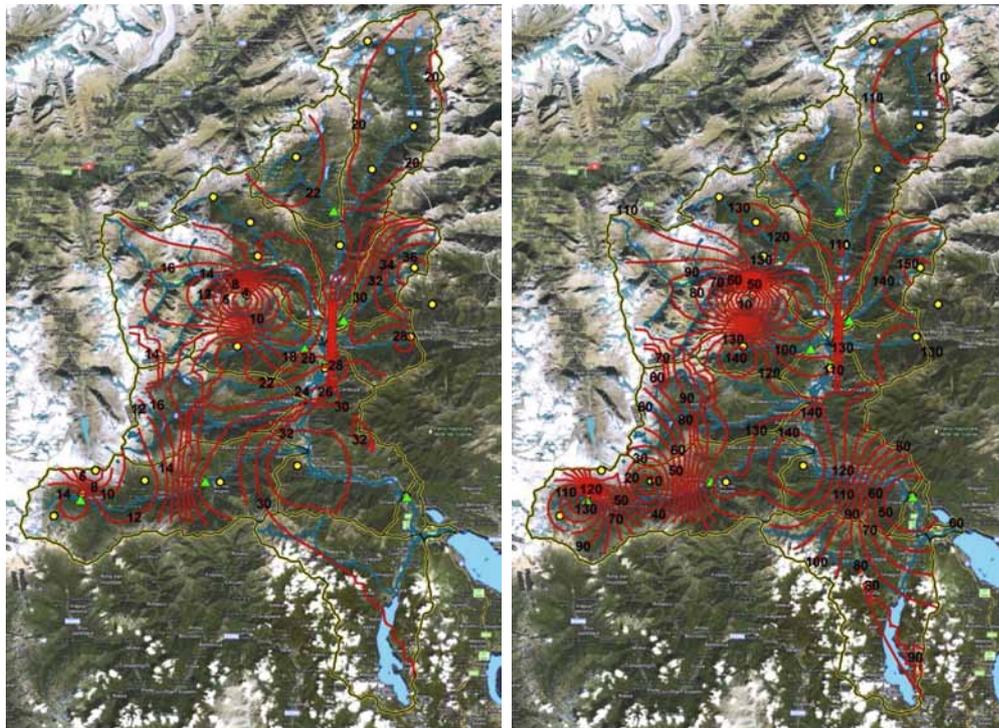
Il periodo esaminato è quello compreso tra il 5 ed il 20 gennaio 2009. Nelle successive figure dalla 3.48 alla 3.51 sono riportati gli idrogrammi rilevati per alcune delle sezioni di chiusura individuate all'interno del bacino del Toce. Si nota che il regime delle portate risulta regolare, con le sole alterazioni a scala giornaliera e settimanale date dallo sfruttamento idroelettrico dei corsi d'acqua.

Le precipitazioni nel periodo in esame risultano deboli, con valori cumulati giornalieri inferiori ai 10 mm. Dei 15 giorni presi in esame solo 6 presentano precipitazioni superiori a 1 mm di cumulo giornaliero. Nella Figura 3.52 (dal 7 al 10 gennaio) e nella Figura 3.53 (18 e 19 gennaio) si riportano le mappe con la distribuzione spaziale della precipitazione cumulata nei giorni ritenuti più significativi, caratterizzati da precipitazioni superiori a 1 mm.

Nei giorni 7 e 8 le precipitazioni risultano concentrate nella parte sud del bacino del Toce, coprendo praticamente solo il bacino dell'Anza. Nei giorni 9 e 10 le precipitazioni risultano ancora concentrate prevalentemente sul bacino dell'Anza, ma con un secondo centro di precipitazione all'interno del bacino del Diveria. Il giorno 18 gennaio si segnalano deboli precipitazioni su tutto il bacino del Toce, con una concentrazione maggiore nel bacino del Diveria in cui, in una ridotta parte, le precipitazioni sono comprese tra 5 e 10 mm. Il giorno 19 gennaio, invece, la distribuzione delle precipitazioni è più uniforme con valori inferiori a 5 mm di cumulo giornaliero.

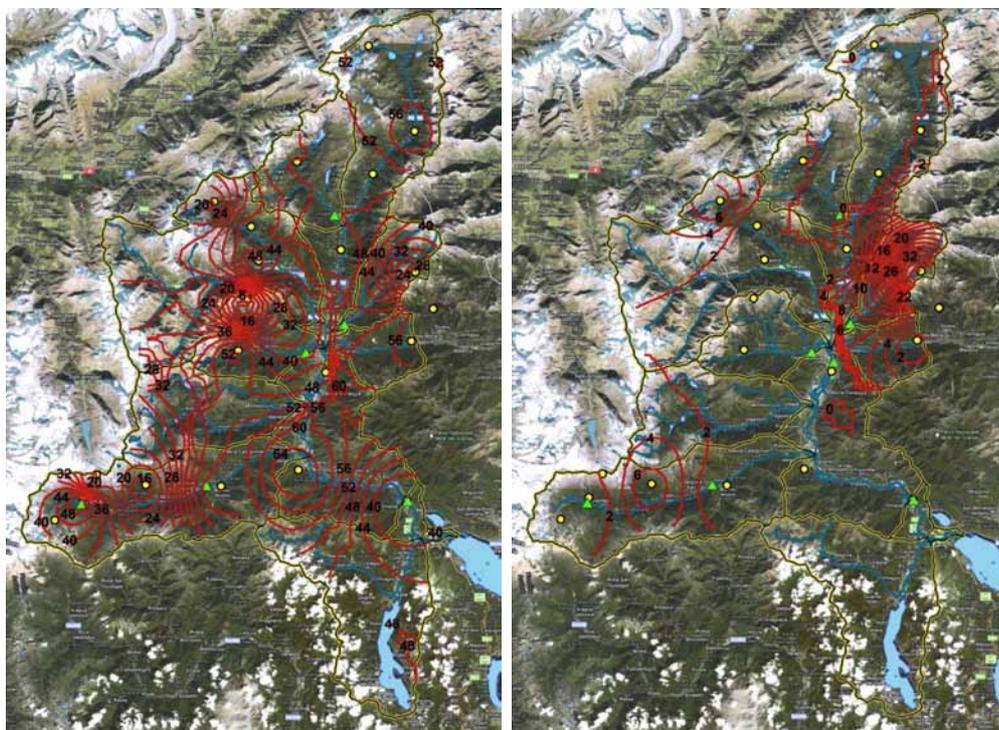
3.6.5 C2: esame del periodo 19-31 agosto 2009

Il periodo esaminato è quello compreso tra il 19 ed il 31 agosto 2009. Nelle successive Figure dalla 3.54 alla 3.58 sono riportati gli idrogrammi rilevati per alcune delle sezioni di chiusura individuate all'interno del bacino del Toce. Si nota che il regime delle portate risulta regolare, con le sole alterazioni a scala



(a) 26 aprile 2009.

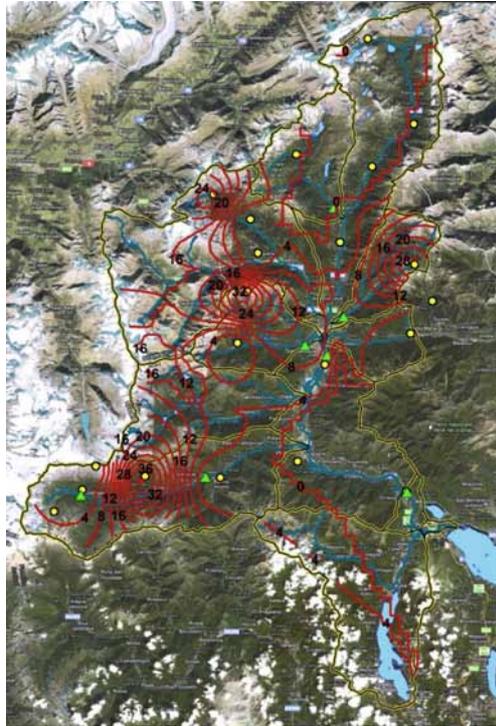
(b) 27 aprile 2009.



(c) 28 aprile 2009.

(d) 29 aprile 2009.

Figura 3.46: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 26-29 aprile 2009



(a) 7 novembre 2008.

Figura 3.47: Precipitazioni giornaliere cumulate nel giorno 30 aprile 2009.

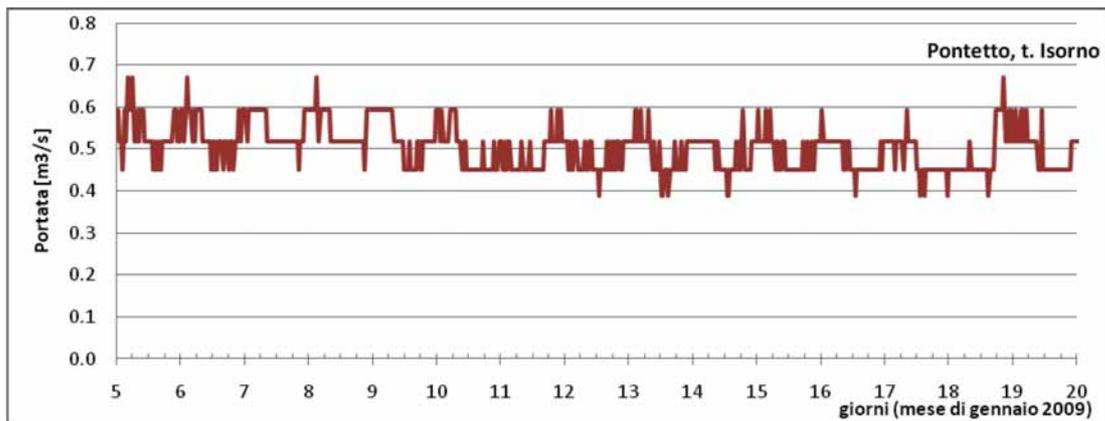


Figura 3.48: Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.

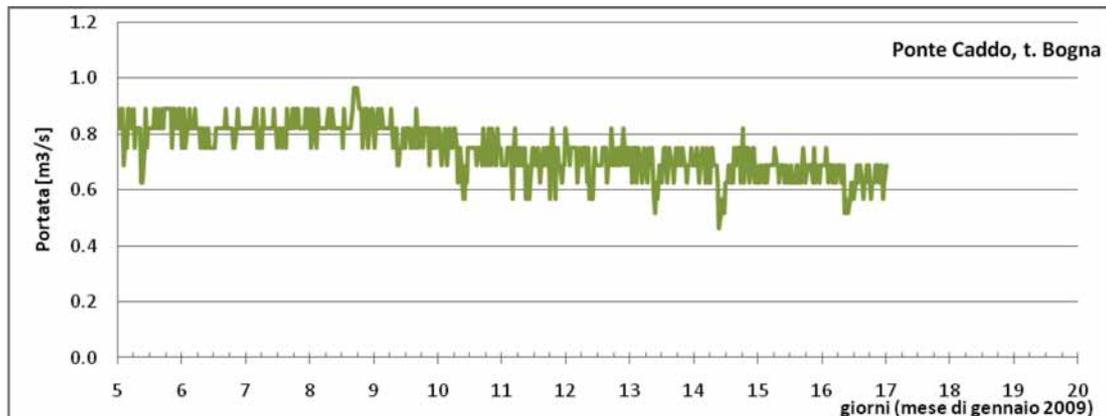


Figura 3.49: Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.

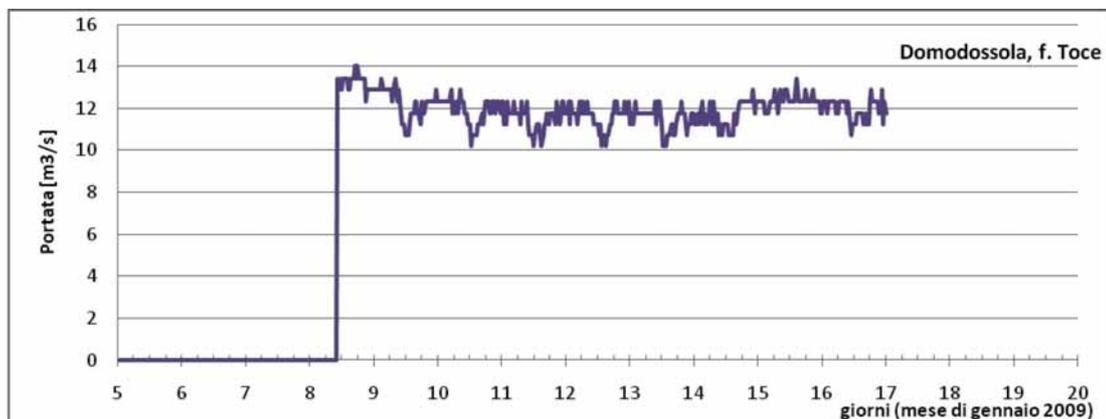


Figura 3.50: Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.

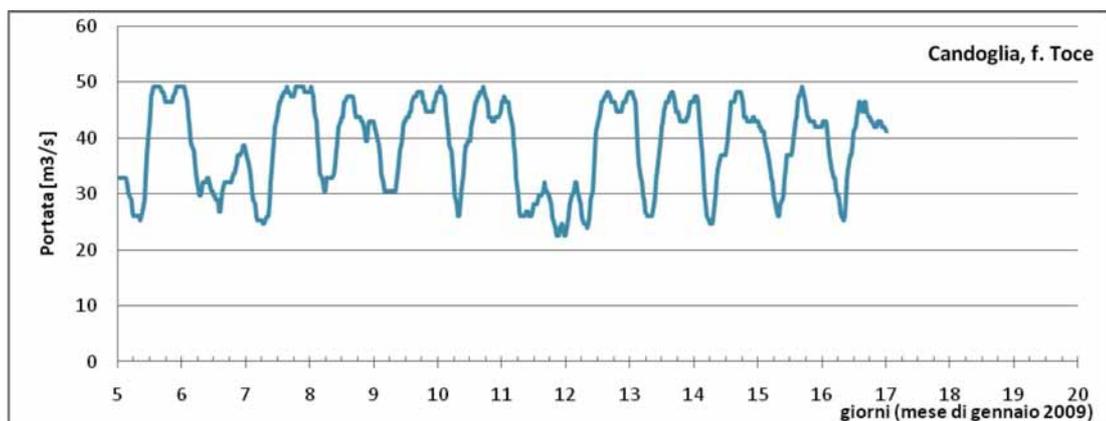


Figura 3.51: Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.

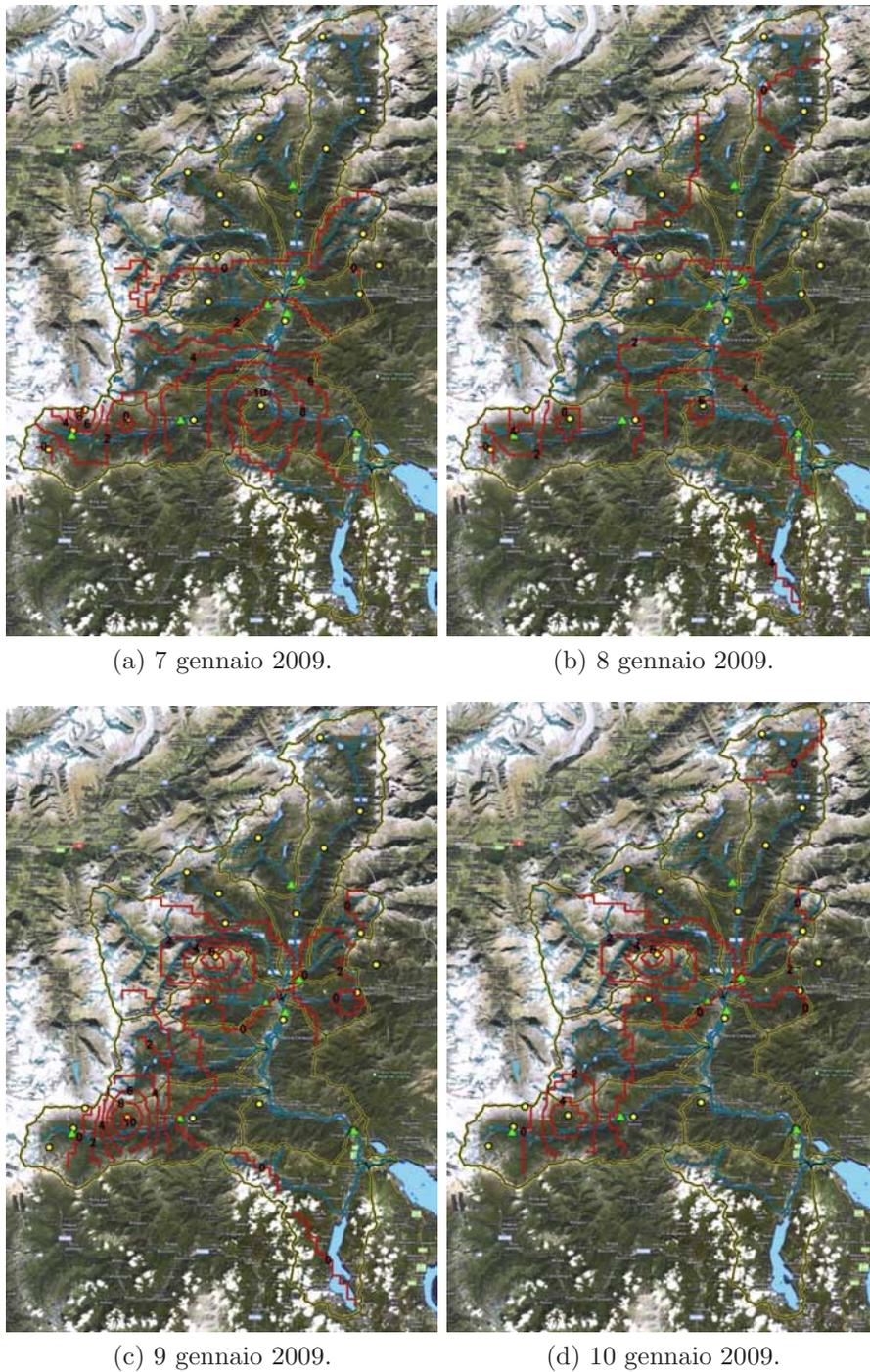


Figura 3.52: Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 7 – 10 gennaio 2009.

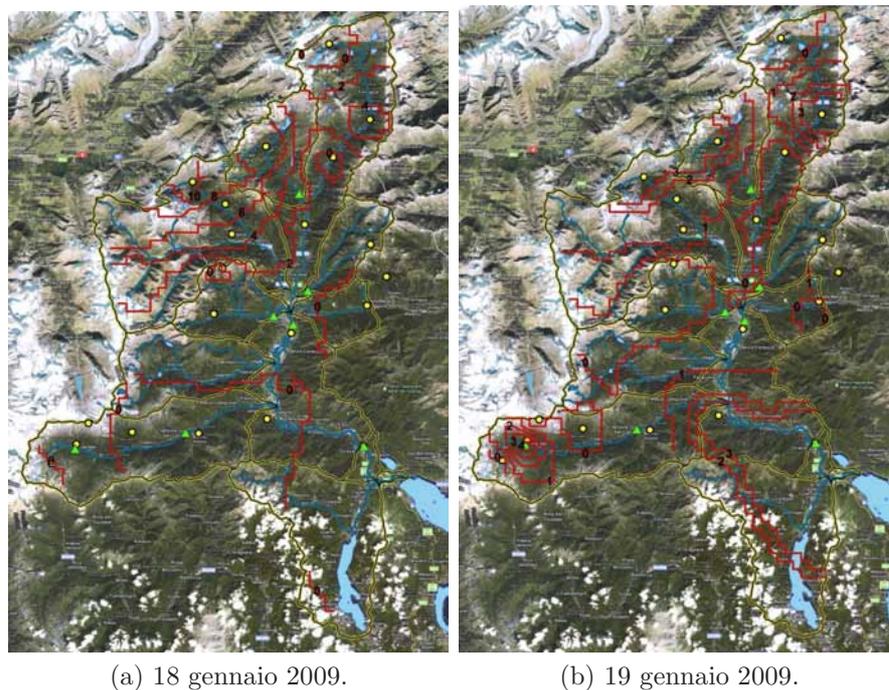


Figura 3.53: Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 18 – 19 gennaio 2009.

giornaliera e settimanale date dallo sfruttamento idroelettrico dei corsi d'acqua. E' presente un evento di piena di ridotta entità nei giorni 26 e 27 agosto.

Le precipitazioni nel periodo in esame risultano concentrate solo nei giorni 25 e 26 agosto, in cui raggiungono valori cumulati giornalieri significativi. L'evento pluviometrico in esame ha inizio il giorno 20 e termine il giorno 28, con valori però molto ridotti, con molti giorni in cui non si supera 1 mm di pioggia cumulata giornaliera. Il giorno 25 agosto, invece, come mostrato in Figura 3.59, le precipitazioni risultano abbondanti, superando anche i 50 mm di valore cumulato giornaliero in un'area corrispondente circa al bacino del torrente Bogna e del torrente Ovesca. Il giorno 26 agosto, come mostrato sempre in Figura 3.59, le precipitazioni risultano ridotte, con valori cumulati giornalieri superiori a 10 mm solo nella parte inferiore del bacino del Toce, coprendo principalmente il bacino dello Strona e l'area in prossimità della stazione di Candoglia.

La distribuzione spaziale delle precipitazioni ottenuta è in accordo con gli idrogrammi ottenuti, dato che l'effetto maggiore è percepito alle sezioni di Ponte Caddo, sul torrente Bogna, e di Domodossola, sul fiume Toce, in cui l'incremento di portata dovuto al passaggio dell'onda di piena è valutabile in circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.6.6 C3-C4: esame del periodo ottobre 2009

Nel mese di ottobre sono state condotte 2 serie di campionamenti che hanno coperto il periodo compreso tra il giorno 8 ed il giorno 30. In questo periodo non si

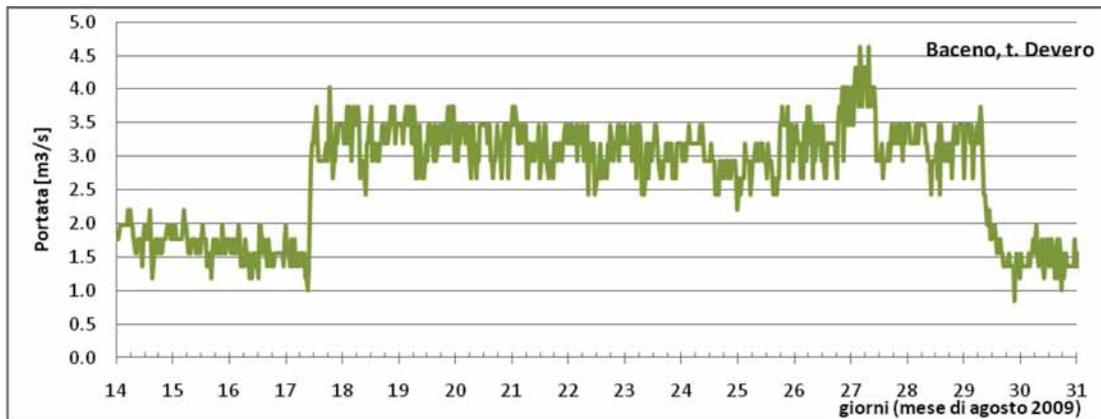


Figura 3.54: Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.

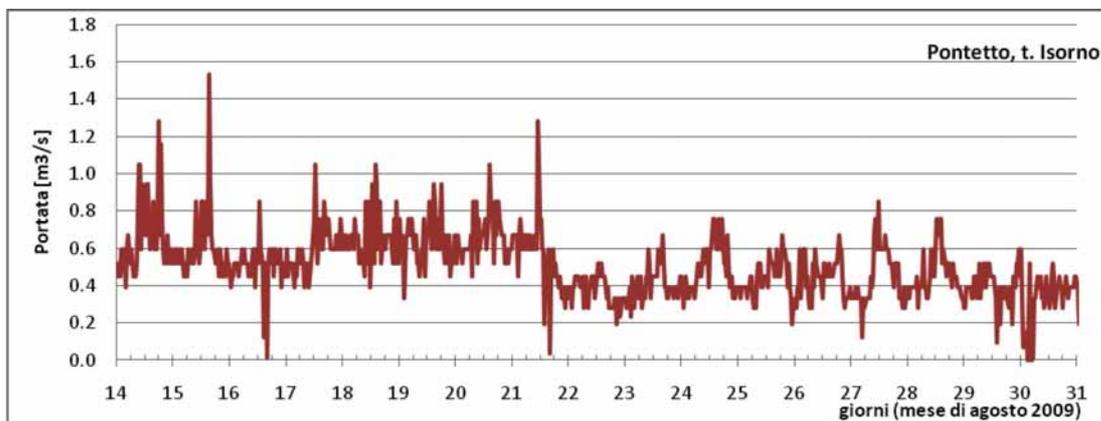


Figura 3.55: Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.



Figura 3.56: Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.

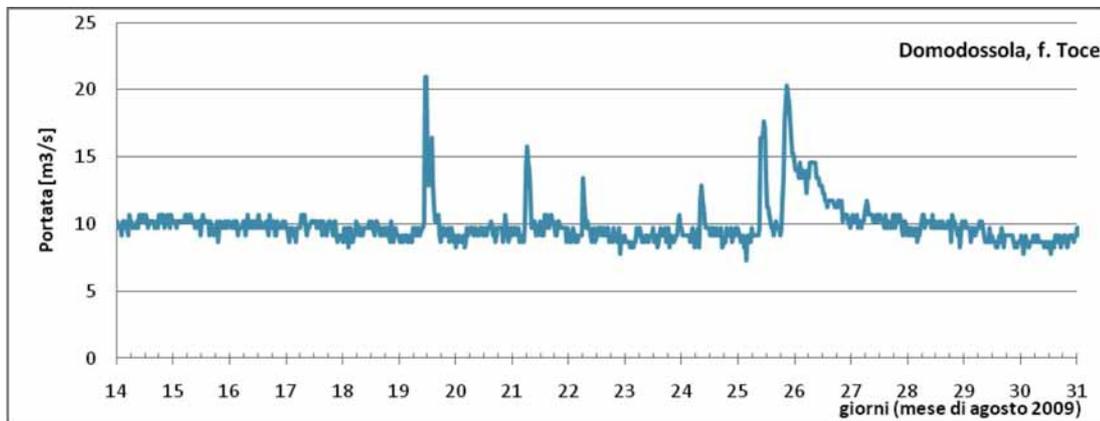


Figura 3.57: Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.

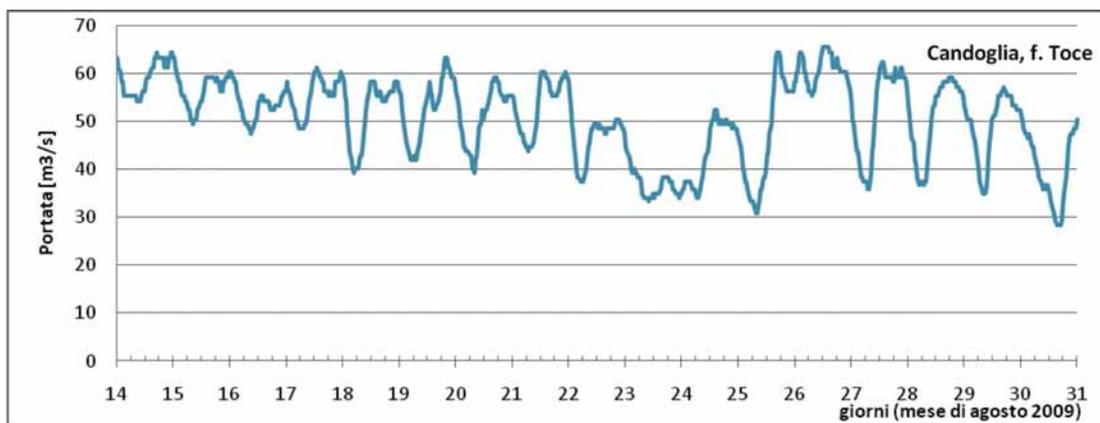


Figura 3.58: Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.

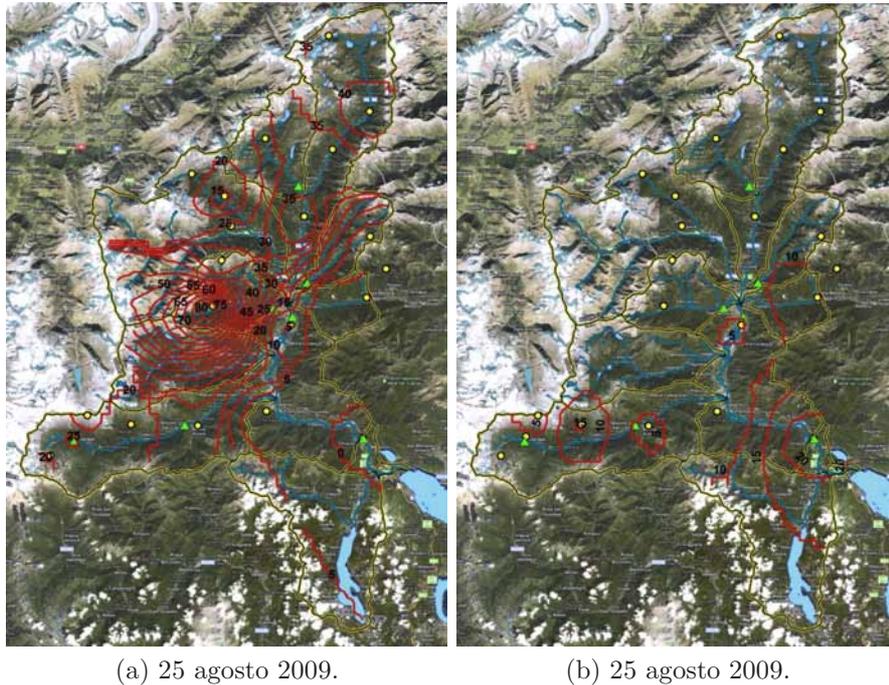


Figura 3.59: Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 18 – 19 gennaio 2009.

sono verificati eventi di piena intensi, ma solo un ridotto incremento delle portate nei giorni compresi tra il 21 ed il 24 ottobre a causa di modeste precipitazioni che hanno interessato il bacino del fiume Toce. Nelle successive figure dalla 3.60 alla 3.64 si riportano gli idrogrammi registrati in alcune sezioni di chiusura ricadenti nel bacino del Toce.

Nel periodo in cui si è effettuato il campionamento le precipitazioni sono risultate di modesta entità e concentrate essenzialmente in due periodi. Nei giorni 16 e 17 ottobre si sono verificate delle precipitazioni molto deboli, inferiori ad 1 mm e distribuite quasi uniformemente su tutto il bacino. Nei giorni compresi tra il 21 ed il 26 ottobre, invece, le precipitazioni sono risultate più abbondanti, soprattutto nei giorni compresi tra il 21 ed il 24 ottobre. Nella successiva Figura 3.65 si riportano le mappe relative alla distribuzione spaziale delle precipitazioni nei giorni compresi tra il 21 ed il 24 ottobre 2009.

Il giorno 21 le precipitazioni hanno superato i 10 mm di valore cumulato giornaliero in gran parte del bacino, con valori massimi superiori a 20 mm nella parte medio bassa del bacino (dalla sezione di Domodossola a scendere lungo il corso del Toce) e soprattutto in sponda sinistra (bacini del Melezzeo e dell'Isorno). Il giorno 22 le precipitazioni hanno avuto carattere diffuso, con valori più elevati, compresi tra 10 e 20 mm nelle stesse aree indicate per il giorno 21. Il giorno 23 le precipitazioni sono state ridotte, con valori più elevati solo nella parte alta del bacino del torrente Anza, dove sono stati superati i 10 mm di valore cumulato giornaliero. Il giorno 24, infine, le precipitazioni sono risultate più intense solo

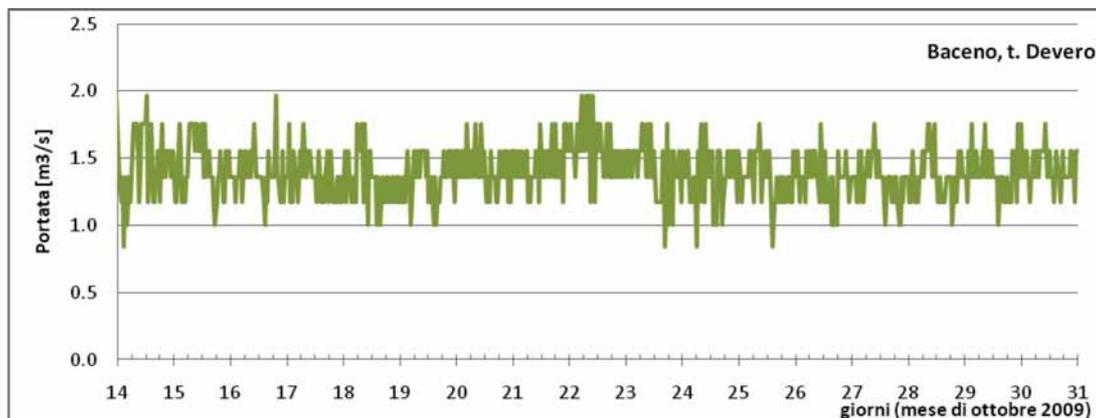


Figura 3.60: Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.

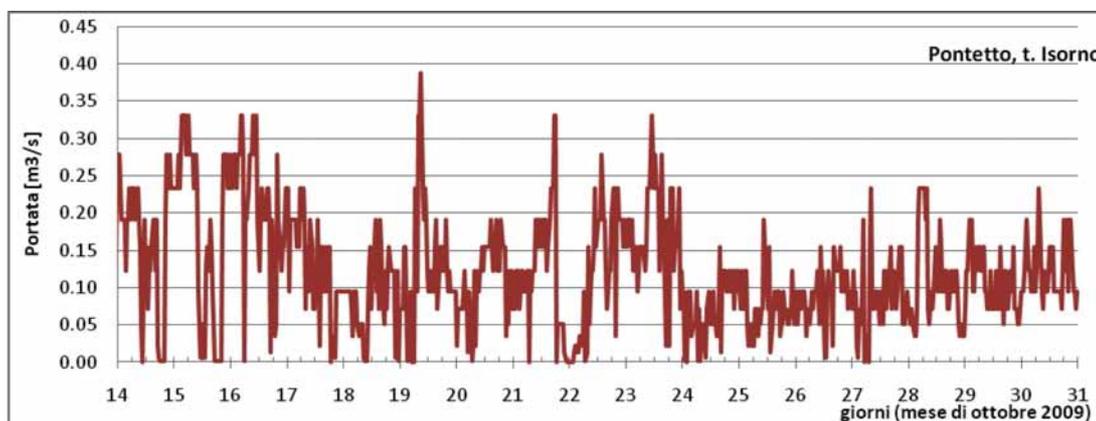


Figura 3.61: Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.



Figura 3.62: Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.

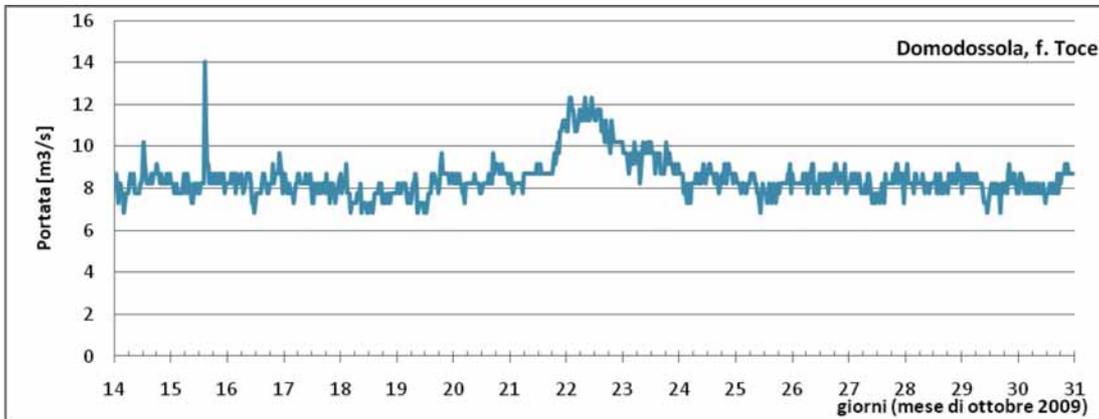


Figura 3.63: Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.

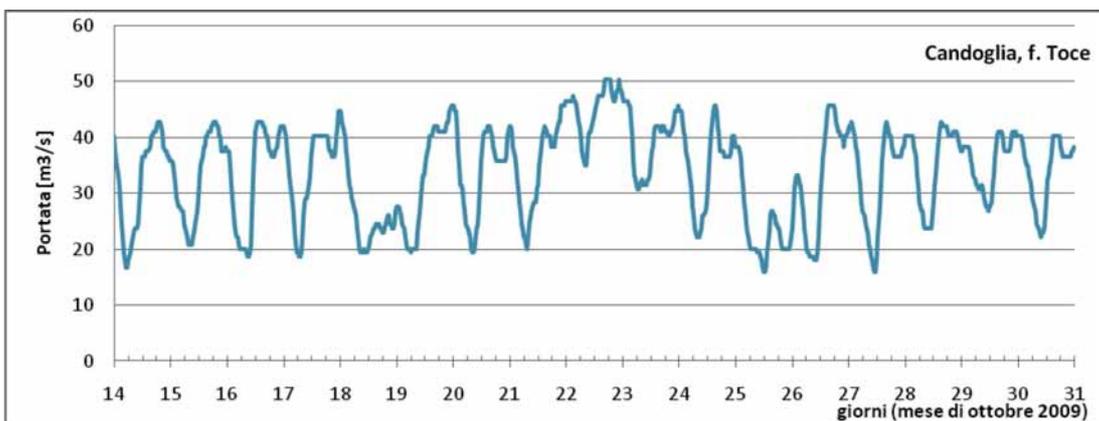


Figura 3.64: Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.

nella parte alta del bacino del Toce (zona dei laghi Morasco e Sabbione) e nella parte centrale del bacino del Diveria.

3.6.7 C5: esame del periodo novembre 2009

Dalla Figura 3.66 alla Figura 3.70 si riportano gli idrogrammi registrati nel periodo compreso tra il 6 novembre ed il 16 novembre 2009. Non si segnalano eventi di rilievo, ma solo ridotti incrementi delle portate in transitò in alcuni limitati periodi di tempo. Alla sezione di chiusura di Candoglia le portate medie oscillano intorno al valore di $20 \text{ m}^3/\text{s}$, con ridotti picchi di poco superiori a $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Ciò è in accordo con l'andamento delle precipitazioni mostrato nelle figure successive.

Le precipitazioni hanno interessato in maniera diffusa, ma con valori modesti, tutto il bacino del Toce. Il valore cumulato giornaliero è stato quasi sempre inferiore a 5mm, ad esclusione del giorno 8 novembre, in cui si sono superati i 10 mm in un'ampia area nel basso corso del Toce, che ha interessato anche parte del bacino dell'Anza. Nella zona di Pieve Vergonte sono stati raggiunti i 15 mm. Le mappe dei valori cumulati giornalieri sono riportate nelle Figure 3.71, 3.72 e 3.73.

3.6.8 C6: esame del periodo dal 25 nov. 2009 al 10 dic. 2009

Dalla Figura 3.74 alla Figura 3.78 si riportano gli idrogrammi registrati nel periodo compreso tra il 25 novembre ed il 10 dicembre 2009. Nel periodo considerato si ha un incremento delle portate nei giorni 30/11 e 1/12, in cui si osserva chiaramente il passaggio di un'onda di piena. L'evento si nota maggiormente per la sezione di chiusura di Ponte Caddo sul torrente Bogna e per le sezioni di Domodossola e Candoglia sul fiume Toce. In particolare alla sezione di Candoglia le portate al colmo hanno superato i $100 \text{ m}^3/\text{s}$ e nella sezione di Domodossola il valore di $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le precipitazioni sono state diffuse su tutto il bacino del fiume Toce, con valori più elevati nei giorni 29 – 30 novembre e 1 dicembre. Il giorno 29 novembre il valore cumulato giornaliero delle precipitazioni è stato superiore a 20 mm su gran parte del bacino del fiume Toce. In particolare sono stati raggiunti valori superiori a 30 mm, con picchi superiori a 45 mm nel bacino del torrente Devero, dell'Alto Toce, dell'Isorno e nel Basso corso del Toce. La zona di Pieve Vergonte è stata interessata da precipitazioni superiori a 45 mm. L'evento si è intensificato il giorno 30 novembre, giorno in cui il cumulato giornaliero delle precipitazioni è stato superiore a 80 mm in buona parte del bacino. In particolare, l'Alto corso del Toce, il bacino del torrente Devero, Isorno, Melezzo Occidentale ed il basso corso del Toce sono stati interessati da precipitazioni superiori a 100 mm, con un picco di oltre 130 mm nel bacino dell'Isorno. L'area di Pieve Vergonte è stata

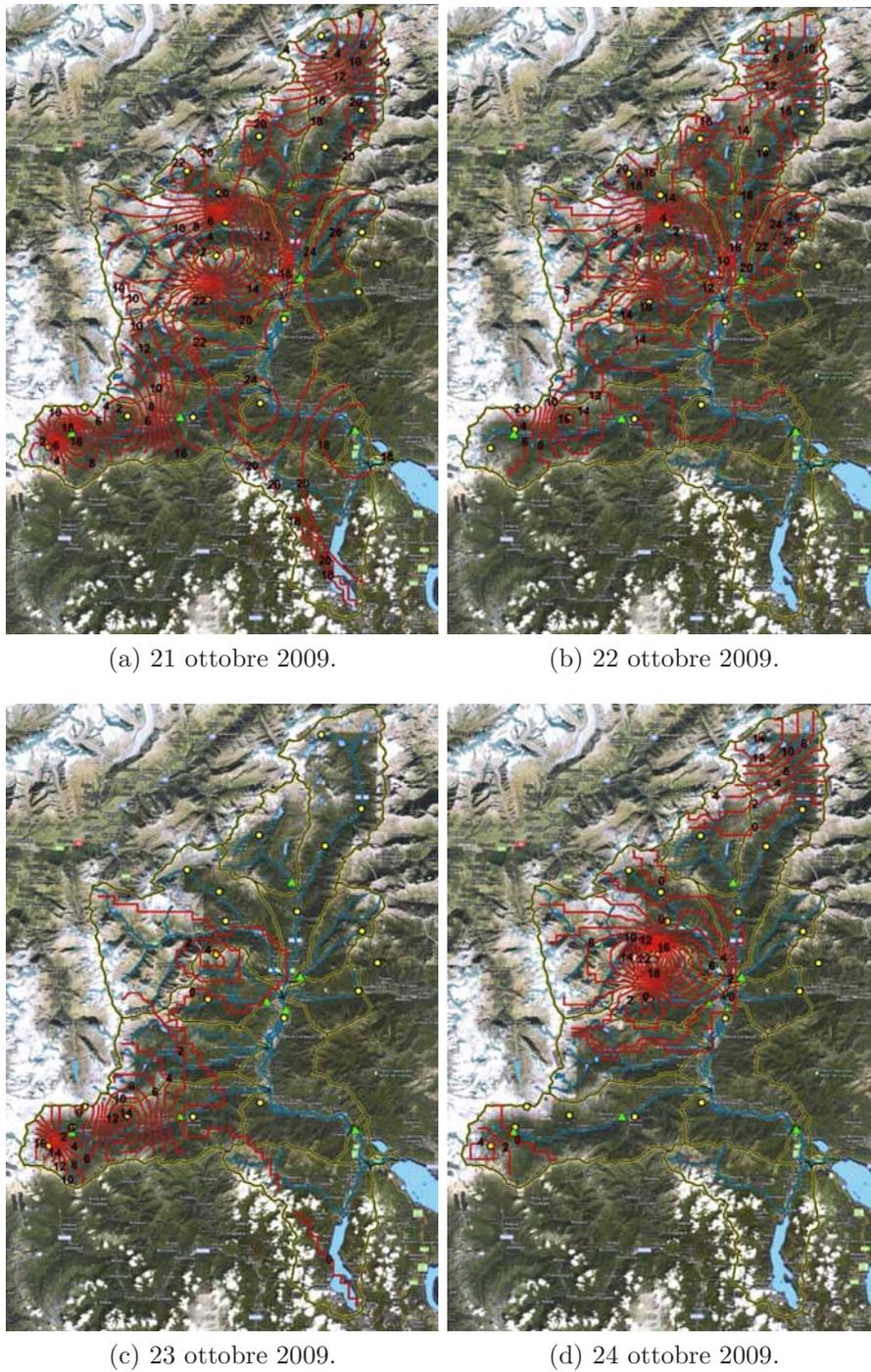


Figura 3.65: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 21-24 ottobre 2009.

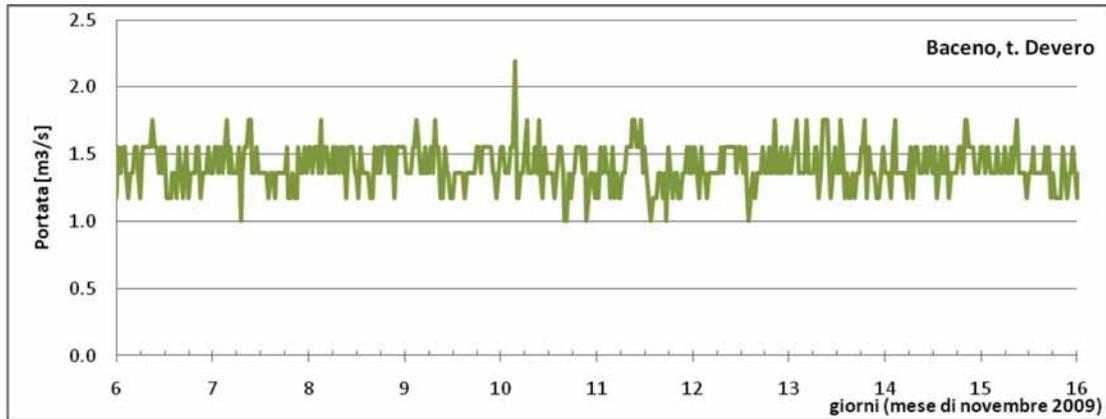


Figura 3.66: Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.

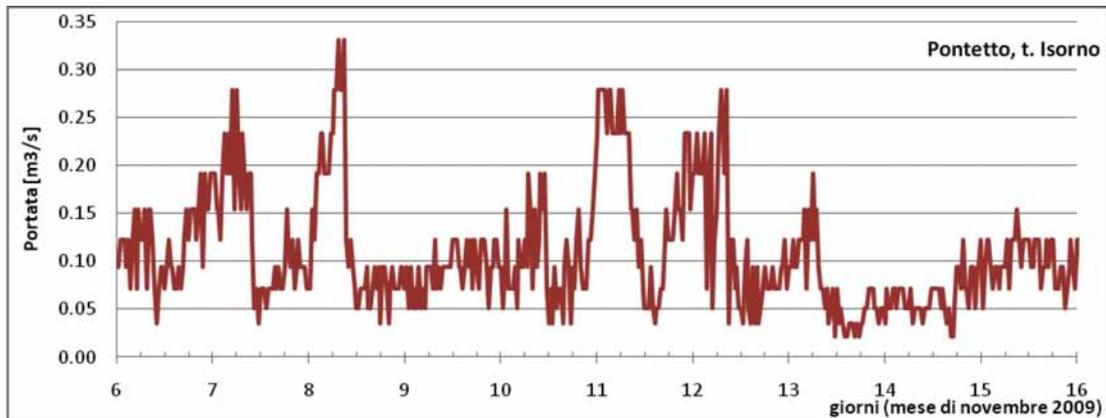


Figura 3.67: Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.

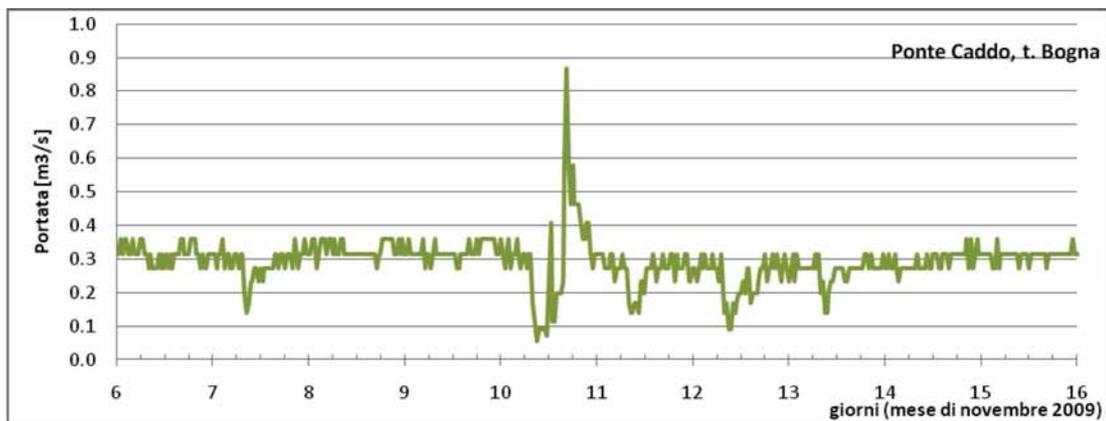


Figura 3.68: Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.

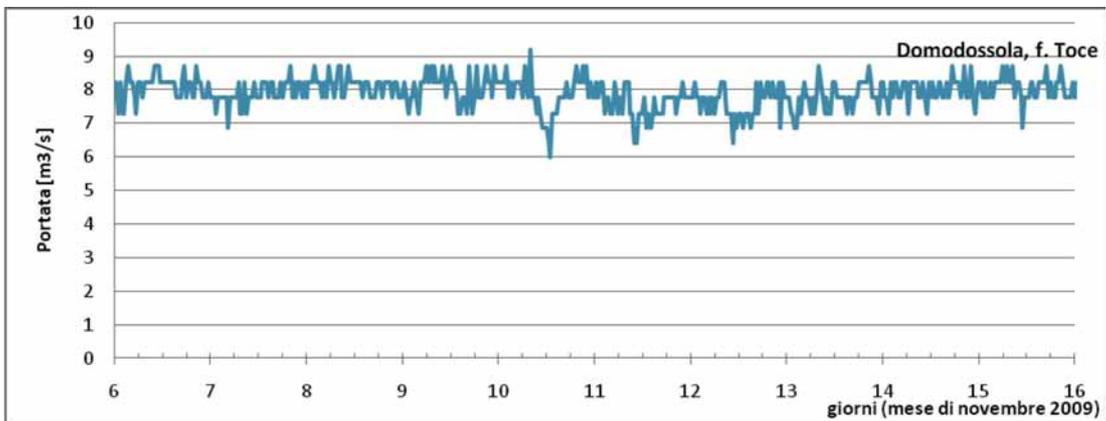


Figura 3.69: Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.

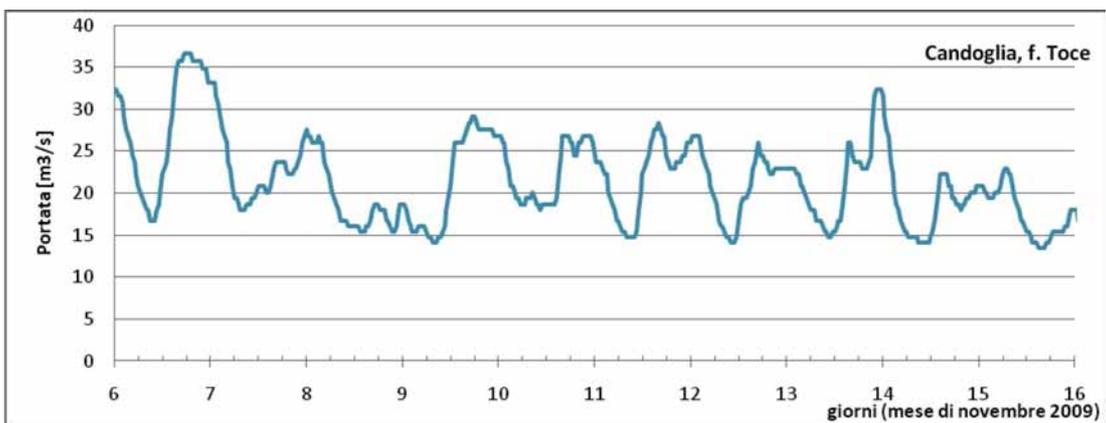


Figura 3.70: Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.

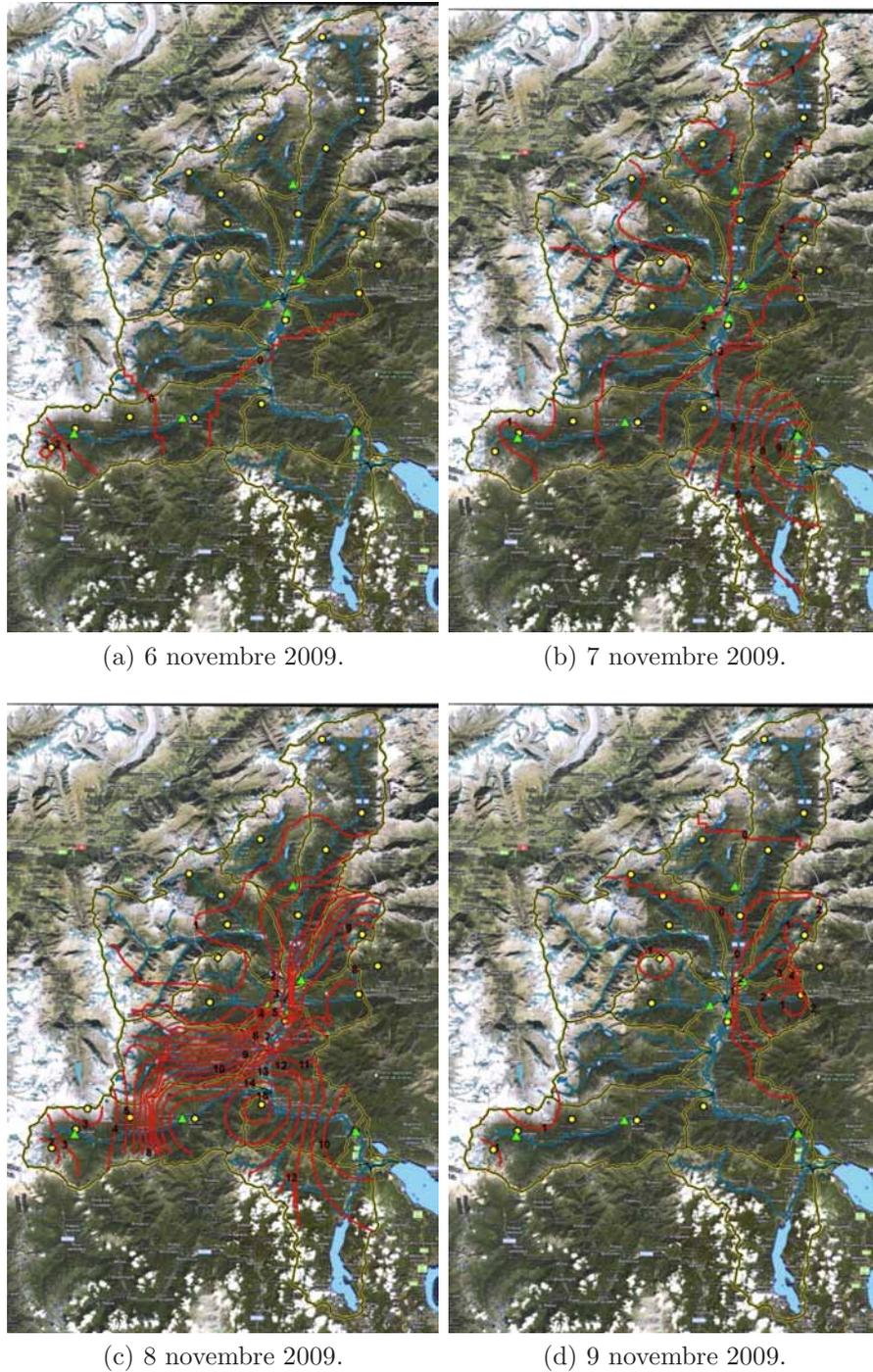


Figura 3.71: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 6-9 novembre 2009.

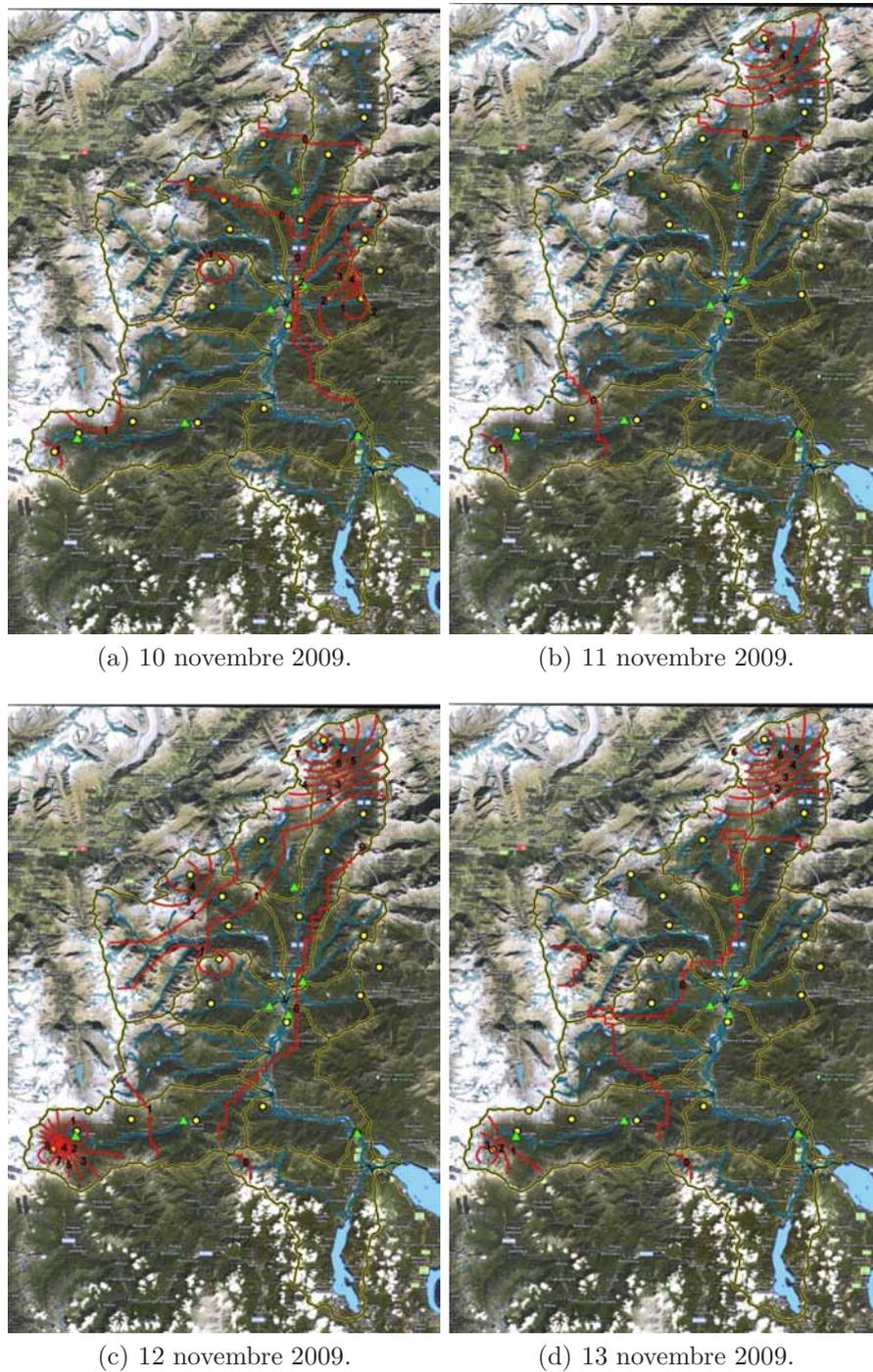
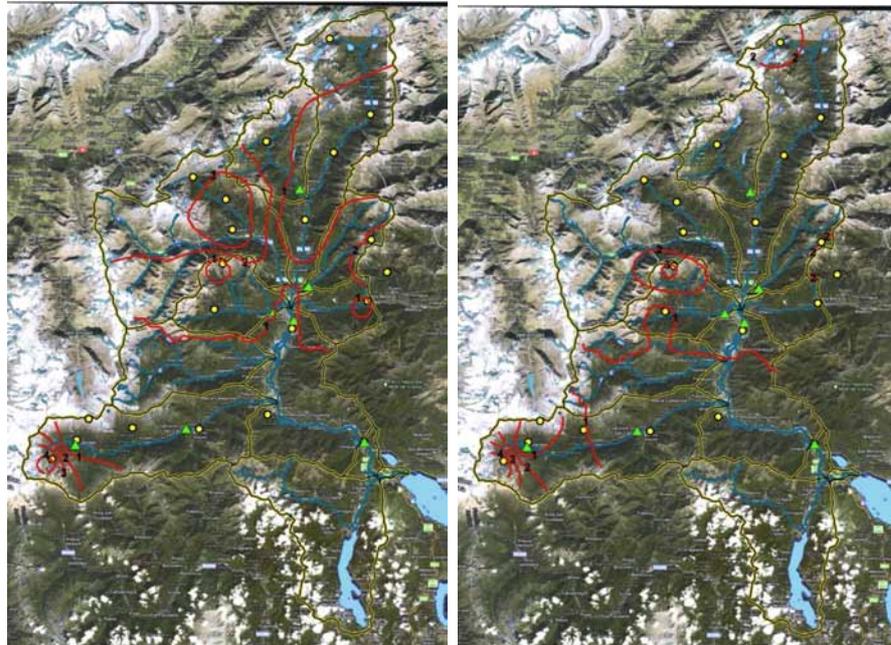
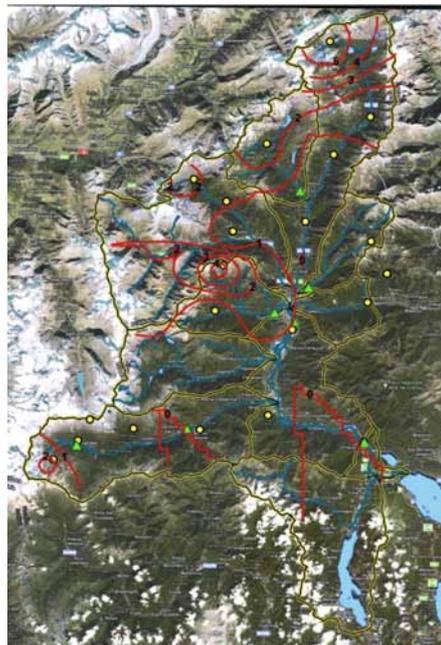


Figura 3.72: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 10-13 novembre 2009.



(a) 14 novembre 2009.

(b) 15 novembre 2009.



(c) 16 novembre 2009.

Figura 3.73: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 14-16 novembre 2009.

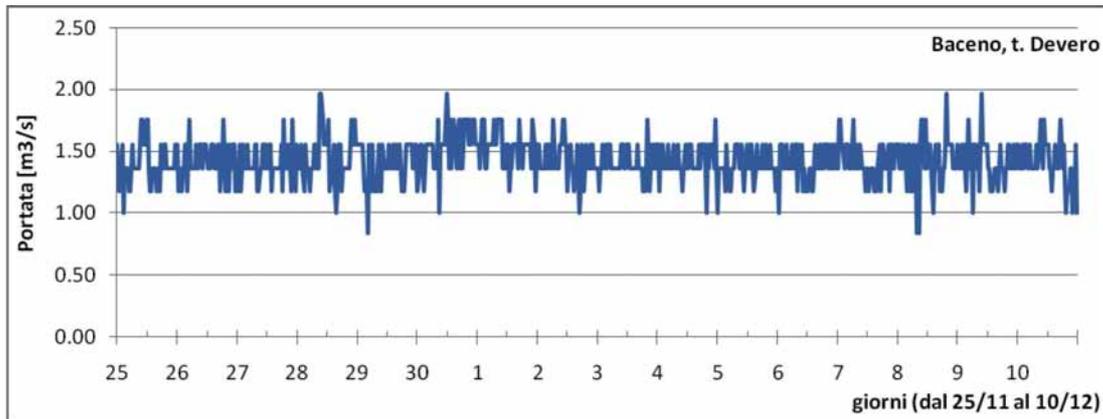


Figura 3.74: Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 - 6/12/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.

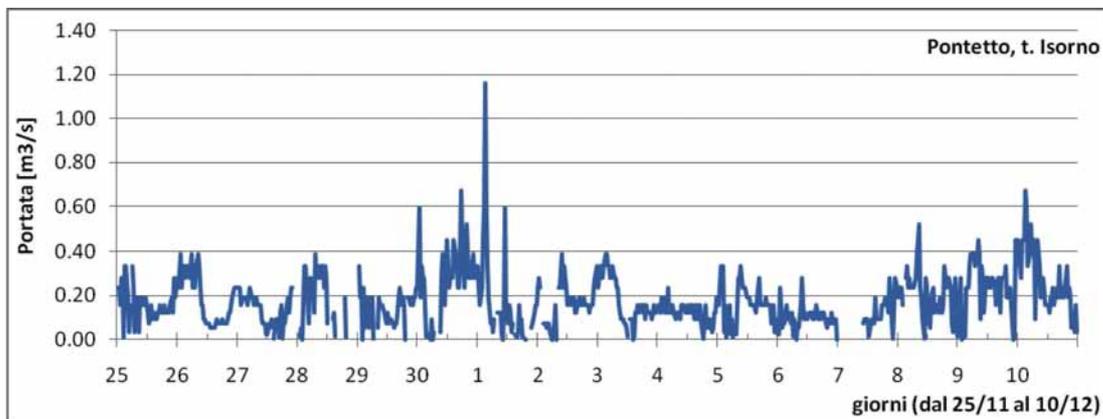


Figura 3.75: Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 - 6/12/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.

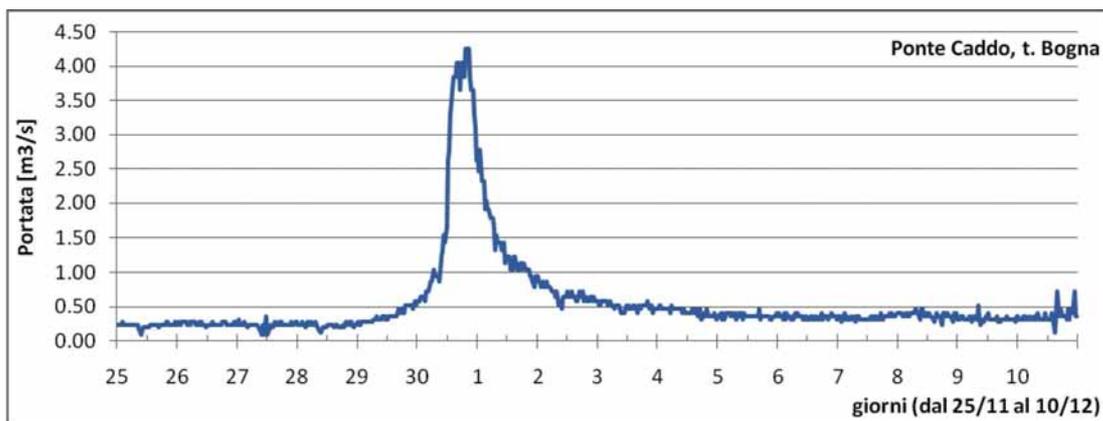


Figura 3.76: Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 - 6/12/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.

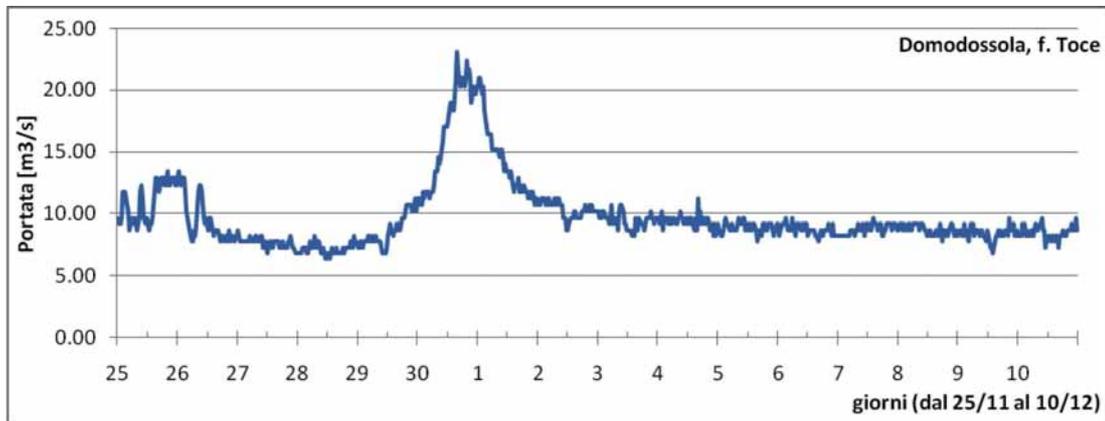


Figura 3.77: Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 – 6/12/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.

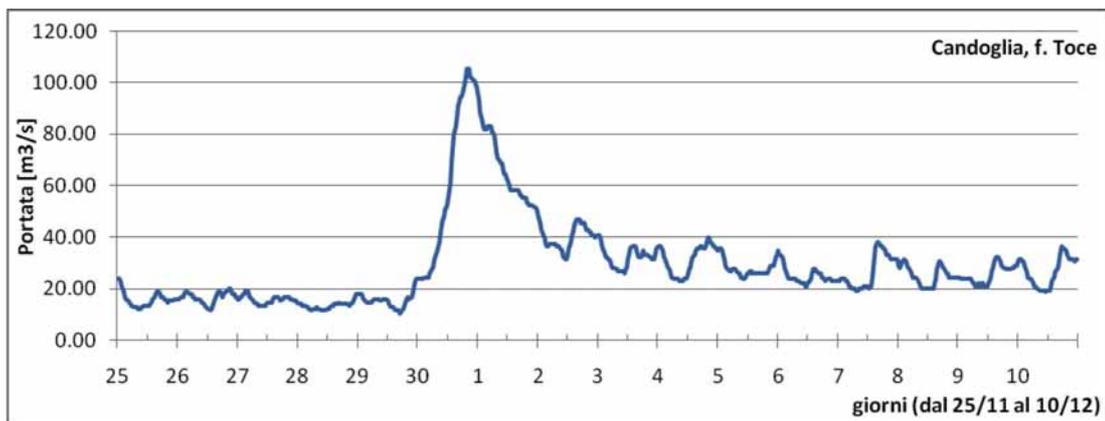


Figura 3.78: Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 – 6/12/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.

interessata da precipitazioni superiori a 100 mm. Il giorno 1 dicembre l'evento è in fase decrescente, con valori compresi tra 2 e 16 mm in tutto il bacino del Toce. Solo una ridotta area nell'alto corso del Diveria è stata interessata da precipitazioni superiori a 20 mm. Nei giorni successivi le precipitazioni sono state ridotte, con valori cumulati inferiori a 10 mm. Le mappe con le isoiete rappresentanti il cumulato giornaliero delle precipitazioni sono riportate dalla Figura 3.79 alla 3.82. Nei giorni 28 novembre e 5 dicembre le precipitazioni cumulate non hanno superato il valore di 1 mm e sono state omesse.

3.6.9 C7: esame del periodo dal 10 al 18 dicembre 2009

Dalla Figura 3.83 Figura 3.87 si riportano gli idrogrammi registrati nel periodo compreso tra il 10 ed il 18 dicembre 2009. Nel periodo indicato non si segnala il passaggio di onde di piena. Le portate alla sezione di Domodossola presentano valori variabili tra circa 9 m³/s ad inizio periodo e 7 m³/s a fine periodo. Per la stazione di Candoglia le portate oscillano tra 20 m³/s e 35 m³/s ad inizio periodo e 15 m³/s e 30 m³/s fine periodo.

L'osservazione dei valori cumulati giornalieri delle precipitazioni, riportati nella 3.88, mostra che nel periodo considerato le precipitazioni sono state ridotte ed hanno interessato il giorno 10, 13 e 14 dicembre, con valori inferiori a 5 mm. Il giorno 10 dicembre le precipitazioni hanno interessato maggiormente il bacino del torrente Bogna e del Diveria. Il giorno 13 dicembre l'evento ha interessato maggiormente l'alto corso del Toce

3.7 Dati riassuntivi di precipitazione e portata

La Tabella 3.7 riporta i valori di portata media e massima misurati in corrispondenza della sezione di Candoglia mentre nelle successive tabelle si riportano i dati riepilogativi dei valori di precipitazione cumulata giornaliera, minima (Tabella 3.8), media (Tabella 3.9) e massima (Tabella 3.10), relativi ai sottobacini principali individuati nel bacino del fiume Toce. I valori così raggruppati possono facilmente essere messi in correlazione con i risultati ottenuti dai campionamenti effettuati per valutare la quantità di inquinante presente. Oltre alla indicazione relativa ai sottobacini, si riporta anche il valore di precipitazione registrato in corrispondenza del sito di Pieve Vergonte.

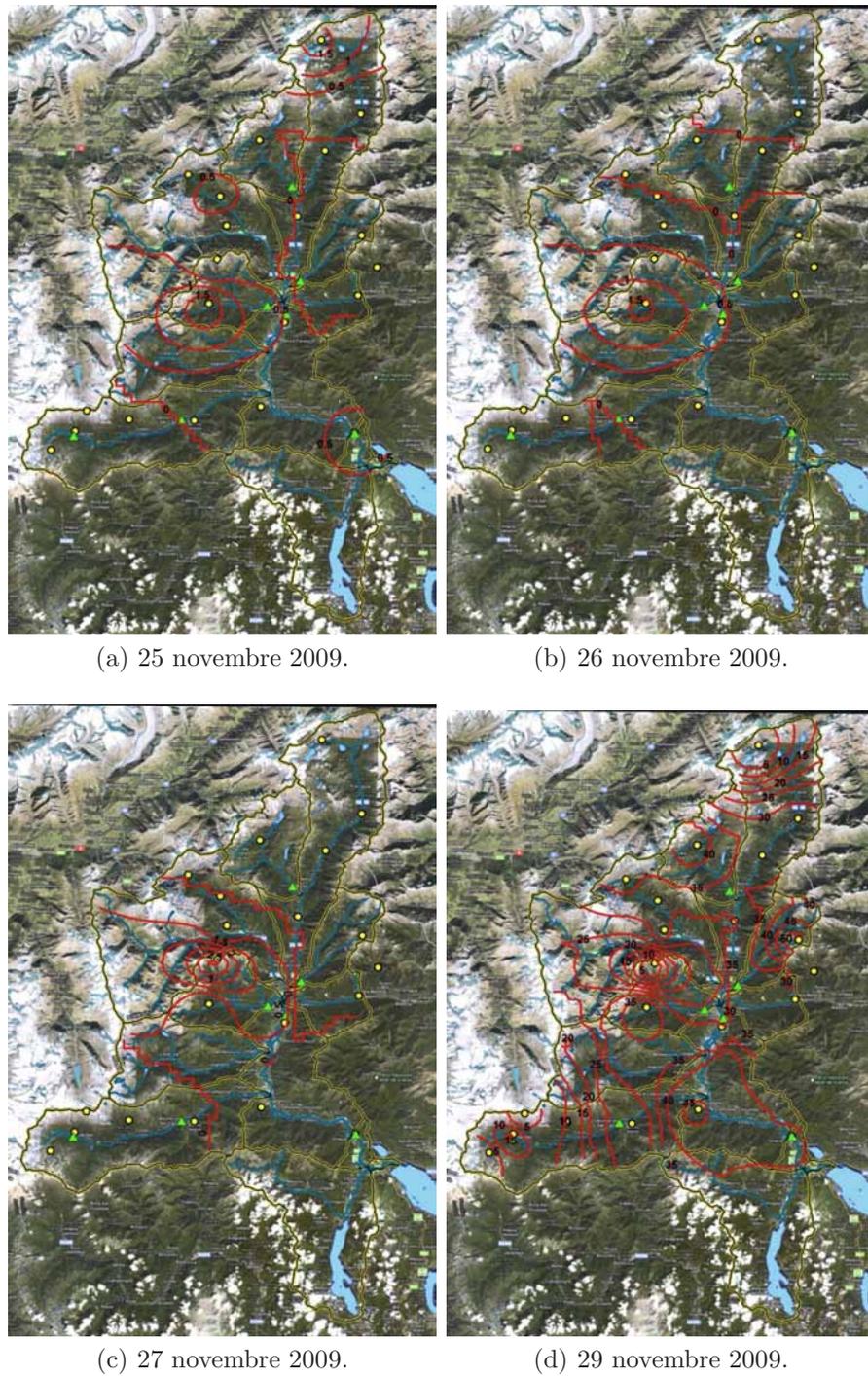


Figura 3.79: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 25-29 novembre 2009. Il giorno 28 novembre presenta valori di precipitazioni inferiori ad 1 mm

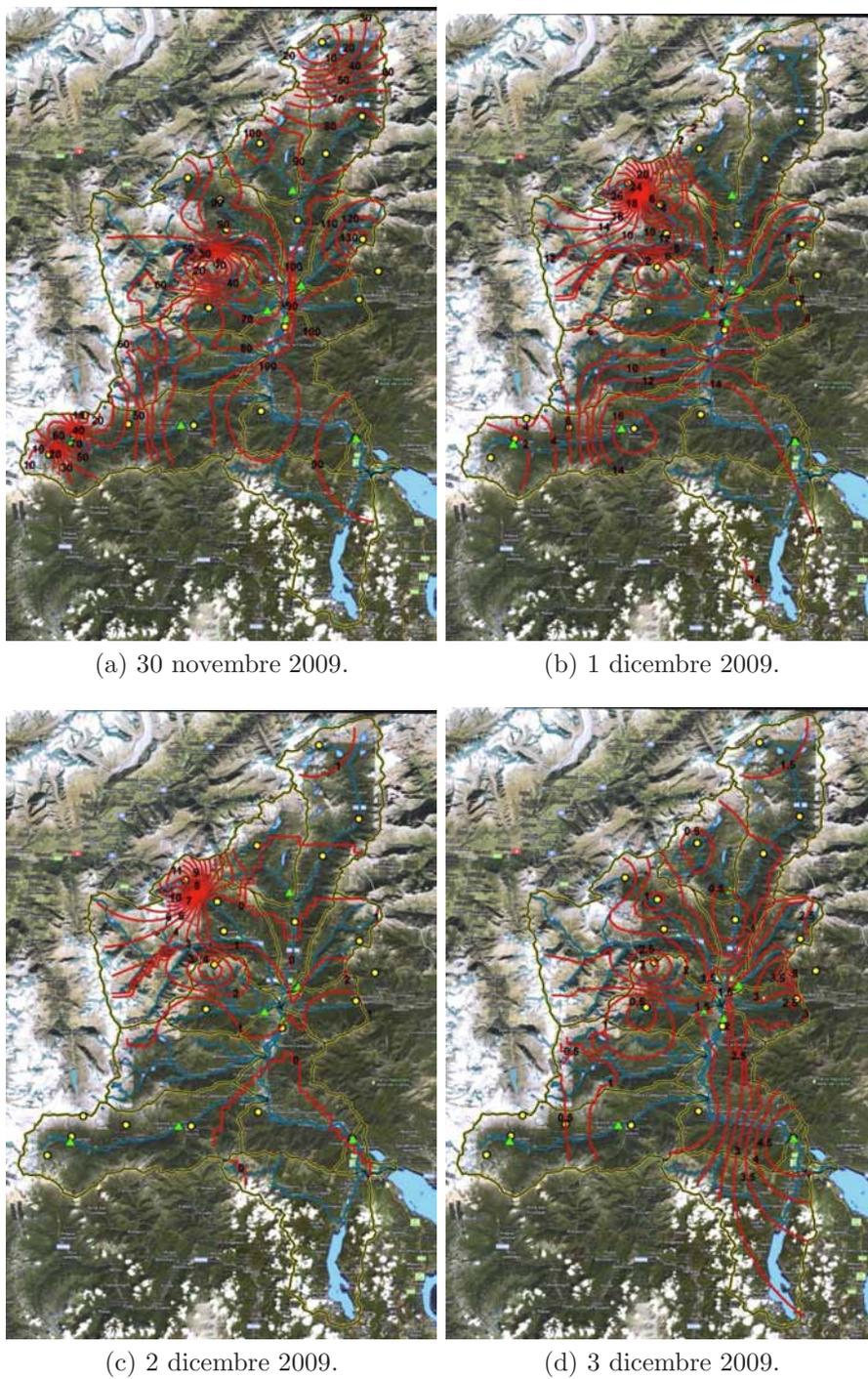


Figura 3.80: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 30 novembre - 3 dicembre 2009.

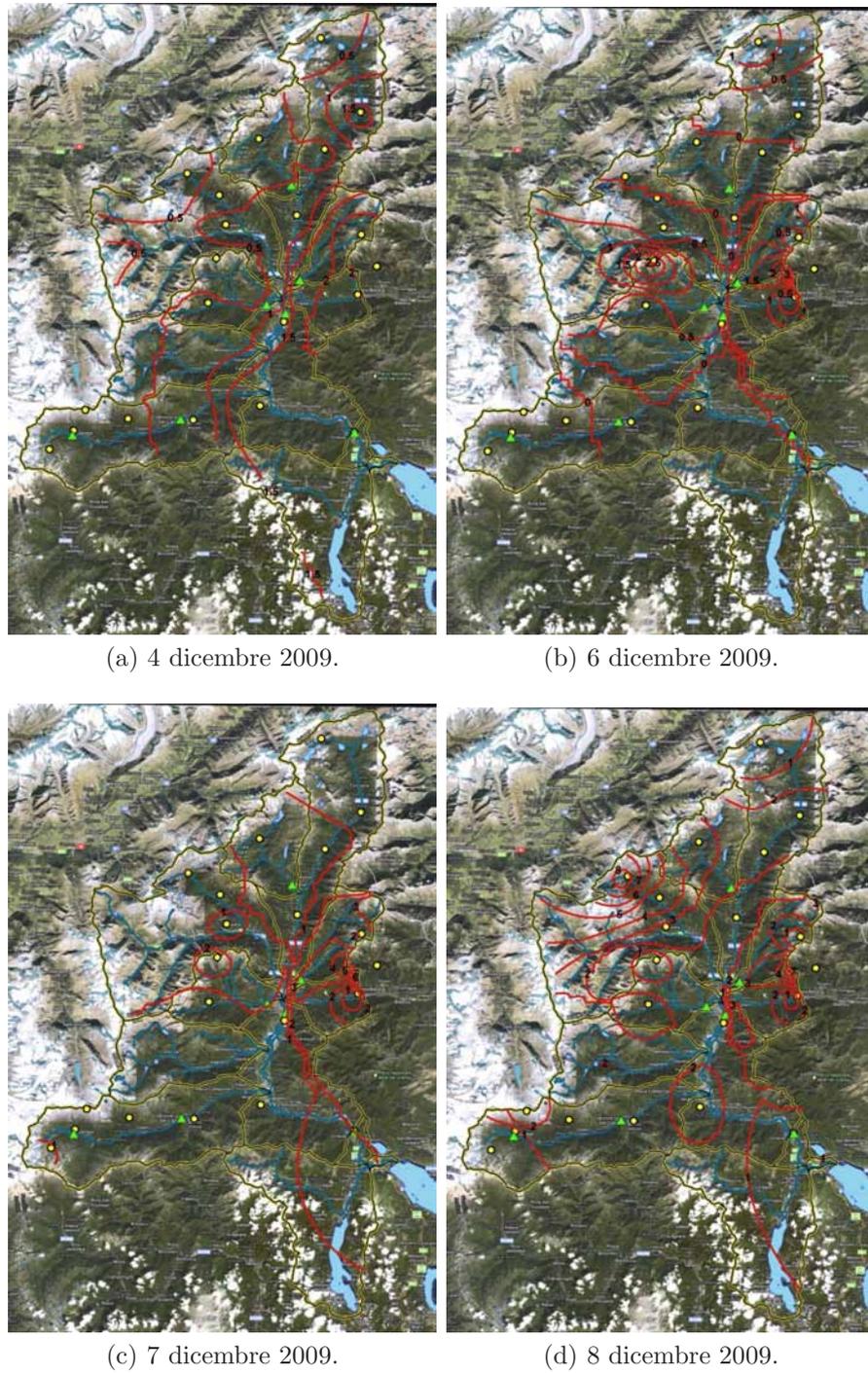


Figura 3.81: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 4-8 dicembre 2009. Il giorno 5 dicembre presenta valori di precipitazione inferiori ad 1 mm

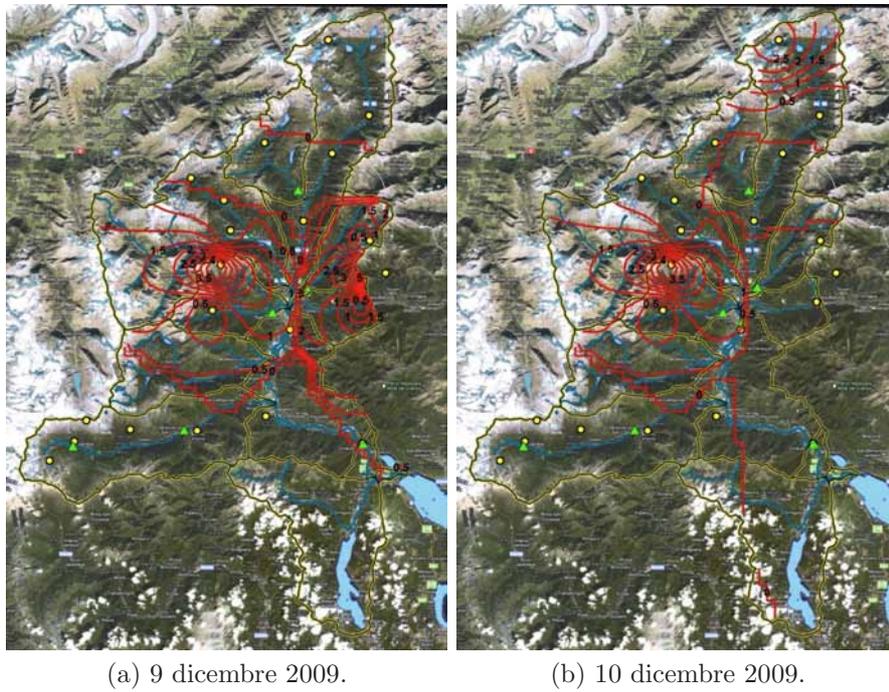


Figura 3.82: Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 9-10 dicembre 2009.

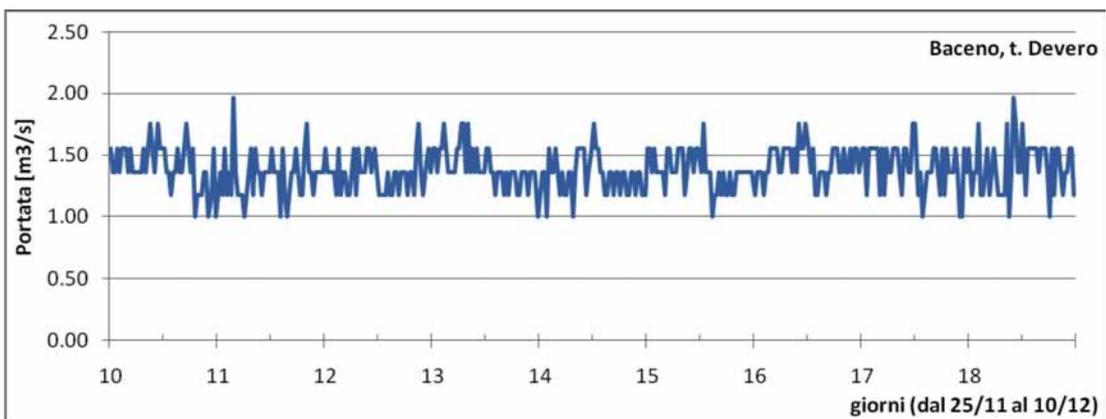


Figura 3.83: Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.

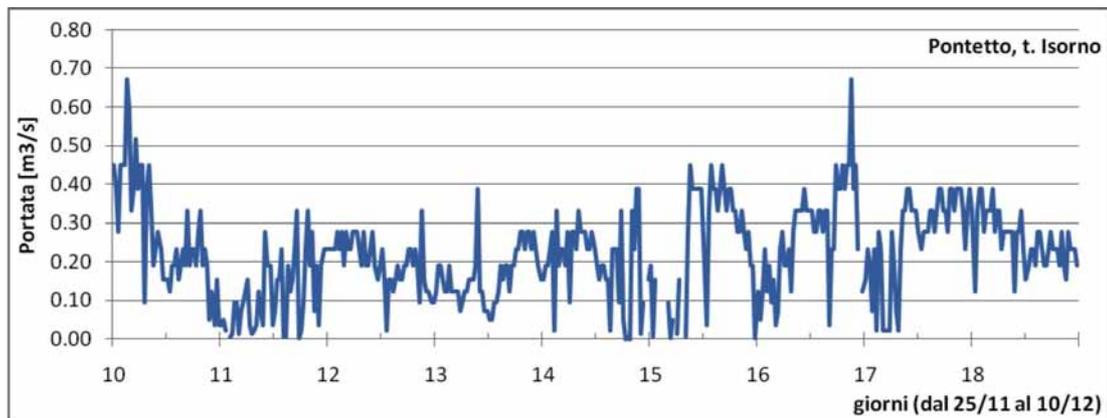


Figura 3.84: Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.

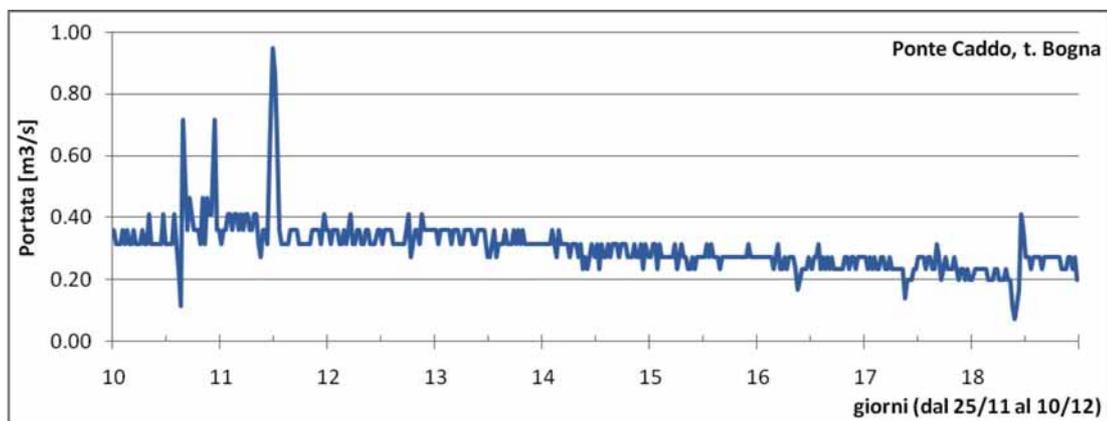


Figura 3.85: Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.

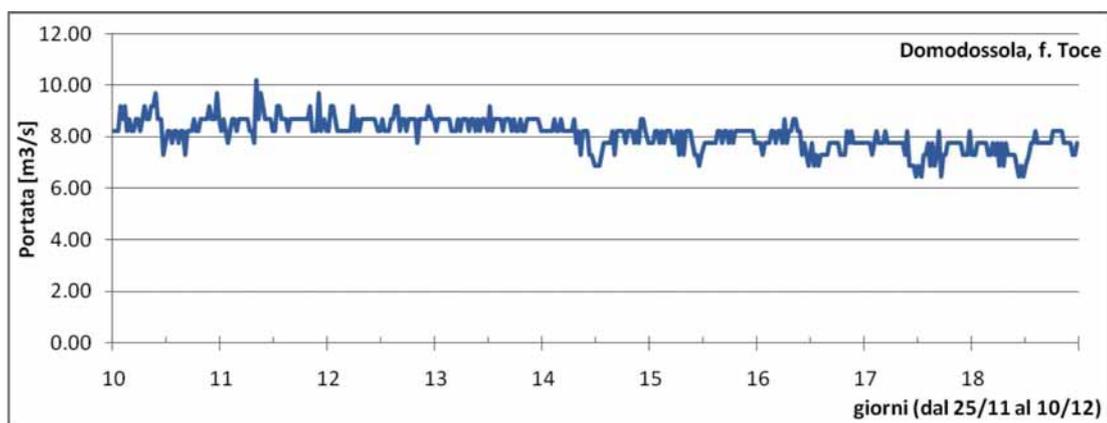


Figura 3.86: Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.

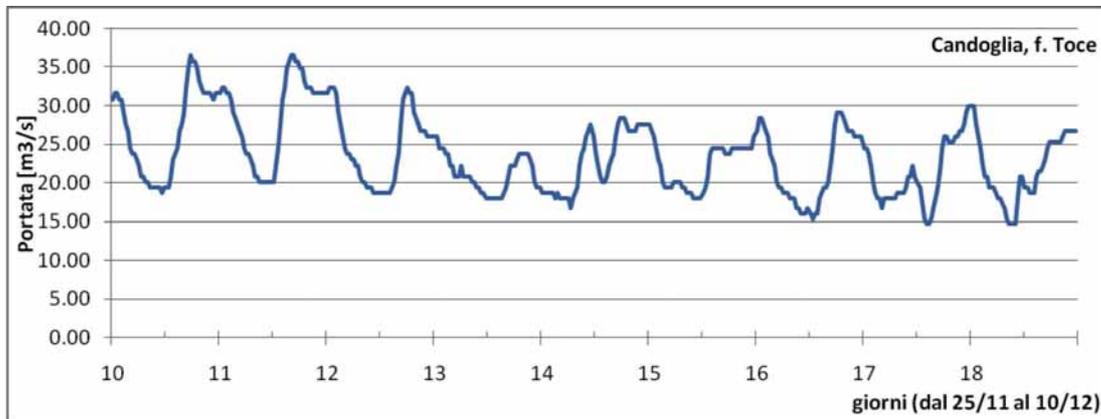
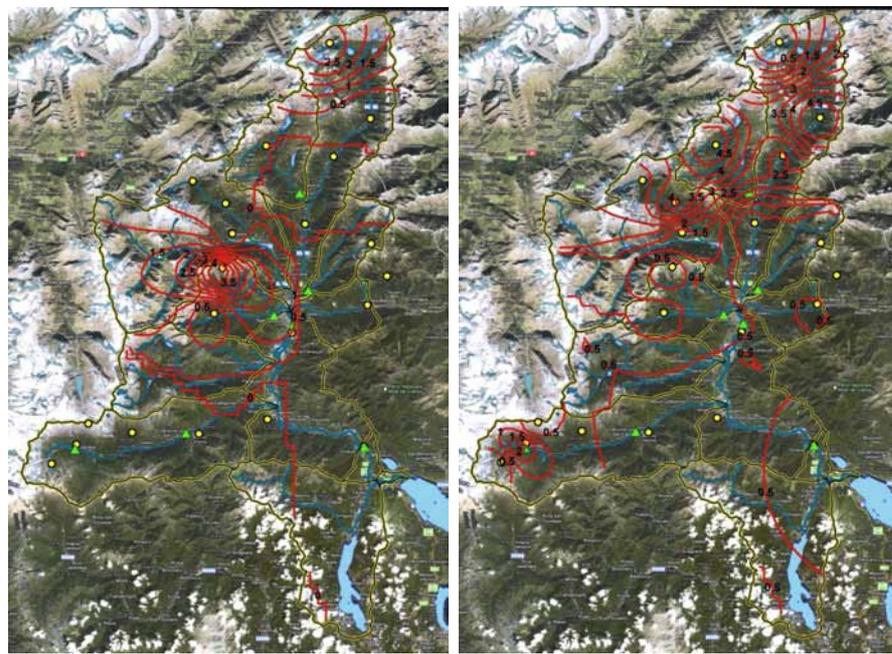


Figura 3.87: Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.

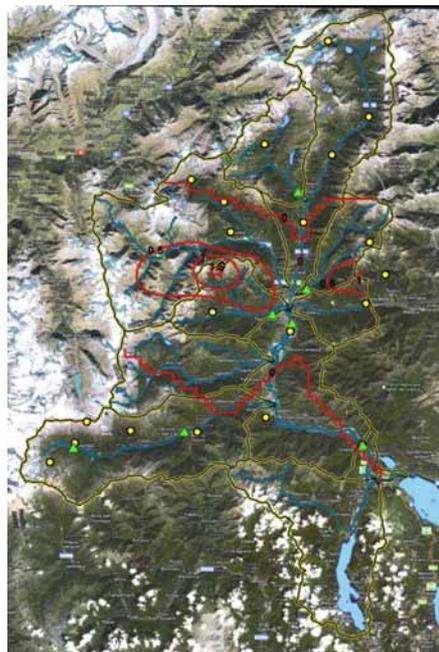
Tabella 3.7: Valori di portata per il fiume Toce nella sezione di Candoglia.

Periodo		Portata media m ³ /s	Portata massima m ³ /s
P1			615.7
P2			787
P3			547.5
C1	10-20 gennaio 2009	36.15	49.14
C2	19-31 agosto 2009	48.69	65.42
C3	9-20 ottobre 2009	32.22	47.46
C4	20-30 ottobre 2009	34.77	50.32
C5	6-16 novembre 2009	21.24	36.61
C6	25 novembre - 10 dicembre 2009	29.11	105.51
C7	10-18 dicembre 2009	23.46	36.61



(a) 10 dicembre 2009.

(b) 13 dicembre 2009.



(c) 14 dicembre 2009.

Figura 3.88: Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo dal 10 al 18 dicembre 2009. Nei giorni 11-12 e dal 15 al 18 dicembre le precipitazioni non hanno raggiunto valori significativi (< 1 mm).

Tabella 3.8: Precipitazione cumulata giornaliera, **valori minimi** registrati per ogni sotto-bacino durante gli eventi considerati.

Precipitazione giornaliera [mm] - valori minimi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
Area										
Bacino [km ²]	267.43	110.33	320.84	72.44	91.63	55.95	147.97	257.38	205.01	-
P1: mag '08										
28-mag	13	15	19	8	21	6	14	7	7	8
29-mag	36	41	51	39	73	40	73	60	23	60
30-mag	8	11	10	9	16	11	18	16	12	23
31-mag	1	2	2	0	2	0	1	0	0	0
P2: nov '08										
3-nov	36	41	18	45	3	40	23	5	36	55
4-nov	57	51	29	64	3	63	53	4	60	90
5-nov	64	77	36	80	4	70	28	1	65	80
6-nov	16	14	4	26	2	18	2	0	8	10
7-nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P3: apr '09										
26-apr	17	20	9	25	2	19	10	5	18	32
27-apr	88	111	49	121	3	96	27	4	40	140
28-apr	37	39	19	21	3	42	20	13	36	64
29-apr	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
30-apr	0	0	0	6	0	0	2	0	0	0
C1: gen '09										
7-gen	0	0	0	0	0.2	0	2	0	2	10
8-gen	0	0	0	0	0	0	1	0	1	6
9-gen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 3.8: continua nella prossima pagina

Tabella 3.8: continua dalla pagina precedente

Precipitazione giornaliera [mm] - valori minimi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
10-gen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-gen	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
19-gen	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
C2: ago										
'09										
25-ago	11	19	13	4	17	2	14	2	0	5
26-ago	6	6	6	7	6	6	5	3	5	5
C4: ott										
'09										
21-ott	0	10	2	22	0	20	4	0	17	24
22-ott	3	10	0	19	2	15	8	2	13	14
23-ott	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24-ott	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5: nov										
'09										
6-nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-nov	0	1	1	2	0	2	1	1	2	4
8-nov	0	0	1	4	0	4	2	1	2	15
9-nov	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0
10-nov	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0
11-nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-nov	0	0.3	0.3	0	0	0	0.1	0	0	0
13-nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-nov	0	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.2	0	0	1
15-nov	1.0	1.0	1.0	1.4	0.8	1.2	0.4	0.2	0.4	1
16-nov	0	0.4	0	0	0.2	0	0	0	0	0
C6:										
nov/dic										
'09										
25-nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 3.8: continua nella prossima pagina

Tabella 3.8: *continua dalla pagina precedente*

Precipitazione giornaliera [mm] - valori minimi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
26-nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27-nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29-nov	0	21	13	33	1	26	6	0	26	45
30-nov	0	52	34	102	2	73	28	0	65	100
01-dic	0	0	2	2	0	4	4	0	4	14
02-dic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-dic	0	0	1	1	0	2	0	0	1	2
04-dic	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2
06-dic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-dic	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
08-dic	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2
09-dic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-dic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7: dic										
'09										
10-dic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-dic	0	1.5	0.5	0.2	0	0.2	0.3	0	0	0
14-dic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 3.8: *si conclude dalla pagina precedente*

Tabella 3.9: Precipitazione cumulata giornaliera, **valori medi** registrati per ogni sotto-bacino durante gli eventi considerati.

Precipitazione giornaliera [mm] - valori medi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
Area										
Bacino	267.43	110.33	320.84	72.44	91.63	55.95	147.97	257.38	205.01	-
[km^2]										
P1: mag '08										
28-mag	28	21	29	14	26	8	19	15	10	8
29-mag	65	64	90	45	92	44	98	114	52	60
30-mag	16	14	17	12	19	12	20	19	20	23
31-mag	2	4	5	1	4	0	2	1	0	0
P2: nov '08										
3-nov	45	43	39	51	31	57	37	31	58	55
4-nov	63	57	60	73	52	86	75	76	84	90
5-nov	78	83	77	90	58	98	67	55	90	80
6-nov	23	24	9	29	7	29	7	6	13	10
7-nov	0	0	3	1	2	1	2	2	1	1
P3: apr '09										
26-apr	20	22	17	31	15	29	19	19	30	32
27-apr	110	116	104	137	88	129	95	91	110	140
28-apr	51	48	33	39	34	53	40	40	53	64
29-apr	1	0	2	20	0	5	2	2	0	0
30-apr	1	1	12	15	13	4	10	9	1	0
C1: gen '09										
07-gen	0	0	0	0	1	1	2	4	4	10
08-gen	0	0	1	0	1	0	2	2	3	6
09-gen	0	0	1	0	2	1	2	2	0	0

Tabella 3.9: continua nella prossima pagina

Tabella 3.9: *continua dalla pagina precedente*

Precipitazione giornaliera [mm] - valori medi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
10-gen	0	0	1	0	2	0	1	1	0	0
18-gen	2	5	5	1	1	0	1	2	0	0
19-gen	1	2	2	1	0	1	1	1	1	3
C2: ago '09										
25-ago	36	29	30	16	50	4	39	19	5	5
26-ago	7	7	7	9	7	11	7	7	10	5
C4: ott '09										
21-ott	15	18	13	25	13	25	15	12	22	24
22-ott	13	14	10	23	10	19	13	10	15	14
23-ott	0	0	1	0	1	0	3	5	0	0
24-ott	4	1	5	0	8	0	1	0	3	0
C5: nov '09										
6-nov	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0	0
7-nov	2	2	1	3	1	3	2	2	2	4
8-nov	2	1	1	7	1	9	6	8	11	15
9-nov	0.1	0	0.3	1.4	0.5	1.9	0.4	0.5	0.5	0
10-nov	0.1	0	0.3	1.4	0.5	1.9	0.4	0.5	0.5	0
11-nov	1.3	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0	0
12-nov	2.2	1.5	1.7	0	0.5	0	0.3	1.4	0	0
13-nov	1.9	0.3	0	0	0	0	0.1	0.5	0	0
14-nov	0.9	1.5	2.5	1.5	1.3	1.3	0.6	0.7	0.3	1
15-nov	1.5	1.1	1.5	1.8	1.7	1.5	0.9	1.0	0.7	1
16-nov	2.0	1.8	1.6	0.1	1.7	0.1	0.5	0.3	0.2	0
C6: nov/dic '09										
25-nov	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0

Tabella 3.9: *continua nella prossima pagina*

Tabella 3.9: continua dalla pagina precedente

Precipitazione giornaliera [mm] - valori medi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
26-nov	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
27-nov	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
29-nov	24	36	27	40	24	33	27	19	39	45
30-nov	66	91	68	113	58	96	70	61	94	100
1-dic	1	1	10	6	4	7	8	9	12	14
2-dic	0	0	4	1	2	1	1	0	0	0
3-dic	1	1	2	2	2	3	1	1	2	2
4-dic	1	0	0	2	0	2	1	1	2	2
6-dic	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
7-dic	1	1	1	3	1	2	1	0	1	1
8-dic	2	3	4	2	2	3	2	1	2	2
9-dic	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0
10-dic	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0
C7: dic										
'09										
10-dic	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0
13-dic	2.1	3.6	1.9	0.4	0.8	0.4	0.6	0.5	0.4	0
14-dic	0	0	0.3	0.3	0.6	0.4	0.1	0	0.1	0

Tabella 3.9: si conclude dalla pagina precedente

Tabella 3.10: Precipitazione cumulata giornaliera, **valori massimi** registrati per ogni sotto-bacino durante gli eventi considerati.

Precipitazione giornaliera [mm] - valori massimi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
Area										
Bacino [km ²]	267.43	110.33	320.84	72.44	91.63	55.95	147.97	257.38	205.01	-
P1: mag '08										
28-mag	35	30	48	23	34	18	25	22	23	8
29-mag	77	81	112	56	101	65	129	178	88	60
30-mag	19	17	20	15	20	14	21	23	23	23
31-mag	4	5	6	1	7	2	4	3	4	0
P2: nov '08										
3-nov	50	46	57	57	47	61	46	57	71	55
4-nov	76	66	80	84	83	95	95	110	94	90
5-nov	90	92	107	102	89	108	84	86	104	80
6-nov	27	27	21	33	14	35	12	11	27	10
7-nov	2	3	10	1	5	2	5	7	2	1
P3: apr '09										
26-apr	29	23	22	36	23	35	27	33	34	32
27-apr	130	128	132	151	142	146	133	145	148	140
28-apr	58	52	50	50	53	56	55	65	67	64
29-apr	10	2	7	40	1	12	5	7	7	0
30-apr	11	6	26	31	34	8	28	41	10	0
C1: gen '09										
7-gen	0	0	0	0	2	2	4	9	9	10
8-gen	1	1	2	1	2	2	4	5	6	6
9-gen	1	0	4	2	7	4	7	10	0	0

Tabella 3.10: continua nella prossima pagina

Tabella 3.10: continua dalla pagina precedente

Precipitazione giornaliera [mm] - valori massimi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
10-gen	1	0	4	2	7	4	4	5	0	0
18-gen	6	8	11	2	2	1	2	2	2	0
19-gen	3	3	3	1	1	2	2	4	3	3
C2: ago '09										
25-ago	43	36	60	30	83	13	75	27	29	5
26-ago	8	8	10	11	8	14	12	15	22	5
C4: ott '09										
21-ott	23	21	23	27	23	27	23	25	25	24
22-ott	20	17	20	10	14	8	7	14	5	14
23-ott	1	0	4	0	5	0	10	17	0	0
24-ott	14	7	16	0	25	2	6	5	2	0
C5: nov '09										
6-nov	0	0	0	0	0	0	0.4	3.2	0.2	0
7-nov	3	2	2	4	2	4	3	4	9	4
8-nov	7	3	3	10	3	10	11	15	15	15
9-nov	2.0	0.1	0.9	3.2	1.4	6.4	1.1	1.6	2.2	0
10-nov	2.0	0.1	0.9	3.2	1.4	6.4	1.1	1.6	2.2	0
11-nov	5.2	2.2	0	0	0	0	0.2	1.6	0	0
12-nov	8.2	3.8	4.6	0	1.2	0.3	1.6	8.8	0.4	0
13-nov	7.4	3.2	0.2	0	0	0	0.5	3.4	0	0
14-nov	2.4	3.1	4.0	2.0	2.2	2.6	1.3	4.4	1.4	1
15-nov	2.2	1.5	2.4	2.0	3.2	2.1	1.3	5.0	1.7	1
16-nov	5.6	3.2	2.9	0.3	4.3	1.0	1.2	2.2	1.3	0
C6: nov/dic '09										
25-nov	2	1	1	0	2	0	2	0	1	0

Tabella 3.10: continua nella prossima pagina

Tabella 3.10: continua dalla pagina precedente

Precipitazione giornaliera [mm] - valori massimi										
	Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
26-nov	1	0	1	0	2	1	1	0	1	0
27-nov	1	0	2	0	3	1	1	0	1	0
29-nov	37	42	37	53	40	35	37	45	46	45
30-nov	104	102	96	136	89	102	91	108	110	100
1-dic	6	9	29	9	6	9	13	17	15	14
2-dic	1	3	13	1	5	3	1	1	1	0
3-dic	3	1	3	3	3	5	1	1	5	2
4-dic	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2
6-dic	1	1	2	2	3	4	1	0	1	0
7-dic	3	1	2	5	3	8	1	1	3	1
8-dic	3	5	8	4	2	7	2	3	3	2
9-dic	2	0	3	3	5	6	1	0	2	0
10-dic	3	1	3	0	5	1	1	0	1	0
C7: dic										
'09										
10-dic	3	1	3	0	5	1	1	0	1	0
13-dic	5.0	4.8	4.2	1.6	1.2	0.6	1.1	2.1	0.8	0
14-dic	0.4	0	1.0	0.7	1.6	1.3	0.4	0.1	0.5	0

Tabella 3.10: si conclude dalla pagina precedente

Capitolo 4

Analisi delle condizioni di incipiente mobilizzazione dei sedimenti

4.1 Analisi preliminari sul trasporto solido

La prima fase dello studio sul trasporto solido ha riguardato la ricerca delle condizioni in grado di innescare un significativo trasporto dei sedimenti fluviali e quindi del DDT legato alla frazione più fine dei sedimenti stessi. Data la disponibilità di numerosi dati idrologici relativi alla stazione di rilevamento idrometrico della Regione Piemonte posta in corrispondenza della sezione di Candoglia, l'analisi del trasporto solido si è inizialmente concentrata su questa sezione. In particolare, l'obiettivo è stato quello di individuare il legame esistente tra il livello idrico del Toce misurato nella stazione e la corrispondente capacità di trasporto dei sedimenti più fini.

Un dato essenziale per poter valutare il trasporto solido da parte del corso d'acqua è la pendenza dell'alveo nella sezione considerata. La pendenza è stata determinata utilizzando i dati batimetrici delle cinque sezioni indicate nella Figura 4.1. I profili batimetrici di tali sezioni, - forniti dall'ARPA - si riferiscono a rilievi fatti da Hydrodata nel 2000 e nel 2002. Grazie ad essi sono state calcolate le quote medie di ciascuna sezione nei diversi anni di misura ed è stato quindi possibile calcolare due valori di pendenza (S_f) del fondo:

- $S_f = 1.8 \cdot 10^{-3}$ (anno 2000);
- $S_f = 5.7 \cdot 10^{-3}$ (anno 2002);

Il confronto tra i due valori rivela che al momento della misura del 2000 la pendenza era doppia rispetto al 2002; questa variazione è un chiaro esempio del

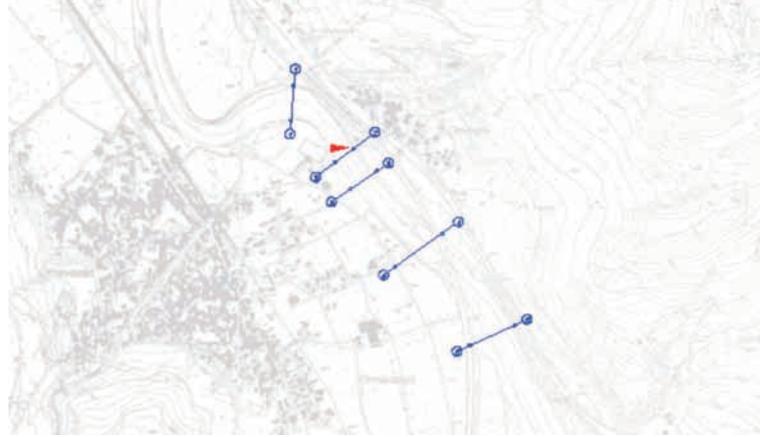


Figura 4.1: Posizione dei rilievi batimetrici utilizzati per il calcolo della pendenza. La freccia rossa indica la posizione della stazione idrometrica.

carattere dinamico e non stazionario dell'alveo Toce nel tratto in esame, che è stato ulteriormente confermato dalle analisi successive.

La seconda informazione necessaria per valutare il trasporto solido è la dimensione dei sedimenti fluviali. Dietro proposta del DITIC, la Regione Piemonte ha predisposto il prelievo di una serie di campioni di sedimenti d'alveo nel tratto antistante la sezione di misura, in corrispondenza dei nove punti indicati nella Figura 4.2. L'analisi granulometrica di questi campioni ha evidenziato che nel tratto di Candoglia i sedimenti del Toce sono in prevalenza di natura sabbiosa, con diametri generalmente inferiori al millimetro; in particolare, il diametro mediano (D_{50}) dei sedimenti è risultato essere compreso tra 0.3 e 0.6 mm. Questi dati hanno permesso di determinare le condizioni di incipiente trasporto di sedimenti. Per il trasporto solido di fondo, si è calcolato il valore della tensione tangenziale critica adimensionalizzata, τ_c^f (comunemente nota come tensione di Shields), tramite un'opportuna relazione riportata in letteratura da Brownlie nel 1981 [5],

$$\tau_c^f = 0.22Re_p^{-0.6} + 0.06 \cdot 10^{-7.7Re_p^{-0.6}} \quad (4.1)$$

con

$$Re_p = \frac{\sqrt{RgD_{50}}D_{50}}{\nu} \quad (4.2)$$

dove g è l'accelerazione di gravità, ν è la viscosità cinematica dell'acqua ed $R = (\rho_s/\rho) - 1$, con ρ e ρ_s rispettivamente pari alla densità dell'acqua e del sedimento. In tal modo, tramite la definizione di tensione critica di Shields, ed assumendo una sezione rettangolare larga, si è ottenuto il valore del tirante d'acqua corrispondente alle condizioni di incipiente mobilizzazione del fondo, ovvero $H_c^f = \tau_c^f RD_{50}/S_f$.

Per ciò che concerne la determinazione dei requisiti minimi di trasporto di materiale solido sospeso, si è adottato il criterio di Bagnold il quale pone la

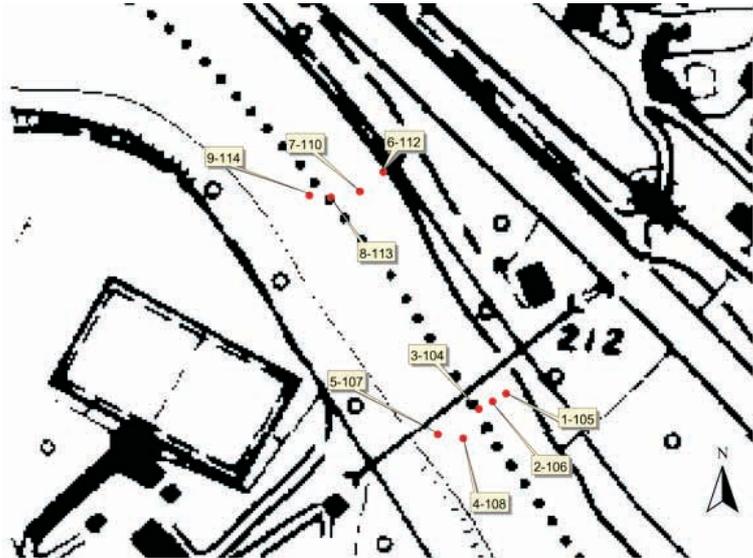


Figura 4.2: Posizione dei prelievi di sedimenti fluviali per le analisi granulometriche.

velocità di attrito pari alla velocità di sedimentazione del grano in acqua ferma. In tal modo il valore delle tensione critica di Shields, τ_c^s , associato alla condizione di incipiente sospensione del materiale di fondo, è valutabile dalla relazione

$$\tau_c^s = \mathbf{R}_f^2(Re_p) \quad (4.3)$$

dove \mathbf{R}_f è una funzione di Re_p , come proposta da Dietrich, e consultabile sul e-book di Gary Parker [14]. Analogamente a quanto fatto nel caso di incipiente mobilizzazione del fondo, è possibile infine valutare il tirante d'acqua, H_c^s , associato alla condizione di incipiente trasporto solido sospeso. Il risultato di tali analisi è riportato nelle Tabelle 4.1 e 4.2, dove si è tenuto conto di entrambi i valori calcolati di pendenza media del fondo.

Dalle Tabelle 4.1 e 4.2 si evince che i valori del tirante d'acqua che mobilizzano il sedimento sono sempre inferiori a 10 cm per il trasporto solido di fondo e quasi sempre inferiori al metro per il trasporto solido sospeso, altezze d'acqua che normalmente si verificano nel fiume Toce per il tratto in esame (si veda Capitolo 3). Combinando questo risultato con la curva di durata delle portate, dedotta dall'analisi idrologica, e la scala di deflusso, stimata dai dati relativi ai livelli ($Q = -29.1 + 82.1 \cdot H + 17.2 \cdot H^2$, dove Q è la portata in m^3/s ed H il livello in metri), si può ottenere una curva di durata dei sedimenti mobilizzati. La presente analisi è stata effettuata focalizzandosi sulla stagione autunnale e primaverile, ovvero le stagioni più attive dal punto di vista idrologico. Il risultato è riportato nei grafici di Figura 4.3, per il caso del trasporto solido di fondo.

E' evidente quindi che il regime idrologico sia tale da presentare sempre una condizione idraulicamente favorevole al trasporto solido del sedimento di fondo.

Tabella 4.1: Valutazione delle condizioni critiche per il trasporto solido. $S_f = 1.8 \cdot 10^{-3}$ (anno 2000)

Punti	D_{50} (mm)	τ_c^f	τ_c^s	H_c^f (m)	H_c^s (m)
1-105	0.58	0.032	0.818	0.017	0.435
2-106	0.54	0.032	0.748	0.016	0.370
3-104	0.3	0.039	0.313	0.011	0.086
4-108	0.28	0.041	0.279	0.010	0.072
5-107	0.38	0.035	0.456	0.012	0.159
6-112	0.46	0.033	0.603	0.014	0.254
7-110	0.36	0.035	0.420	0.012	0.138
8-113	0.44	0.033	0.566	0.013	0.228

Tabella 4.2: Valutazione delle condizioni critiche per il trasporto solido. $S_f = 5.7 \cdot 10^{-4}$ (anno 2002)

Punti	D_{50} (mm)	τ_c^f	τ_c^s	H_c^f (m)	H_c^s (m)
1-105	0.58	0.032	0.818	0.053	1.383
2-106	0.54	0.032	0.748	0.050	1.175
3-104	0.3	0.039	0.313	0.033	0.273
4-108	0.28	0.041	0.279	0.033	0.227
5-107	0.38	0.035	0.456	0.038	0.504
6-112	0.46	0.033	0.603	0.043	0.807
7-110	0.36	0.035	0.420	0.037	0.440
8-113	0.44	0.033	0.566	0.042	0.725

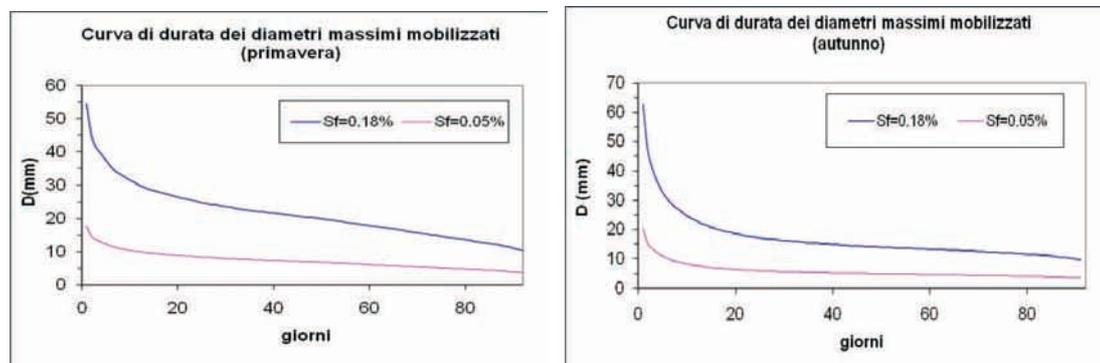


Figura 4.3: Curva di durata dei diametri massimi mobilizzabili.

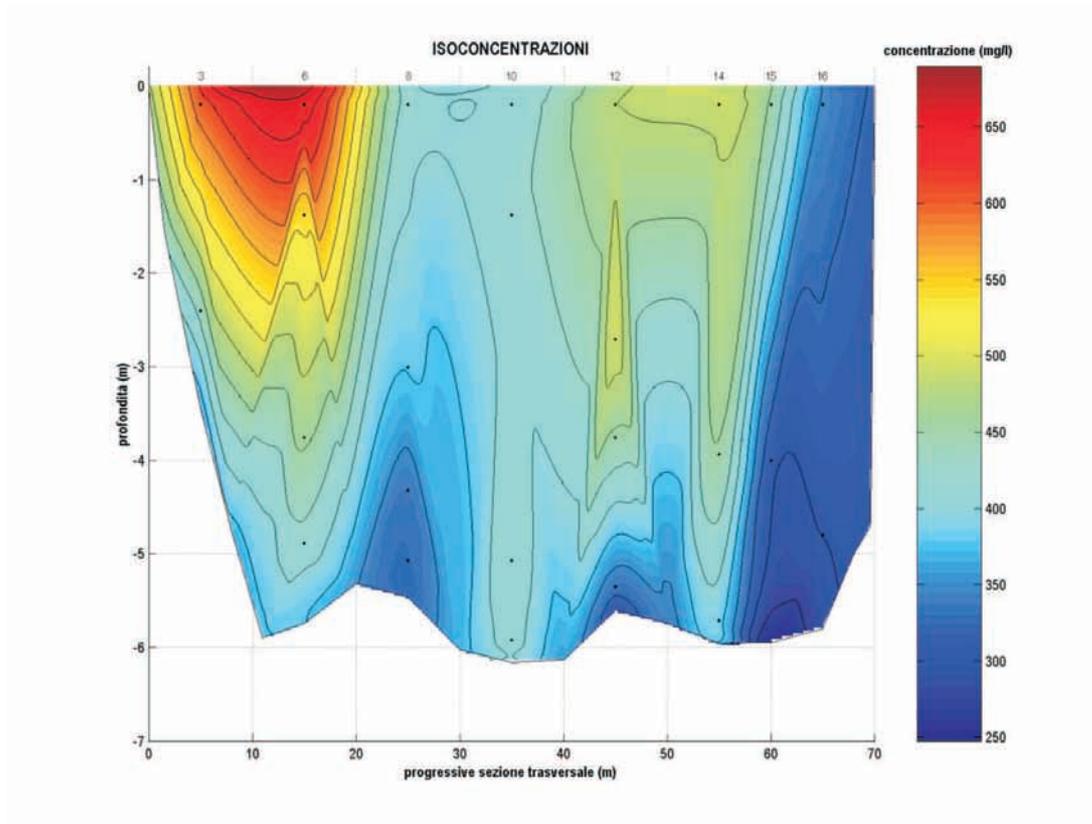


Figura 4.4: Distribuzione spaziale della concentrazione di solido sospeso nella sezione di Candoglia.

4.2 Misure del trasporto solido in sospensione

In occasione dell'evento di piena del 30 Maggio 2008, su richiesta del DITIC e in accordo con il settore ambiente della Regione Piemonte, si è incaricato lo studio Hydrodata di effettuare alcune misure del trasporto solido in alveo. I rilevamenti sono stati effettuati ed elaborati dall'ing. Tolomieri. A seguito delle elevate condizioni di portata, l'azione di trascinamento della corrente non ha consentito un adeguato utilizzo del misuratore della portata solida di fondo, quindi le misure si sono concentrate sul trasporto solido sospeso. A tal fine, sono state eseguite delle misure puntuali della velocità della corrente fluida tramite mulinello, e della concentrazione di solidi sospesi. Da questi dati è stato possibile risalire, per la sezione di Candoglia, alla mappa delle curve di iso-concentrazione, riportate in Figura 4.4, al valore della portata liquida complessiva, pari a $630 \text{ m}^3/\text{s}$, ed alla misura del trasporto solido sospeso, pari a $275 \text{ kg}/\text{s}$. La concentrazione media rilevata è stata misurata pari a $435 \text{ mg}/\text{l}$.

Osservando le distribuzioni di concentrazione riportate in figura, è evidente come i punti più vicini alla superficie libera presentino un valore di carico sospeso

generalmente superiore alle zone prossime al fondo. Tale tendenza risulta essere in disaccordo con la classica distribuzione di concentrazione che normalmente si riscontra nelle correnti fluviali, la quale prevede una concentrazione massima al fondo e minima sulla superficie libera [1]. Va osservato, tuttavia, che quest'ultima distribuzione, formalmente derivabile dalla teoria di Rouse, si manifesta qualora sia verificata una condizione di equilibrio tra l'azione gravitazionale di sedimentazione della particella e il rimescolamento di agitazione turbolenta, escludendo quindi eventuali altri fonti di sedimento solido sospeso. Il verificarsi o meno di tale condizione di equilibrio è direttamente subordinato al mantenimento di una corrente in moto uniforme, cioè senza variazioni della geometria dell'alveo o della scabrezza, nella direzione del moto. Nel caso in esame, è ragionevole affermare che l'anomalia riscontrata nella distribuzione di concentrazione del sedimento sospeso sia invece il frutto di particolari condizioni di disequilibrio della corrente liquida, ad esempio per una non uniformità del moto, oppure della presenza di eventuali altre fonti di solido sospeso differenti dal fondo alveo. A questo riguardo, è bene osservare che in condizioni di elevate portate, il materiale fine presente sulle sponde, di tipo argilloso-limoso, potrebbe essere sottoposto a mobilizzazione e causare quindi una immissione lateralmente distribuita di materiale nella corrente liquida. Essendo la mobilizzazione proporzionale all'intensità della corrente, essa è maggiormente applicata nella zona superiore del perimetro bagnato, fatto che giustificherebbe un incremento di concentrazione vicino alla superficie libera. Secondo questo ipotetico schema, il solido sospeso rilevato a quote elevate della colonna liquida è associato al materiale spondale, mentre quello rilevato a quote inferiori è associato al materiale presente sul fondo. Il quadro idraulico appena tratteggiato è verosimile che abbia anche importanti ripercussioni chimiche. Infatti il materiale fine che si trova sulle sponde potrebbe essere proprio uno dei 'serbatoi' di DDT che si attivano durante le piene, durante le quali il livello del fiume giunge sino alle zone golenali e riparie.

4.3 Analisi del trasporto solido nelle sezioni a monte di Candoglia

I risultati delle analisi descritti nel paragrafo 4.1 hanno mostrato che il materiale sabbioso del quale sono composti i sedimenti nella tratto di Candoglia è continuamente soggetto al trasporto da parte della corrente, anche in presenza di portate di modesta entità. Si ritiene che in questo tratto del Toce l'asportazione dall'alveo del materiale sabbioso venga periodicamente compensata dalla sedimentazione del materiale proveniente da monte durante la fase di esaurimento degli eventi di piena. Tale meccanismo è compatibile con i dati ottenuti dalle misure di trasporto solido descritte precedentemente. Dalle considerazioni fin qui esposte risulta chiaro che, ai fini dello studio del trasporto solido, la sezione

di Candoglia non è rappresentativa di quanto avviene nel tratto di monte dell'asta fluviale, caratterizzato da diverse caratteristiche idrauliche e granulometriche. È stato pertanto necessario acquisire maggiori informazioni riguardo al tratto a monte di Candoglia, così da poter comprendere a fondo la dinamica di trasporto dei sedimenti fini e del DDT ad essi associato. A questo scopo è stato eseguito, in data 11/7/2008, un sopralluogo volto a definire una serie di punti in cui effettuare dei prelievi di sedimento; l'analisi dei campioni sedimentologici è stata successivamente condotta da Hydrodata. Le coordinate UTM dei punti individuati sono riportate nella Tabella 4.3.

Tabella 4.3: Coordinate nel sistema UTM dei punti scelti per i prelievi granulometrici lungo l'asta del Toce.

P01	32	T	455365	5091659
P02	32	T	454750	5091680
P03	32	T	454501	5092388
P04	32	T	453333	5093414
P05	32	T	452247	5092988
P06	32	T	450015	5093494
P07	32	T	448775	5093733
P08	32	T	447364	5093599
P09	32	T	445824	5094344
P10	32	T	443756	5095043

I punti coprono l'intero tratto compreso tra il centro abitato di Pieve Vergonte e la stazione idrometrica di Candoglia (per maggiore chiarezza si veda le Figure 4.5-4.7). La posizione dei punti è stata decisa in modo che i punti fossero distanziati in maniera il più possibile uniforme; si è inoltre cercato di individuare i punti maggiormente rappresentativi del corso d'acqua. Per ciascun punto si è previsto un duplice prelievo di sedimenti, raccogliendo un primo campione dall'alveo, e quindi immerso sotto la colonna liquida, ed un secondo dalle zone golenali o su barre emerse.

I risultati delle analisi granulometriche possono essere sintetizzati prendendo come riferimento i diametri relativi ai quantili del 90%, 60%, 50%, 10% derivati dalla curva granulometrica cumulata del materiale passante ai setacci, convenzionalmente rappresentati dai simboli D_{90} , D_{60} , D_{50} , D_{10} . Tali valori sono riportati nella Tabella 4.4.

Da tale tabella si può notare che tutti i campioni granulometrici, ad eccezione del P01, che appartiene alla zona della sezione di Candoglia, ed il P05, riportano una dimensione media centimetrica. Come quindi previsto, le sezioni a monte della sezione di Candoglia presentano prevalentemente un sedimento di ghiaia grossolana. Va precisato tuttavia, che su tali fondi ghiaiosi è ricorrente il fenomeno del corazzamento, ovvero la presenza di uno strato con pezzatura

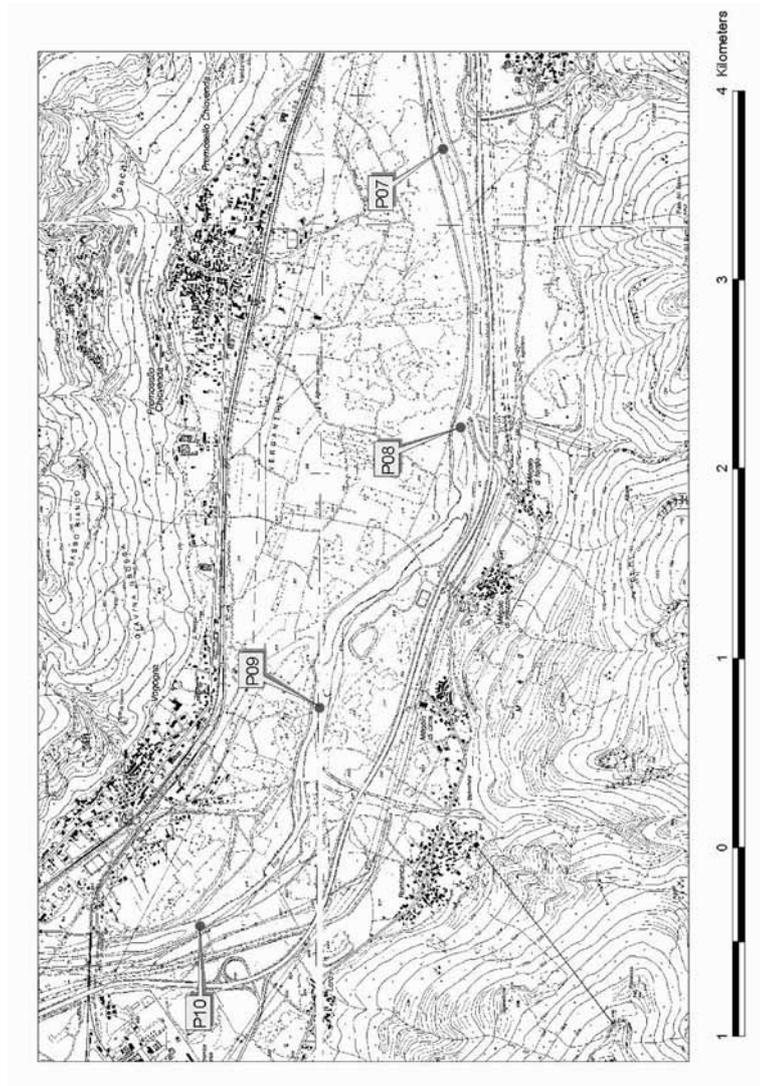


Figura 4.5: Localizzazione dei punti di prelievo dei nuovi campioni sedimentologici. Punti P09-P07.

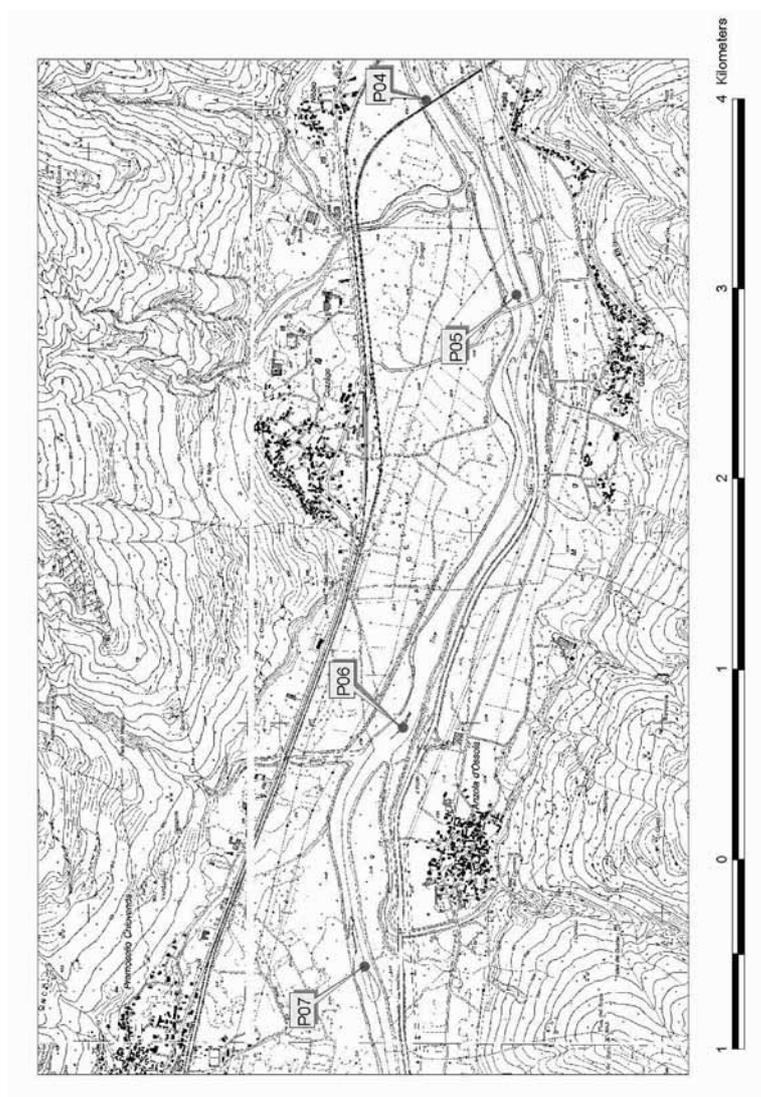


Figura 4.6: Localizzazione dei punti di prelievo dei nuovi campioni sedimentologici. Punti P07-P05.

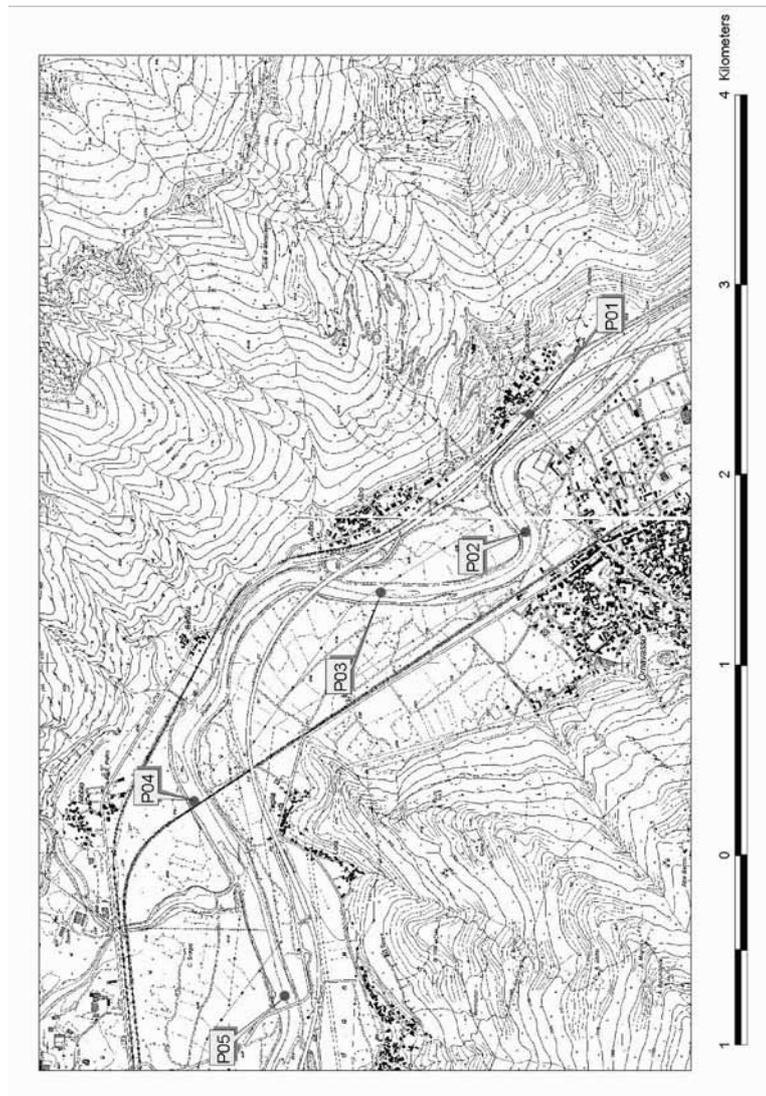


Figura 4.7: Localizzazione dei punti di prelievo dei nuovi campioni sedimentologici. Punti P05-P01.

Tabella 4.4: Sintesi delle analisi granulometriche nei campioni prelevati a monte della sezione di Candoglia.

Punti di prelievo	D_{90} (mm)	D_{60} (mm)	D_{50} (mm)	D_{10} (mm)
P01 immerso	1.444	0.828	0.757	0.529
P03 immerso	nd	37.227	30.704	1.670
P03 emerso	36.767	14.329	7.531	0.273
P05 immerso	nd	40.677	30.876	0.876
P05 emerso	0.469	0.308	0.268	0.153
P06 immerso	41.540	0.971	0.819	0.262
P06 emerso	43.644	16.210	11.374	0.526
P07 immerso	nd	35.023	25.517	0.515
P07 emerso	nd	37.950	27.874	0.548
P08 emerso	48.007	19.972	14.098	1.379
P09 emerso	nd	29.572	20.145	0.519
P09 immerso	nd	38.395	33.017	2.109

grossolana che protegge i sedimenti più fini sottostanti. Poiché per motivi operativi, i prelievi dei campioni sono in grado di catturare solo i primi centimetri di materiale, le curve granulometriche ottenute risentono fortemente di tale aspetto. A seguito di ciò, per poter valutare correttamente le condizioni idrauliche atte al trasporto di materiale fine in sospensione, è necessario determinare preventivamente gli sforzi al fondo, e quindi i tiranti, che sono in grado di rompere lo strato di corazzamento.

Per ognuna delle classi granulometriche riportate in Tabella 4.4 si è ripetuto il calcolo descritto nel Paragrafo 4.1 relativo alla valutazione delle condizioni di incipiente mobilitazione del materiale sospeso e del sedimento di fondo. Per semplicità, si è ritenuto ragionevole assumere un unico valore di pendenza del fondo, pari alla media dei due valori misurati da Hydrodata nel 2000 e del 2002. La pendenza media adottata è quindi pari a $1.18 \cdot 10^{-3}$. In Figura 4.8 si riporta il valore calcolato delle altezze critiche che favoriscono la sospensione delle diverse classi granulometriche, fino al limite superiore di 1 mm. È evidente che sono sufficienti pochi metri d'acqua per portare in sospensione qualsiasi grano sotto il millimetro di diametro, e meno di 1 m d'acqua per il materiale più fine di 0.6 mm.

Analogamente si è provveduto al calcolo delle altezze critiche per le condizioni di incipiente trasporto solido di fondo. Il risultato è riportato in Figura 4.9 e può essere interpretato come l'andamento delle altezze d'acqua necessarie a rompere lo strato di corazzamento in funzione della sua granulometria. È evidente che un'altezza di poco inferiore ai 3 metri d'acqua è sufficiente a mobilitare qualsiasi granulometria presente nei 10 punti di misura analizzati.

Non avendo informazioni relative alla geometria idraulica delle sezioni situate

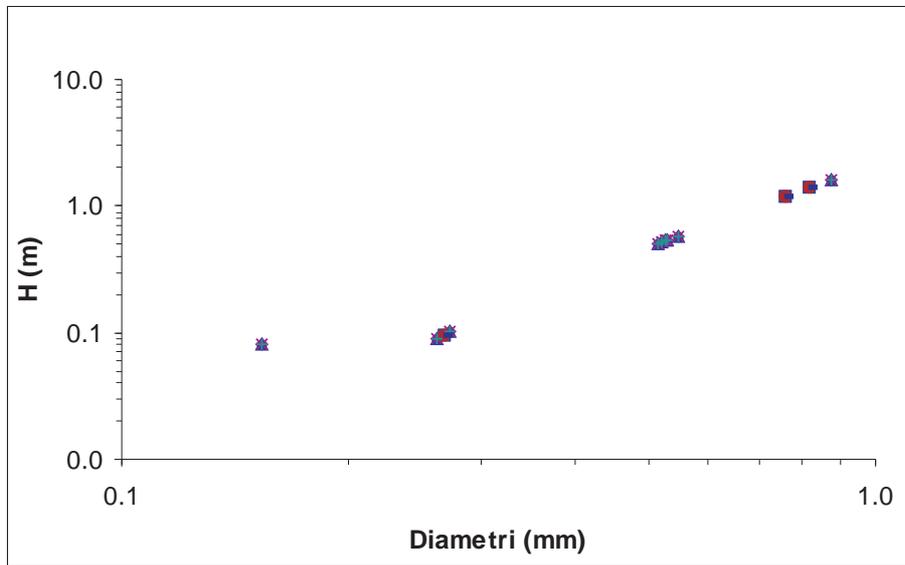


Figura 4.8: Altezze critiche per l'innescò del trasporto solido sospeso.

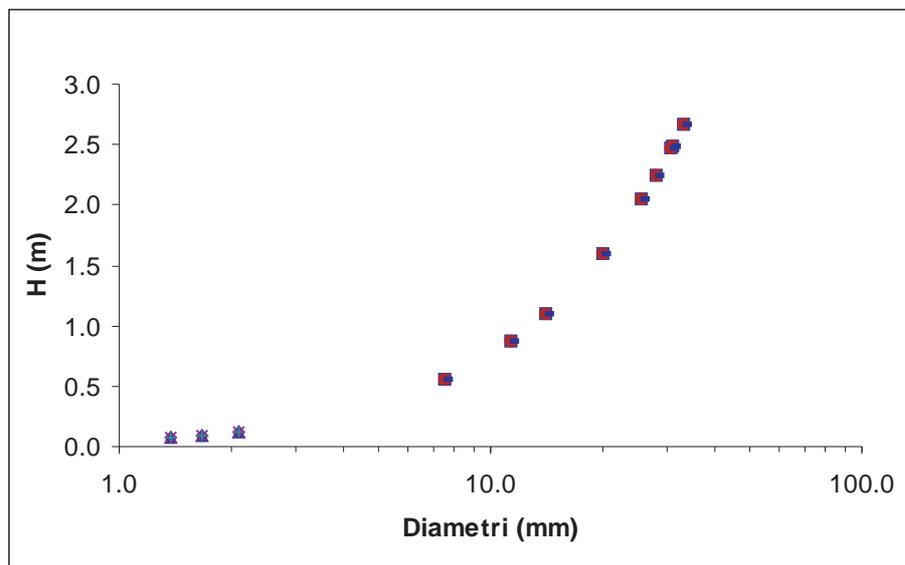


Figura 4.9: Altezze critiche per l'innescò del trasporto solido di fondo.

a monte della sezione di Candoglia o dati relativi alla corrispondente scala delle portate, non è stato possibile correlare le altezze d'acqua sopra citate con dei valori di portata. E' tuttavia ragionevole pensare che altezze d'acqua dell'ordine di 1 m siano normalmente presenti nel Toce, anche nel tratto di monte, e che valori di 2 – 3 m possano verificarsi con tempi di ritorno non superiori ai 2 – 3 anni. Ne consegue che il fiume Toce presenta delle condizioni idrauliche e morfodinamiche generalmente favorevoli al trasporto di sedimento fine in sospensione, con maggiore facilità per le granulometrie sub-millimetriche.

4.4 Valutazione della correlazione tra portata liquida e portata solida

Al fine della determinazione dei volumi di sedimento trasportati annualmente sottoforma di materiale sospeso, si sono presi in considerazione le misure della rete di monitoraggio della Regione Piemonte, e successivamente fornite dall'ARPA. Tali misure si riferiscono a misure di concentrazione di solidi sospesi nella sezione di Gravellona Toce, effettuate dal 28/01/2000 al 11/12/2007 con una cadenza circa mensile, per un totale di 91 misure. Di queste misure, solo 16 campioni presentavano un quantitativo apprezzabile di materiale sospeso. Va fatto notare che l'impossibilità di effettuare una misura di concentrazione per la gran parte del periodo considerato non va interpretato come un'assenza effettiva di solido sospeso nel fiume, ma è più probabilmente imputabile ai limiti del metodo di cattura del materiale sospeso. Il materiale più fine che, come detto nel paragrafo precedente, è quasi sempre presente nella corrente, più difficilmente rimane intrappolato nel campionatore. Alla serie di misure effettuate dalla Regione Piemonte sono stati infine aggiunti i valori relativi a misure effettuate successivamente nell'ambito del presente progetto, in occasione dei tre eventi di piena del 30/05/2008, 05/11/2008 e 28/04/2009.

I valori così ottenuti sono riportati in scala logaritmica nella Figura 4.10, dove la linea di tendenza tratteggiata riporta la curva di regressione lineare sul piano logaritmico, relativa ai soli punti misurati dalla Regione Piemonte, mentre quella in rosso ingloba i dati derivanti dalle ultime misure fatte durante le piene. Si può notare che in quest'ultimo caso il coefficiente di correlazione sia aumentato notevolmente (da 0.28 a 0.5) proprio grazie ai dati misurati per alti valori di portata, un elemento che era quasi completamente assente nelle misure ordinarie mensili.

Per concludere, per ogni misura si è infine calcolato il valore di portata solida sospesa in kg/s, effettuando il prodotto della portata liquida con le concentrazioni. Il risultato è riportato in Figura 4.11, ed è anch'esso corredato da due curve di regressione lineare calcolate inglobando o meno le misure effettuate durante le piene. Anche in questo caso si nota che l'accuratezza della curva di regressione

è aumentata. Va fatto notare che quest'ultimo dato è quello più tecnicamente rilevante al fine delle valutazioni esposte nei capitoli seguenti, e presenta un coefficiente di regressione decisamente buono ($R^2 = 0.805$).

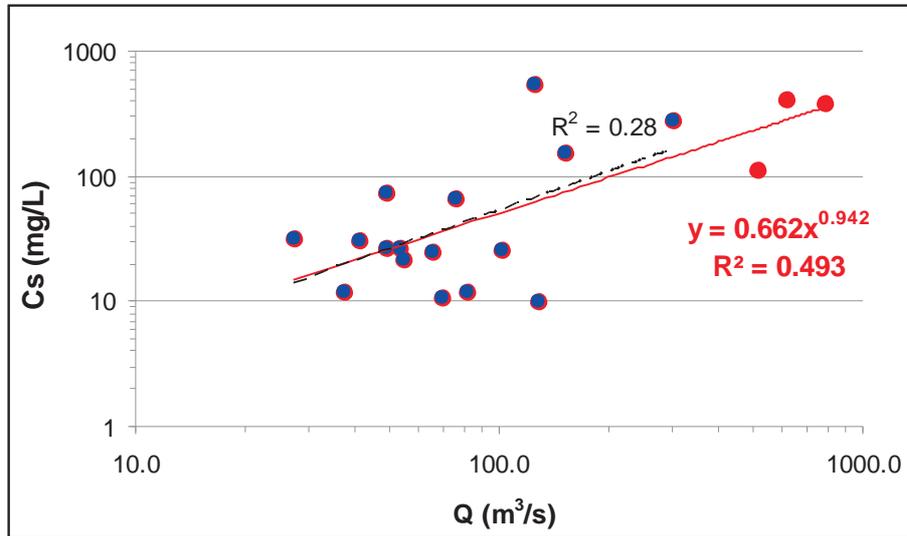


Figura 4.10: Concentrazione di solidi sospesi in funzione della portata liquida. In blu sono riportate le misure della Regione Piemonte, con curva di regressione tratteggiata in nero. I punti in rosso sono le misure dell'ARPA, la linea in rosso tiene conto di questi ultimi dati per la regressione lineare.

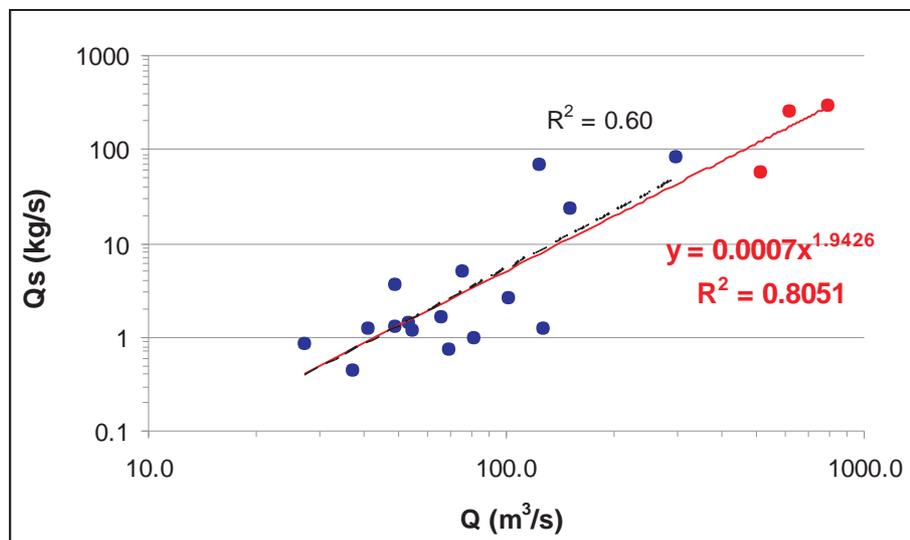


Figura 4.11: Portata in massa di materiale solido sospeso in funzione della portata liquida. In blu sono riportate le misure della Regione Piemonte, con curva di regressione tratteggiata in nero. I punti in rosso sono le misure dell'ARPA, la linea in rosso tiene conto di questi ultimi dati per la regressione lineare.

Capitolo 5

Analisi dei dati di concentrazione di DDT nei sedimenti

Le misure effettuate dai laboratori dell'ARPA Piemonte sui campioni prelevati in corrispondenza della sezione di Candoglia così come riportato nei capitoli precedenti hanno mostrato come siano presenti diverse forme di DDT in concentrazioni più o meno rilevanti. Ciò significa innanzitutto che i residui della lavorazione del sito di Pieve Vergonte presumibilmente sparsi in diversi punti e zone del bacino idrografico del Toce continuano ad essere movimentati per poi confluire in alveo ed in ultima analisi giungere al Lago Maggiore, del quale il fiume Toce è immissario.

Rimandando dunque ai precedenti capitoli per quanto riguarda l'analisi idrologica e dei meccanismi di trasporto dei sedimenti solidi e rimandando alla relazione dell'ARPA per quanto riguarda la determinazione del DDT, nel presente capitolo verranno presentate alcune analisi e conclusioni circa il legame che intercorre (ove esista) tra portate misurate in corrispondenza della sezione di Candoglia, le precipitazioni misurate sul bacino e le concentrazioni di DDT rilevate nei sedimenti campionati sempre in corrispondenza della sezione di Candoglia. Inoltre per poter giustificare alcuni comportamenti riscontrati in tali correlazioni verrà proposto un modello semplificato in grado di simulare i principali meccanismi di trasferimento di DDT ipotizzati.

5.1 Correlazioni tra portate, precipitazioni e concentrazioni di DDT

La Tabella 5.1 riporta in modo sintetico i valori delle portate medie e massime misurate a Candoglia, i valori di precipitazione media sul bacino e di concentrazione di DDT misurati nella sezione di Candoglia nelle tre modalità operative già descritte, ovvero durante gli eventi di piena (P1, P2 e P3) e durante periodi di deflusso normale (C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7). In particolare durante questi

ultimi i campionamenti venivano effettuati sia in corrispondenza della mezzeria che in prossimità della riva sinistra e tali valori in Tabella 5.1 sono contraddistinti dalle lettere *m* e *r* rispettivamente.

Tabella 5.1: Schema riassuntivo dei dati di portata, precipitazione e concentrazione di DDT misurati. (fonte ARPA Piemonte)

	Periodo	Portata media m ³ /s	Portata massima m ³ /s	Precipitazione mm	Tipo ^a	DDT ^b ng/g
C1	10-20 gen. 2009	36.15	49.14	4	m	26.16
C2	19-31 ago. 2009	48.69	65.42	34	r m	0.44 12.61
C3	9-20 ott. 2009	32.22	47.46	0	r m	1.20 11.20
C4	20-30 ott. 2009	34.77	50.32	33	r m	0.23 7.82
C5	6-16 nov. 2009	21.24	36.61	13	r m	0.82 7.24
C6	25 nov.-10 dic. 2009	29.11	105.51	119	r m	0.91 7.75
C7	10-18 dic. 2009	23.46	36.61	2	r m	0.32 12.03
P1	30 maggio 2008		615.7	118	p	0.06
P2	5 novembre 2008		787	186	p	0.46
P3	28 aprile 2009		547.5	169	p	71.4

^am = mezzeria, r = riva, p = piena.

^bSommatoria DDT isomeri e metaboliti.

La Tabella 5.2 riporta invece i valori di precipitazione media misurata durante i periodi di campionamento e riferiti ai sottobacini che concorrono a formare il bacino chiuso alla sezione di Candoglia. Sono inoltre riportati i valori di precipitazione misurati nella zona d'ubicazione del sito di Pieve Vergonte.

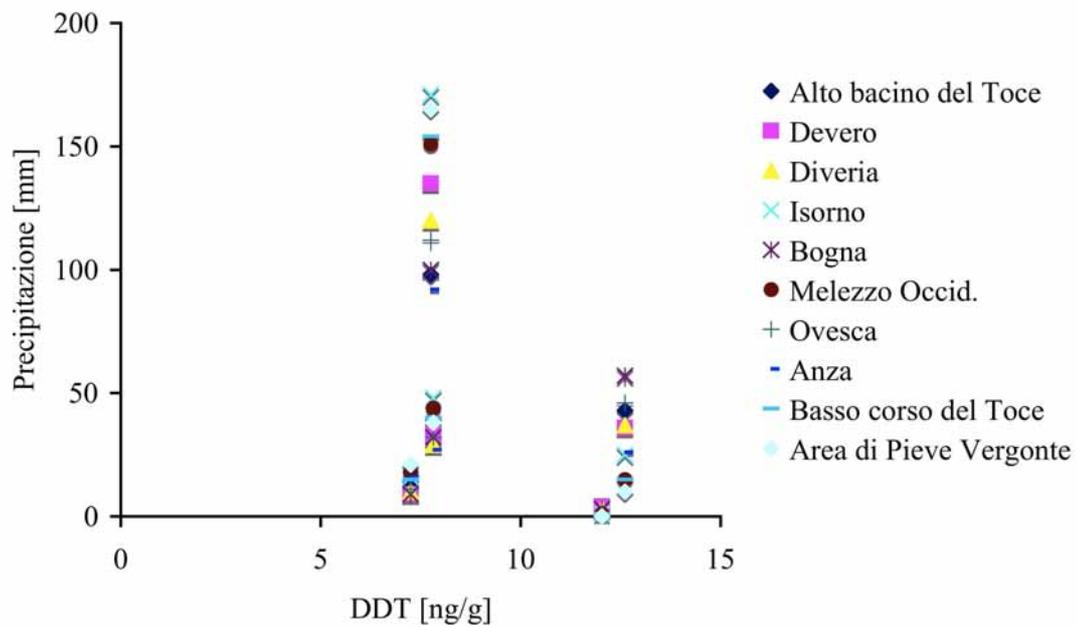
L'esame dei dati presenti nelle Tabelle, soprattutto per quanto riguarda le concentrazioni di DDT misurate, permette di giungere ad alcune conclusioni. Innanzitutto è evidente come gli ordini di grandezza delle concentrazioni misurate siano paragonabili per i tre casi analizzati, ovvero misurazioni in continuo in mezzeria e in prossimità della riva e misurazione durante eventi di piena. In altre parole non è possibile dividere i fenomeni in base alla tipologia riscontrando una chiara dipendenza negli ordini di grandezza delle concentrazioni misurate. Ciò in particolare si rifletterà nel calcolo dei flussi di DDT che in ultima analisi vengono recapitati al Lago Maggiore, in quanto appare evidente come si sia in presenza di flussi durante gli eventi di piena ma, soprattutto, anche in presenza di deflussi assolutamente normali. Tali considerazioni verranno sviluppate in particolare nei paragrafi relativi al modello di trasporto e movimentazione proposto (Capitolo 5.2). In seconda battuta si può notare come le concentrazioni misurate in corrispondenza della riva siano sempre sistematicamente maggiori di quelle misurate in mezzeria: a tale proposito, come già detto nei capitoli precedenti,

occorre sottolineare come siano da ritenersi non particolarmente significative i risultati delle misurazioni effettuate in corrispondenza della riva. Ciò è dovuto in particolare alle condizioni idrodinamiche in presenza delle quali sono stati effettuati i campionamenti: è evidente infatti che le altezze d'acqua e le conseguenti velocità estremamente limitate, nonchè la presenza della curva subito a monte, favoriscono l'accumularsi di sedimenti e conseguentemente un aumento delle concentrazioni fittizio. Stante queste considerazioni nelle figure successive verranno riportati anche i dati relativi ai campionamenti in corrispondenza della riva ma tali dati dovranno essere presi in considerazione solamente da un punto di vista qualitativo.

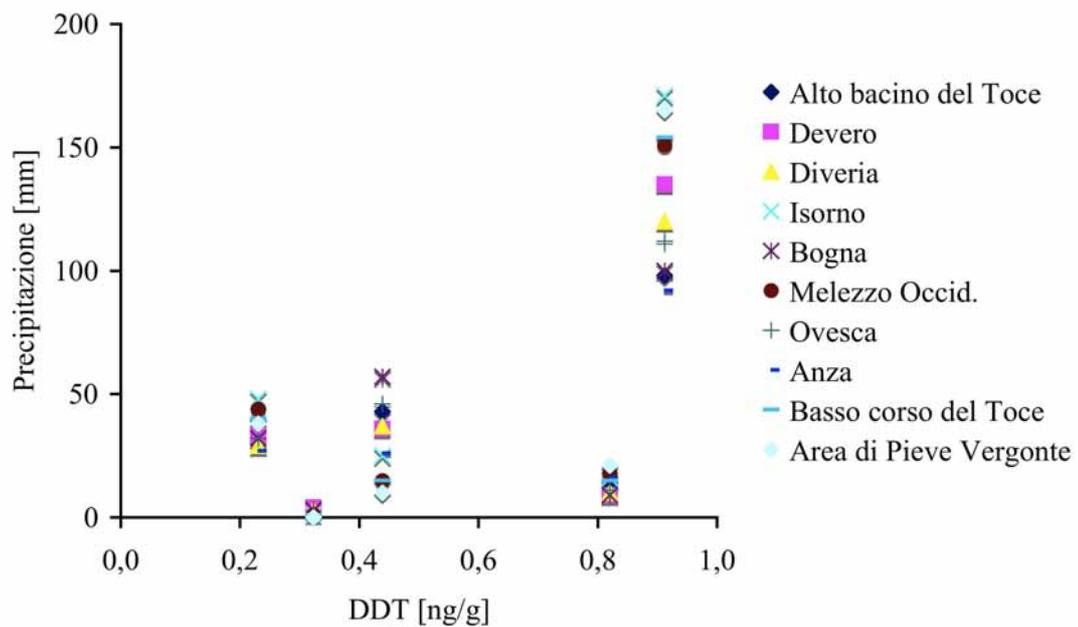
Tabella 5.2: Schema riassuntivo dei dati di precipitazione media (dati in *mm*).

		Precipitazione giornaliera [mm] - valori medi									
		Alto bacino del Toce	Devero	Diveria	Isorno	Bogna	Melezzo Occid.	Ovesca	Anza	Basso corso del Toce	Area di Pieve Vergonte
C1	10-20 gennaio 2009	3	7	8	2	3	1	3	4	1	3
C2	19-31 agosto 2009	43	36	37	25	57	15	46	26	15	10
C3	9-20 ottobre 2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	20-30 ottobre 2009	32	33	29	48	32	44	32	27	40	38
C5	6-16 novembre 2009	13	9	10	16	9	18	11	16	15	21
C6	25 nov.-10 dic. 2009	98	135	120	171	100	151	112	92	154	165
C7	10-18 dicembre 2009	3	4	3	1	3	1	1	1	1	0
P1	30 maggio 2008	109	99	136	71	137	64	137	148	82	91
P2	5 novembre 2008	186	183	176	214	141	241	179	162	232	225
P3	28 aprile 2009	181	186	154	207	137	211	154	150	193	236

Le Figure 5.1-5.3 riportano i dati di precipitazione misurata in funzione delle concentrazioni di DDT misurate nei sedimenti campionati nella sezione di Candoglia. In particolare le Figure 5.1a e 5.1b riportano i dati di precipitazione suddivisi per i vari sottobacini in funzione della concentrazione di DDT misurata nei campioni prelevati in condizioni di deflusso normale (C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7), rispettivamente in prossimità della riva sinistra del Toce e in corrispondenza della mezzeria della sezione. Si può notare come non sembri possibile definire un legame diretto tra la quantità di precipitazione e la concentrazione misurata così come appare difficoltoso individuare sottobacini ininfluenti o che possano indurre a pensare ad un concorso anomalo o prevalente nella formazione del deflusso in relazione alla concentrazione di DDT.



(a) Riva



(b) Mezzeria

Figura 5.1: Precipitazioni medie per i sottobacini in funzione della concentrazione di DDT misurata durante i prelievi in continuo nei sedimenti prelevati in corrispondenza della riva sinistra del Toce e della mezzeria della sezione.

A conclusioni apparentemente diverse si può giungere se si analizzano i dati di precipitazione in corrispondenza dei tre periodi di campionamento (P1, P2 e P3) effettuati durante eventi di piena. La Figura 5.2 mostra infatti come potrebbe esserci un legame tra le quantità di precipitazione e le concentrazioni anche se occorre sottolineare che tale conclusione deve essere presa con la massima cautela. E' evidente infatti come tale andamento sia percepibile perchè un asse del diagramma è stato posto in scala logaritmica proprio per evidenziare il contributo dei piccoli valori di concentrazione misurati in corrispondenza di due dei tre eventi. Inoltre deve essere comunque chiaro che è praticamente impossibile arrivare a conclusioni certe avendo di fatto a disposizione in questo caso solo tre punti di misura. Per quanto riguarda i sottobacini non sembra possibile, come nel caso precedente, individuare comportamenti dominanti e/o anomali mentre sembra potersi delineare un aumento delle concentrazioni in funzione delle precipitazioni anche se, come più volte ricordato, occorrerebbero ulteriori dati.

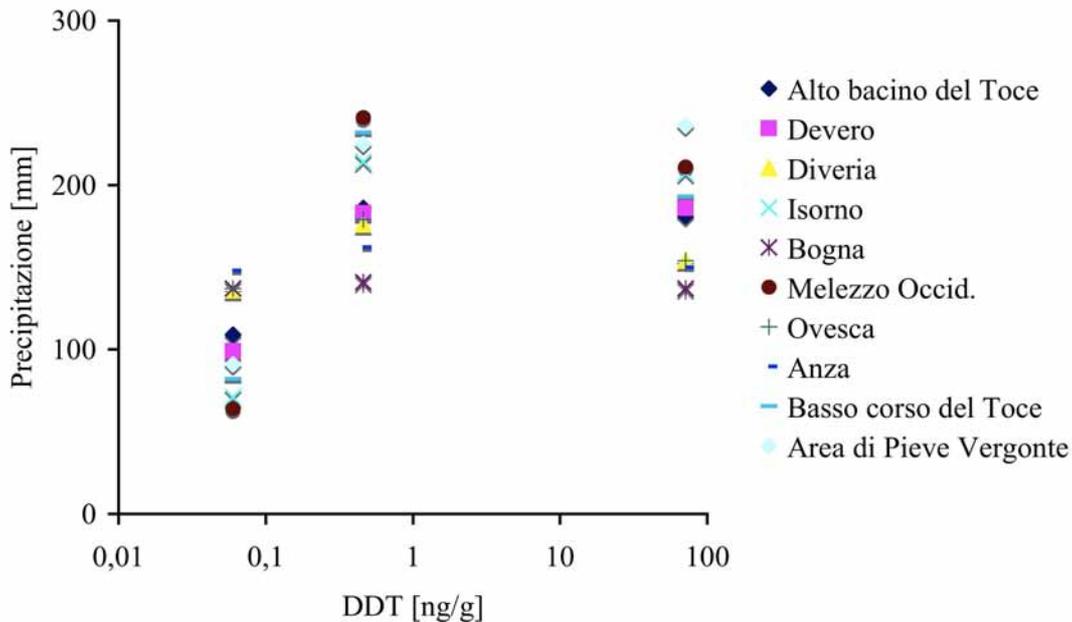


Figura 5.2: Precipitazioni medie misurate durante i tre eventi di piena considerati in funzione della concentrazione di DDT riscontrata nei campioni prelevati.

A tal proposito la Figura 5.3 estrapola i dati delle tre figure precedenti solo per quanto riguarda l'area in corrispondenza del sito di Pieve Vergonte così come riportato nei capitoli precedenti. Anche in questo caso si nota una sostanziale concordanza con quanto riportato nelle figure precedenti, ovvero gli ordini di grandezza delle concentrazioni sono paragonabili per tutti i tipi di campionamento. Nel caso di campionamento in continuo non sembra esserci una dipendenza tra il valore di precipitazione e di concentrazione misurata mentre sembra esserci un

legame tra le concentrazioni e le precipitazioni nel caso di eventi di piena, ovvero a precipitazioni maggiori sembrano corrispondere concentrazioni maggiori.

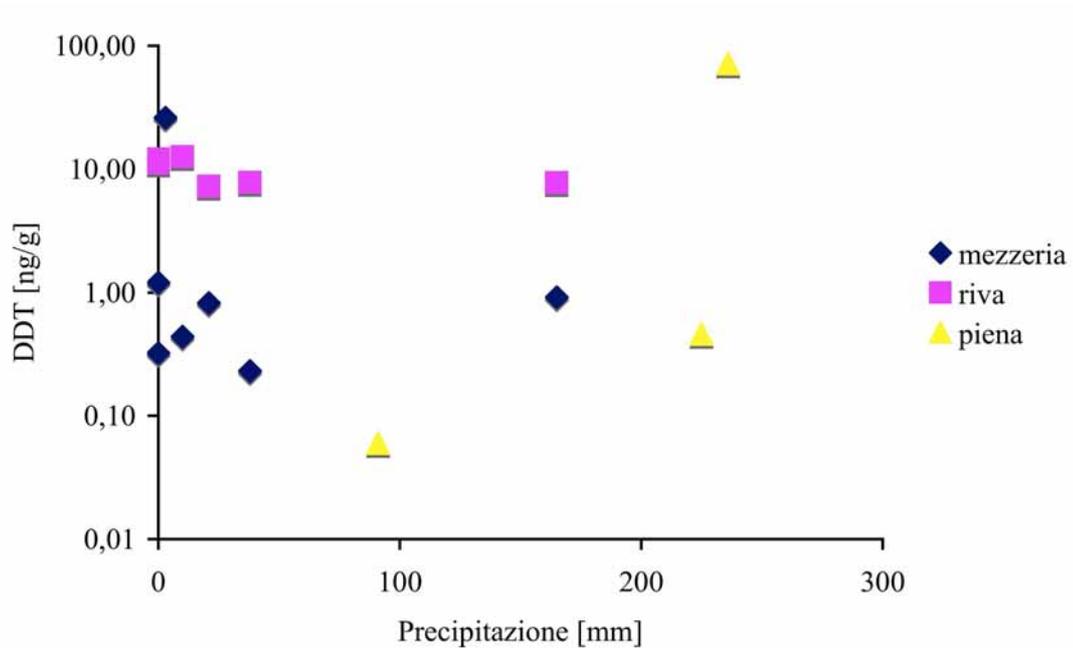


Figura 5.3: Precipitazioni medie misurate in corrispondenza del sito di Pieve Vergonte in funzione delle concentrazioni di DDT misurate.

Infine la Figura 5.4 riporta i confronti tra i dati di precipitazione media su tutto il bacino chiuso alla sezione di Candoglia in funzione delle concentrazioni di DDT misurate nei campioni prelevati. Le considerazioni riportate per le figure precedenti sono le medesime anche per questo caso.

Per quanto riguarda le portate misurate in corrispondenza della sezione di Candoglia, la Figura 5.5 riporta la correlazione con i valori di concentrazione misurati nei campioni. Come si può notare i dati si raggruppano in tre gruppi in funzione del tipo di campionamento ad eccezione di due prelievi, ovvero il periodo C1 (10-20 gennaio) e l'evento di piena P3 (28 aprile 2009) che presentano valori di concentrazione nettamente superiori a tutti gli altri del medesimo gruppo. Se si escludono tali valori e non si prendono in considerazione i campionamenti effettuati in corrispondenza della riva per i quali si sono già espresse le riserve circa l'attendibilità, è possibile individuare un andamento circa decrescente dei valori di portata media in funzione delle concentrazioni di DDT o, in altre parole, a portate maggiori non sempre corrispondono concentrazioni di DDT maggiore. In tale circostanza la curva interpolante ha equazione

$$DDT = 1.95 Q^{-0.37} \quad (5.1)$$

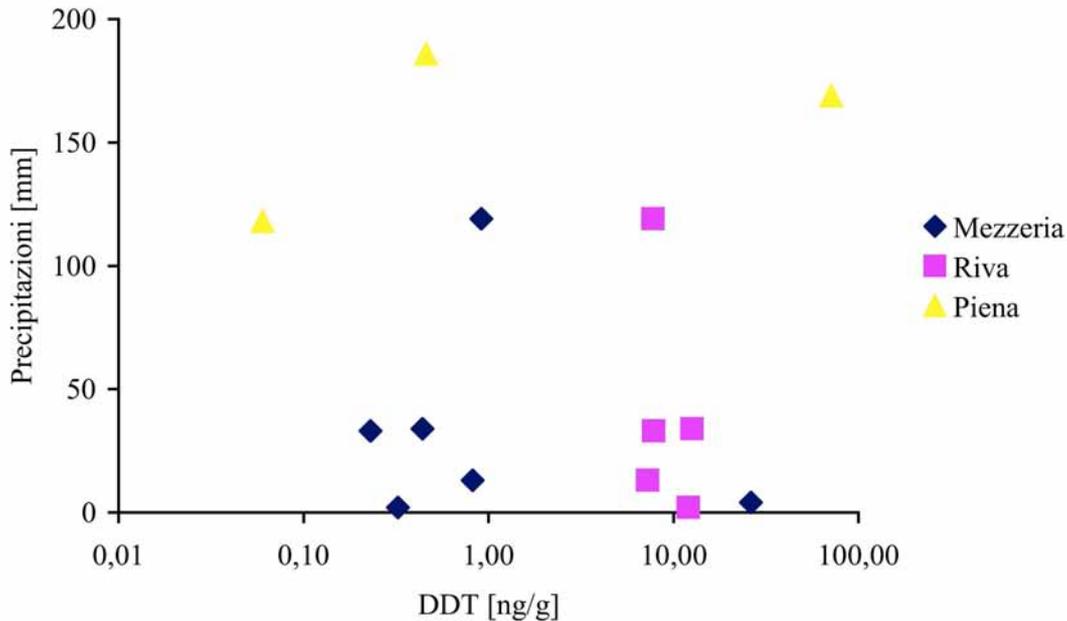


Figura 5.4: Precipitazioni medie misurate durante gli eventi considerati in funzione della concentrazione di DDT riscontrata nei campioni prelevati.

avendo espresso il DDT in ng/g e la portata Q in m^3/s . Il coefficiente di correlazione è pari a 0.33. Se invece si includono anche i due valori con concentrazioni maggiori la curva interpolante risulta praticamente orizzontale

$$DDT = 0.78 Q^{0.067} \quad (5.2)$$

a testimoniare la mancanza di correlazione tra i dati di concentrazione e di portata ($R^2 = 0.002$). In ogni caso anche dai dati di portata è possibile notare come via sia comunque un trasferimento di DDT anche in condizioni di magra o di modeste portate ad ulteriore testimonianza che il flusso di DDT è continuo ancorchè piccolo.

A conclusione di questa prima analisi è possibile affermare che non sembra esistere un legame tra gli eventi di maggiore intensità e le concentrazioni di DDT rilevate nei sedimenti. Appare dunque necessario concentrarsi su un tipo di meccanismo che preveda un piccolo ma continuo trasporto di DDT che genererà però nel suo complesso un flusso di DDT non trascurabile. A tale scopo verrà dunque proposto un modello matematico in grado di modellare tale comportamento consentendo di valutare anche quantitativamente l'entità del flusso complessivo.

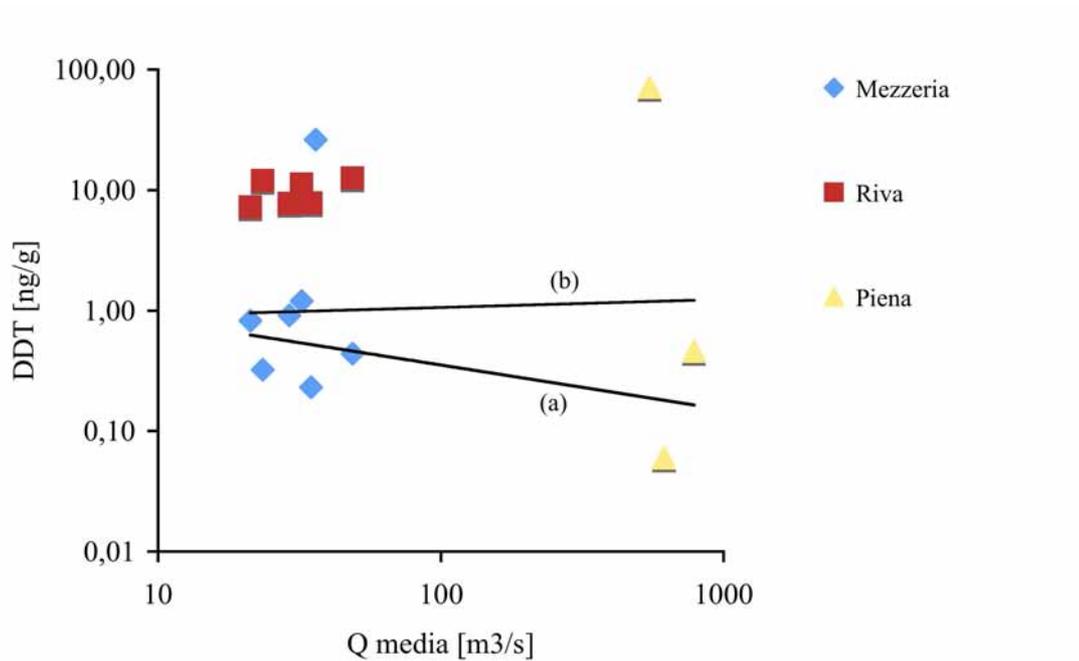


Figura 5.5: Correlazione portate - concentrazione di DDT. Curve interpolanti: Equazione 5.1 (a) e Equazione 5.2 (b).

5.2 Dinamica del DDT nel bacino del Toce

I risultati delle analisi chimiche effettuate dall'ARPA sui campioni prelevati nella sezione di Candoglia hanno evidenziato la presenza di DDT nella frazione fine dei sedimenti trasportati in sospensione dalla corrente. Come spiegato nella precedente sezione 5.1, le concentrazioni di DDT nei sedimenti sospesi si sono rivelate essere sostanzialmente indipendenti dai valori di portata del Toce. Se da un lato il trasporto di DDT è intimamente connesso al movimento dell'acqua, tale legame appare tuttavia di non immediata interpretazione.

In questo capitolo viene presentata una spiegazione dei meccanismi che regolano il trasporto del DDT all'interno del bacino del Toce. Il trasporto dei sedimenti contaminati si svolge essenzialmente secondo due fasi consecutive:

1. dai versanti e dalle sponde del bacino al Toce;
2. lungo l'asta fluviale del Toce, fino alla sezione di Candoglia.

Per ciascuna di queste fasi sono stati formulati dei modelli matematici che descrivono i processi fondamentali a cui sono sottoposti i sedimenti e che permettono sia di spiegare qualitativamente il comportamento osservato in campo che di prevedere l'evoluzione futura della contaminazione da DDT nel bacino del Toce.

5.2.1 Evoluzione all'interno del bacino

La situazione attuale [15] è contrassegnata da una contaminazione diffusa sull'intero bacino del Toce a seguito dei decenni di produzione di DDT nello stabilimento di Pieve Vergonte e del suo utilizzo nella regione, nonché dell'apporto di DDT legato alle precipitazioni. Al momento è pertanto logico ritenere che il DDT sia presente in maniera pressochè ubiqua - seppure non necessariamente uniforme - nel suolo e nei terreni dei versanti della valle del Toce.

I sedimenti contaminati all'interno del bacino sono soggetti ai seguenti fenomeni:

- *degradimento* legato ai processi naturali di degradazione, con produzione di DDD e DDE come metaboliti secondari;
- *lisciviazione* della frazione solida causata dalle precipitazioni;
- *apporto* di DDT dovuto alle precipitazioni.

L'azione combinata di questi tre processi concorre a modificare nel tempo la concentrazione totale di DDT, definita come:

$$C_{TOT} = \rho_{APP}X_S + nC_{H_2O} \quad (5.3)$$

dove X_S (ng/g) è la concentrazione di DDT nei sedimenti, ρ_{APP} (kg/m³) è la densità apparente dei sedimenti, n (%) è la porosità del terreno e C_{H_2O} (ng/L) è la concentrazione di DDT nell'acqua presente all'interno del terreno. Nell'ipotesi che l'acqua a contatto con il terreno si trovi in equilibrio chimico con i sedimenti, la relazione tra le rispettive concentrazioni di DDT è data da:

$$K_P = \frac{X_S}{C_{H_2O}} \quad (5.4)$$

dove K_P (L/g) è il coefficiente di partizione solido-liquido. Per sostanze che - come il DDT - mostrano una forte affinità con la componente organica della matrice solida, il coefficiente di partizione è valutato come $K_P = K_{OC}f_C$, dove K_{OC} (L/g) rappresenta il coefficiente di distribuzione tra la componente organica e la fase liquida, mentre f_C (%) è la frazione di carbonio organico del terreno.

Complessivamente, la variazione nel tempo della massa totale di DDT nel bacino (M_{TOT}) è data da:

$$\frac{dM_{TOT}}{dt} = \text{Decadimento} - \text{Lisciviazione} + \text{Apporto precipitazioni} \quad (5.5)$$

I termini presenti nell'equazione di bilancio (5.5) possono essere espressi come:

- $M_{TOT} = AHC_{TOT}$, dove A è l'area del bacino con concentrazione uniforme C_{TOT} e H la profondità dello strato superficiale del terreno interessato dalla contaminazione;

- Decadimento = $k_{DEG}M_{TOT}$, dove k_{DEG} (y^{-1}) è il coefficiente di degradazione del DDT, funzione del tempo di emivita $t_{1/2}$ (y);
- Lisciviazione = iAC_{H_2O} , dove i (mm/h) è l'intensità di precipitazione;
- Apporto precipitazioni = iAC_{PREC} , dove C_{PREC} è la concentrazione di DDT eventualmente presente nelle precipitazioni (sia come componente disciolta che in forma di particolato).

L'equazione (5.5) può essere espressa in funzione della sola concentrazione nei sedimenti X_S sfruttando le relazioni (5.3) e (5.4) tra X_S e le concentrazioni C_{TOT} e C_{H_2O} . Si può quindi arrivare all'espressione finale:

$$\frac{dX_S}{dt} = -k_{DEG}X_S - k_{LISC}X_S + k_{PREC} \quad (5.6)$$

in cui tutti i parametri definiti in precedenza sono state raggruppati nei tre coefficienti k_{DEG} , k_{LISC} e k_{PREC} . Il coefficiente di degradazione è dato da $k_{DEG} = \ln(2)/t_{1/2}$. Si ha inoltre che $k_{LISC} = i/[H(\rho_{APP}K_P + n)]$ e $k_{PREC} = iC_{PREC}/[H(\rho_{APP} + n/K_P)]$.

L'equazione (5.6) è stata risolta partendo da diversi valori di concentrazione iniziale $(X_S)_0$ utilizzando i valori dei diversi parametri riassunti nella Tabella 5.3. Questi valori sono stati ricavati dai risultati di misure effettuate nel bacino in esame per tutti quei parametri per cui tali misure fossero disponibili, mentre per le restanti quantità sono stati invece utilizzati valori desunti da dati di letteratura. Lo spessore H del terreno contaminato da DDT costituisce un caso separato per il quale, in assenza di informazioni specifiche, si è adottato un intervallo sufficientemente ampio (da 10 cm a 10 m) in modo da considerare due valori limite che rappresentino i possibili estremi entro cui si collocherà la situazione reale. Analogamente, per tutti gli altri parametri sono stati scelti intervalli di valori che riflettano la variabilità naturale delle grandezze osservate e l'incertezza associata alle misure, in modo da potere valutare l'influenza di tali incertezze sull'evoluzione temporale del DDT.

È importante osservare che è possibile ottenere una stima dell'importanza relativa dei tre processi che compaiono nell'equazione (5.6) in base ai valori riportati nella Tabella 5.3. L'ordine di grandezza dei diversi processi è infatti:

- decadimento: $k_{DEG} \cdot (X_S)_0 = 0.5-3.5$ (ng/g)/y;
- lisciviazione: $k_{LISC} \cdot (X_S)_0 = 4.4 \cdot 10^{-5} - 0.4$ (ng/g)/y;
- apporto precipitazioni: $k_{PREC} = 2.3 \cdot 10^{-6} - 2.0 \cdot 10^{-2}$ (ng/g)/y.

Nel calcolo si è utilizzato $(X_S)_0 = 10$ ng/g, valore rappresentativo dell'ordine di grandezza tipicamente riscontrato per le concentrazioni di DDT nei sedimenti, sia durante la campagna di monitoraggio eseguita nel periodo 2001-2007 per

Tabella 5.3: Valori dei parametri utilizzati per la valutazione dell'evoluzione temporale del DDT nei versanti (equazione 5.6).

Parametro	Unità di misura	Valore (min/max)	Fonte
K_{OC}	L/g	24-240	[11]
f_C	%	0.5-5.0	[15]
K_P	L/g	0.6-3.2	$K_P = K_{OC} \overline{f_C}$
n	-	0.3-0.4	Valore tipico
ρ_{APP}	kg/m ³	1500-1900	Valore tipico
$t_{1/2}$	y	2-15	[7]
k_{DEG}	1/y	0.05-0.35	$k_{DEG} = \ln(2)/t_{1/2}$
C_{PREC}	ng/L	0.1-10	[15]
i	mm/y	400-2950	[2]
H	m	0.1-10	Valore ipotizzato

conto del CIP AIS che nei campioni raccolti dal 2008 e recentemente analizzati dall'ARPA. Questa semplice stima mostra che la concentrazione di DDT nei sedimenti presenti nei versanti varia quasi unicamente per effetto della progressiva biodegradazione naturale, mentre i processi di lisciviazione e apporto legati alle piogge hanno un ruolo trascurabile.

Allo stesso risultato si perviene attraverso un'analisi più precisa dell'equazione (5.6). Il limite dell'analisi semplificata effettuata in precedenza è che si è considerato un valore di intensità di precipitazione media annua, mentre un approccio più corretto richiede l'utilizzo di valori relativi a intervalli di tempo di minor durata. Si è pertanto proceduto alla risoluzione numerica dell'equazione (5.6) utilizzando la serie dei valori di altezze di precipitazione giornaliera misurati nella stazione pluviometrica di Candoglia. In questa stazione la serie completa delle osservazioni disponibili è limitata al periodo 2002-2008 e, al fine di estendere la durata della serie, i valori sono stati ripetuti, in maniera periodica, fino a coprire un periodo di 28 anni. Tale scelta è stata effettuata solo per valutare l'influenza della variabilità annuale delle precipitazioni sull'evoluzione del DDT e non ha ovviamente la pretesa di rappresentare una stima delle precipitazioni future.

I risultati sono rappresentati nella Figura 5.6, in cui sono mostrati gli andamenti temporali delle concentrazioni di DDT per tre differenti scenari. Tutti gli scenari considerano la situazione più sfavorevole, caratterizzata dal valore più basso del coefficiente di degradazione tra quelli considerati in Tabella 5.3 ($k_{DEG}=0.05 \text{ y}^{-1}$), mentre gli altri parametri sono scelti in modo da massimizzare i contributi dei processi legati alle precipitazioni (lisciviazione e apporto). L'importanza relativa di questi due processi dipende dal valore del coefficiente di partizione K_P , in quanto al crescere di K_P (maggiore affinità del DDT alla matrice solida) diminuisce l'influenza della lisciviazione mentre aumenta quella

dell'apporto delle precipitazioni. Sono pertanto stati analizzati seguenti casi:

- SCENARIO 1: si considera il massimo contributo possibile dell'apporto da precipitazioni, corrispondente al valore $K_P=5$ L/g;
- SCENARIO 2: in questo caso si è utilizzato $K_P=0.5$ L/g, il che corrisponde al massimo contributo della lisciviazione;
- SCENARIO 3: questo scenario rappresenta un caso di riferimento, in cui l'unico processo considerato è quello di decadimento, mentre lisciviazione e apporto sono esclusi. In virtù dell'equazione (5.6) la concentrazione in questo scenario ha un andamento esponenziale, calcolabile come $X_S(t) = (X_s)_0 \exp(-k_{DEG}t)$.

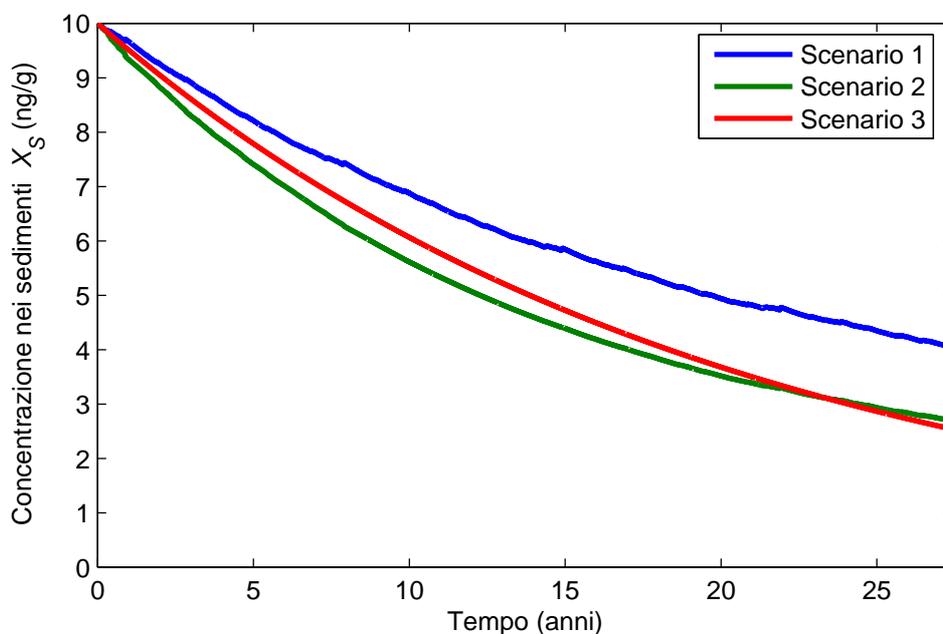


Figura 5.6: Evoluzione temporale della concentrazione di DDT nel bacino. Tutte le curve sono state calcolate nell'ipotesi di tasso di decadimento ridotto ($k_{DEG}=0.05$ y^{-1}).

La Figura 5.6 conferma quanto dedotto dall'analisi semplificata, ovvero che la dinamica del DDT nel bacino è principalmente causata dai processi naturali di decadimento (scenario 3), mentre il ruolo della lisciviazione (scenario 2) e dell'apporto di DDT legato alle precipitazioni (scenario 1) hanno un'influenza meno marcata. Lo scenario 3 è verosimilmente il più realistico, in quanto i contributi di lisciviazione e apporto tenderanno a bilanciarsi tra di loro, determinando un andamento intermedio rispetto a quelli degli scenari 1 e 2.

Più in generale, il modello mostra che la tendenza evolutiva del DDT presente nei versanti è quella di una progressiva diminuzione delle concentrazioni dovuta ai processi di attenuazione naturale. A questo proposito, le previsioni del modello mostrano che per conseguire un abbattimento significativo delle concentrazioni saranno necessari tempi dell'ordine di alcuni decenni, conseguenza diretta dei valori tipici dei tempi di emivita del DDT indicati nella Tabella 5.3. Vale la pena ricordare che i risultati qui riportati sono stati ottenuti a seguito di ipotesi cautelative, considerando i valori di decadimento minimi tra quelli riportati nella Tabella 5.3. Nella realtà il decadimento delle concentrazioni potrebbe quindi progredire più rapidamente, sebbene con ogni probabilità i tempi caratteristici del fenomeno non saranno inferiori a 10-15 anni.

5.2.2 Evoluzione dei sedimenti contaminati nel corso d'acqua

La dinamica descritta nel precedente capitolo 5.2.1 ha mostrato che un grano della matrice solida contaminata da DDT subisce una lenta riduzione della propria concentrazione. Quando un evento piovoso riesce a movimentare il grano – per ruscellamento superficiale o a seguito dell'innesco di un movimento franoso – il sedimento raggiunge il corso d'acqua e va incontro a due possibili comportamenti:

1. fase di trasporto: i sedimenti fini entrano nel trasporto in sospensione e si muovono verso valle fintanto che la portata è sufficientemente alta da evitarne la sedimentazione;
2. fase di sedimentazione: in condizioni di magra i sedimenti precipitano sul fondo dove permangono, coperti dallo strato di corazzamento a granulometria più grossolana, fino a quando un successivo incremento di portata non rompe il corazzamento riportando i fini in sospensione.

La durata della fase di trasporto può essere sufficientemente lunga da consentire ai sedimenti di raggiungere la sezione di Candoglia, oppure può essere interrotta da una o più fasi di sedimentazione. In entrambi i casi le concentrazioni di DDT nei sedimenti possono modificarsi a seguito delle interazioni con la corrente idrica.

Fase di trasporto

I sedimenti fini trasportati dalla corrente si muovono con velocità sostanzialmente identiche alla velocità della corrente. Questo implica che un determinato volume di acqua si muove lungo l'asta fluviale insieme ai sedimenti da esso trasportati, i quali cedono parte del DDT adsorbito all'acqua. Questo processo di desorbimento, favorito dalla turbolenza della corrente, tende a ridurre la concentrazione di

DDT nei solidi trasferendo DDT alla fase liquida. L'aumento della concentrazione di DDT disciolto è contrastata dai processi di dispersione nella corrente, che tendono a miscelare la corrente determinando la diluizione del DDT su volumi di acqua via via maggiori.

I processi qui descritti non riducono l'apporto complessivo di DDT al Lago Maggiore, ma si limitano a ridistribuire parte del DDT dalla fase solida a quella liquida. Siccome i volumi di acqua disponibili sono di gran lunga superiori a quelli dei solidi sospesi, è improbabile che la cessione di DDT alla fase liquida possa causare un incremento di concentrazione del DDT disciolto tale da superare la soglia di rilevabilità analitica. Quanto descritto è coerente con l'assenza di valori di concentrazione nella fase liquida superiori alla soglia misurabile, con la sola eccezione della misura effettuata in occasione della piena del 28 aprile 2009 ($C_{H_2O} = 1.05 \text{ ng/L}$) in cui è stato anche osservato il valore massimo di concentrazione sul solido dell'intero periodo di misura ($X_S = 65.57 \text{ ng/L}$).

Fase di sedimentazione

In condizioni di magra, i sedimenti contaminati provenienti dai versanti si depositano sul fondo del Toce, coperti da uno strato superficiale di corazzamento, prevalentemente composto da ciottoli e ghiaie grossolane. Sebbene in tali condizioni i sedimenti fini non possano venire direttamente a contatto con la corrente superficiale, è comunque possibile che avvenga uno scambio di DDT tra sedimenti e corrente. Tra il corso d'acqua e i sedimenti permeabili che ne costituiscono l'alveo esistono infatti dei flussi continui di acqua, noti come flussi iporreici (figura 5.7), indotti da variazioni spaziali e temporali della pressione sulla superficie del letto del fiume. Benchè l'entità del flusso iporreico sia decisamente inferiore alla portata del corso d'acqua, esso può comunque influire sulle concentrazioni di DDT nei sedimenti fini. Infatti a causa dei flussi iporreici i sedimenti vengono a contatto con l'acqua del fiume a cui cedono parte del DDT adsorbito, andando così incontro ad una progressiva lisciviazione.

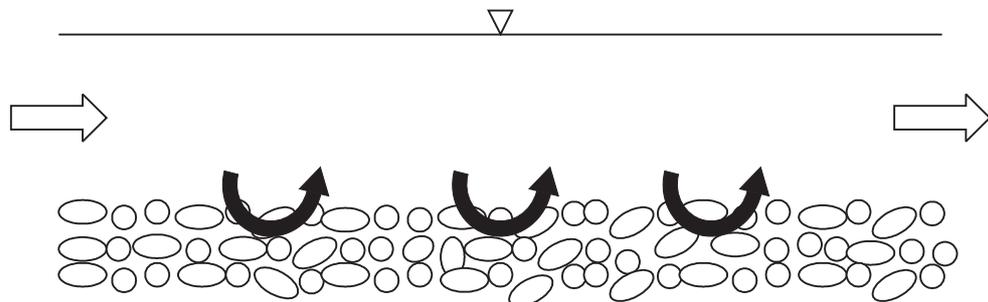


Figura 5.7: Schema concettuale degli scambi iporreici (in nero) tra fiume e sedimenti.

Per capire se il processo descritto possa contribuire in modo significativo al trasporto di DDT lungo l'asta fluviale è stato sviluppato un semplice modello che permette di evidenziare i parametri che influiscono maggiormente sul fenomeno. Considerando lo schema mostrato nella Figura 5.7, si considera che il DDT può essere presente sia nei sedimenti (con concentrazione X_S) che nella corrente (con concentrazione C_{H_2O}). Il processo di scambio avviene in tre fasi:

1. il flusso iporreico determina uno scambio continuo di acqua superficiale - e del DDT in essa disciolto - dal fiume verso i sedimenti;
2. all'interno del letto la concentrazione di DDT nell'acqua interstiziale si porta in equilibrio con quella nei sedimenti fini. In virtù dell'equazione (5.4) la concentrazione nell'acqua interstiziale sarà pertanto pari a X_S/K_P ;
3. il flusso iporreico trasporta l'acqua interstiziale e il DDT ad essa associato nuovamente nel fiume.

La variazione nel tempo della massa di DDT (M_S) presente nei sedimenti del letto è pertanto espresso come:

$$\frac{\partial M_S}{\partial t} = \text{Flusso}_{H_2O-Sedimenti} - \text{Flusso}_{Sedimenti-H_2O} \quad (5.7)$$

mentre per la massa di DDT disciolta nel corso d'acqua si deve anche considerare l'effetto del trasporto da monte a valle dovuto alla corrente:

$$\frac{\partial M_{H_2O}}{\partial t} = \text{Trasporto corrente} + \text{Flusso}_{Sedimenti-H_2O} - \text{Flusso}_{H_2O-Sedimenti} \quad (5.8)$$

I termini presenti nelle precedenti equazioni sono così calcolati:

- $M_S = (A\delta)\rho_{APP}f_{FINE}X_S$, dove A (m^2) è la superficie del letto, δ (m) è lo spessore dello strato contenente i sedimenti contaminati e f_{FINE} (%) è la percentuale di sedimenti fini (ipotizzando che il DDT sia unicamente associato alla frazione più fine della matrice solida);
- $M_{H_2O} = AhC_{H_2O}$, dove h è la profondità della corrente;
- $\text{Flusso}_{H_2O-Sedimenti} = qAC_{H_2O}$, dove q (L/s/ m^2) è il flusso iporreico per unità di superficie;
- $\text{Flusso}_{Sedimenti-H_2O} = qA(X_S/K_P)$, dove il termine tra parentesi indica la concentrazione interstiziale di equilibrio;
- $\text{Trasporto corrente} = -Q\frac{\partial C_{H_2O}}{\partial x}dx$, dove Q è la portata del corso d'acqua e dx è la lunghezza dell'elemento di asta fluviale considerato.

Combinando opportunamente le espressioni date con le (5.7) e (5.8) si ottiene un sistema di due equazioni:

$$\frac{\partial X_S}{\partial t} = \frac{1}{T}(K_P C_{H_2O} - X_S) \quad (5.9)$$

$$\frac{\partial C_{H_2O}}{\partial t} + U \frac{\partial C_{H_2O}}{\partial x} = \frac{q}{h}(X_S/K_P - C_{H_2O}) \quad (5.10)$$

all'interno delle quali riveste particolare importanza il raggruppamento $T = (\delta K_P \rho_{APP} f_{FINE})/q$, che rappresenta il tempo caratteristico per la lisciviazione del DDT dai sedimenti. A queste equazioni vanno aggiunte le condizioni iniziali e al contorno

$$t = 0 : X_S = (X_S)_0, C_{H_2O} = 0 \quad x = 0 : C_{H_2O} = 0 \quad (5.11)$$

che indicano una situazione iniziale di sedimenti contaminati e acqua priva di DDT.

Per valutare l'influenza della fase di sedimentazione sulle concentrazioni di DDT è necessario scegliere i valori dei diversi parametri presenti nel sistema di equazioni (5.9)-(5.10). Le caratteristiche dei sedimenti (δ , f_{FINE} , K) sono state desunte dai risultati delle analisi granulometriche sui campioni di sedimenti eseguite da Hydrodata su indicazione del DITIC. In particolare, lo spessore δ dello strato in cui possono essere presenti sedimenti contaminati è stato considerato pari allo spessore del cosiddetto strato attivo, ossia quello strato di sedimenti – pari a 2-4 volte il diametro d_{MAX} dei sedimenti più grossolani – che vengono effettivamente movimentati dal trasporto solido. Per la frazione fine f_{FINE} si è fatto riferimento al valore medio, calcolato su 12 campioni, della percentuale di sedimenti con diametro equivalente inferiore a $75 \mu\text{m}$. Il valore di conducibilità idraulica dei sedimenti è stato invece calcolato come $K = c\gamma/\mu(d_{10})^2$ [3], dove $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$ e $\mu = 10^{-3} \text{ N s/m}^2$ rappresentano il peso specifico e la viscosità dinamica dell'acqua, $c = 6.17 \cdot 10^{-4}$ e d_{10} è il diametro equivalente della frazione pari al 10% più fine del campione.

Tra i restanti parametri il flusso iporreico q è quello la cui stima presenta maggiori difficoltà. L'analisi degli scambi iporreici è infatti un argomento relativamente nuovo per l'ingegneria idraulica, e la ricerca in questo campo sta ancora procedendo allo sviluppo di tecniche di campo e modelli matematici che permettano una valutazione attendibile del flusso iporreico. In questo studio, il flusso iporreico medio è stato stimato per mezzo della legge di Darcy: $q = KJ$, dove J rappresenta il valore medio del gradiente del carico idraulico sulla superficie del letto. In assenza di informazioni più dettagliate, si è assegnato al gradiente idraulico J un intervallo sufficientemente ampio (due ordini di grandezza) da tener conto dell'incertezza associata alla stima di questa quantità. Tali valori, scelti in base all'esperienza degli autori, sono riportati nella Tabella 5.4 insieme a quelli di tutti gli altri parametri coinvolti nell'analisi.

Tabella 5.4: Valori dei parametri utilizzati per la valutazione dell'evoluzione temporale del DDT nei sedimenti depositati sul fondo (equazioni 5.9-5.10)

Parametro	Unità di misura	Valore (min/max)	Fonte
U	m/s	0.1	Valore ipotizzato
h	m	1	Valore ipotizzato
δ	m	0.1-0.2	2-4 d_{MAX}
f_{FINE}	%	0,8	Media misure Hydrodata
K	m/s	$8.7 \cdot 10^{-3}$	Calcolato da misure Hydrodata
J	-	$10^{-5} - 10^{-3}$	Valore tipico
q	m/s	$8.7 \cdot 10^{-8} - 8.7 \cdot 10^{-6}$	$q = KJ$

Le equazioni (5.9)-(5.10) sono state risolte considerando due scenari differenti relativi alle diverse combinazioni dei parametri della Tabella 5.4. I due scenari rappresentano rispettivamente i casi di influenza massima e minima del fenomeno di scambio iporreico sui valori di concentrazioni nei sedimenti fini. In entrambi i casi è stata adottata la concentrazione iniziale $(X_S)_0 = 10$ ng/g, in analogia con il capitolo 5.2.1. I valori del tempo di lisciviazione che si ottengono nei due casi sono:

- Scenario 1: $T = 0.7$ giorni;
- Scenario 2: $T = 1910$ giorni.

I valori ottenuti per lo scenario 1 indicano che è possibile che durante la fase di sedimentazione le concentrazioni di DDT nei sedimenti al fondo siano ridotte in maniera significativa dall'azione di lisciviazione causata dai flussi iporreici. Se nel caso dello scenario 2 il tempo di lisciviazione è molto maggiore del tempo che comunemente intercorre tra due eventi di piena consecutivi, nello scenario 1 le concentrazioni potranno invece subire una riduzione non trascurabile durante la fase di sedimentazione. Questo comportamento è mostrato nella Figura 5.8, che riporta gli andamenti della concentrazione nei sedimenti X_S per diversi punti dell'asta fluviale da $x = 0$ (confluenza Toce-Anza) a $x = 15$ km (Condoglia). Indipendentemente dalla posizione, è evidente che la diminuzione delle concentrazioni che si verifica nell'arco di pochi giorni è decisamente rilevante e che quindi anche in condizioni di magra esiste uno scambio di DDT non trascurabile dai sedimenti sul fondo alla corrente.

È bene notare che le differenze tra i due scenari sono estremamente elevate, il che implica che in realtà è difficile prevedere quale sia l'importanza effettiva della fase di sedimentazione sul trasporto di DDT. Se il tempo di lisciviazione T è maggiore dell'intervallo tipico tra due eventi di piena, il comportamento delineato nella Figura 5.8 è in realtà interrotto dal passaggio dei sedimenti in sospensione. Sebbene le informazioni attualmente disponibili non permettano di definire con precisione il ruolo della fase di sedimentazione, le considerazioni qui svolte

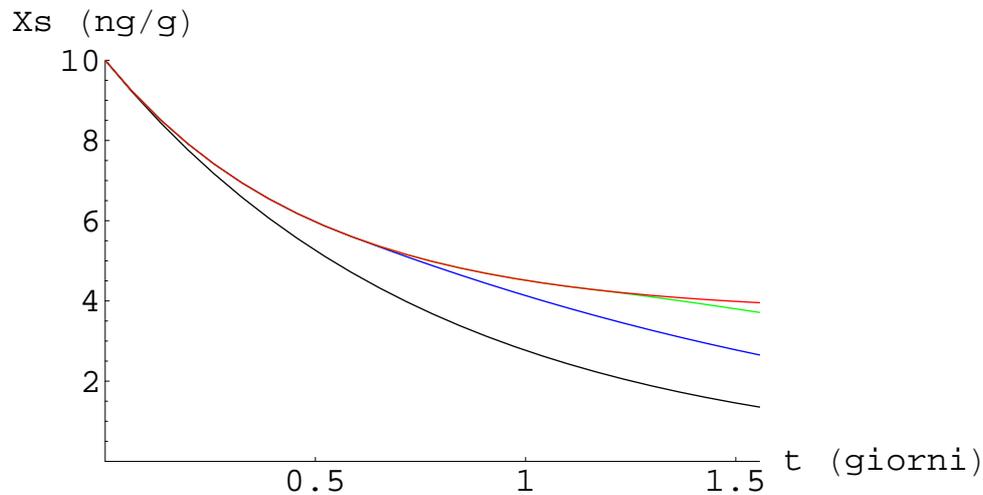


Figura 5.8: Evoluzione temporale della concentrazione di DDT nei sedimenti sul fondo per lo scenario 1 ($T = 0.7$ giorni). Le curve si riferiscono a diversi punti dell'asta fluviale ($x=0$, linea nera; $x=5$ km, linea blu; $x=10$ km, linea verde; $x=15$ km, linea rossa).

hanno comunque evidenziato la possibilità che in condizioni di magra le concentrazioni del DDT sui sedimenti del Toce non rimangano costanti ma subiscano una progressiva diminuzione a causa delle interazioni tra corrente superficiale e sedimenti.

5.3 Apporto di DDT al Lago Maggiore

I capitoli precedenti hanno presentato una descrizione dei processi che regolano la dinamica temporale del DDT presente nei sedimenti del bacino, partendo dai terreni che costituiscono i versanti per concludersi con il trasporto lungo l'asta fluviale verso il Lago Maggiore. Dal punto di vista ambientale l'informazione di maggiore interesse è certamente rappresentata dall'apporto complessivo di DDT al Lago Maggiore ad opera della corrente del Toce. Lo scopo di questo capitolo è l'analisi quantitativa di tali apporti e del loro eventuale legame con il ciclo idrologico.

Come già discusso nei capitoli precedenti, il trasporto di DDT adsorbito sui sedimenti fini in sospensione costituisce la componente predominante del flusso complessivo di DDT al Lago Maggiore. Tale flusso può essere valutato grazie alle misure di DDT eseguite in corrispondenza della sezione di Candoglia. Per

ciascuna misura, il flusso di DDT rilevato è infatti calcolabile come

$$f_{DDT} = Q_S X_S \quad (5.12)$$

dove Q_S (kg/s) indica la portata di solidi sospesi e X_S (ng/g) è la già citata concentrazione di DDT adsorbito ai solidi sospesi. È opportuno rilevare che la portata solida è nota soltanto per i rilievi effettuati in occasione dei tre eventi di piena considerati (30 maggio 2008, 5 novembre 2008 e 28 aprile 2009), mentre durante i prelievi in continuo non è stata effettuata nessuna misura relativa al trasporto solido. Per ovviare a questa carenza, la portata solida Q_S è stata valutata mediante la relazione di regressione ottenuta grazie all'analisi del trasporto solido descritta nel Capitolo 4. In tale capitolo si è già accennato al fatto che i valori di Q_S così stimati rappresentano il comportamento medio della corrente, rispetto al quale si possono verificare variazioni di notevole entità che rendono la stima soggetta a considerevole incertezza. Per questo motivo sono stati anche calcolati i valori di portata solida corrispondenti a $\pm 75\%$ rispetto ai valori stimati con la curva di regressione, così da tenere in debita considerazione l'incertezza insita nel processo.

La Figura 5.9 mostra i valori del flusso f_{DDT} osservato nei dieci eventi considerati. L'incertezza legata alla stima della portata solida per i campionamenti in continuo (in nero) non incide in modo significativo sui valori del flusso di DDT, per cui si è unicamente fatto riferimento ai valori medi (in rosso). La figura mostra chiaramente come in occasione degli eventi di piena si sia osservato un maggiore apporto di DDT verso il lago, come evidenziato dalla linea di regressione ($f_{DDT} = 5 \cdot 10^{-5} Q^{1.96}$ con $R^2 = 0.7$) riportata sul grafico. Tale comportamento è dovuto al fatto che la concentrazione di DDT X_S presente nell'equazione (5.12) non è statisticamente correlata con la portata del Toce, mentre la portata solida Q_S cresce proporzionalmente alla portata stessa (Figure 5.5 e 4.11).

I flussi di DDT calcolati evidenziano che gli apporti maggiori di DDT al Lago Maggiore si verificano nei giorni caratterizzati da portate più elevate, ma è importante osservare che anche quando la portata è modesta si può rilevare un trasporto di DDT lungo il Toce. Questo apporto, seppure di inferiore entità, è comunque indice di un possibile impatto sulla qualità delle acque e dei sedimenti lacustri anche in condizioni di basse portate. Poiché su scala annuale gli eventi di piena avvengono meno frequentemente rispetto ai giorni con portate medie o di magra, è importante valutare quale sia l'apporto medio di DDT in corrispondenza delle diverse condizioni idrologiche che si manifestano nel Toce nel corso dell'anno. A questo proposito è stata valutata la frequenza dei diversi valori di flusso, sintetizzata dalla curva di durata dei flussi f_{DDT} – rappresentata nella Figura 5.10 – che mostra il numero di giorni all'anno durante i quali il flusso di DDT al lago supera un determinato valore. Questa curva è stata ottenuta unendo la curva di regressione $f_{DDT} = 5 \cdot 10^{-5} Q^{1.959}$ (con Q espressa in m^3/s e f_{DDT} in g/giorno) con la curva di durata delle portate descritta nel Capitolo 3. È importante sottolineare che l'aver utilizzato questa equazione di regressione implica

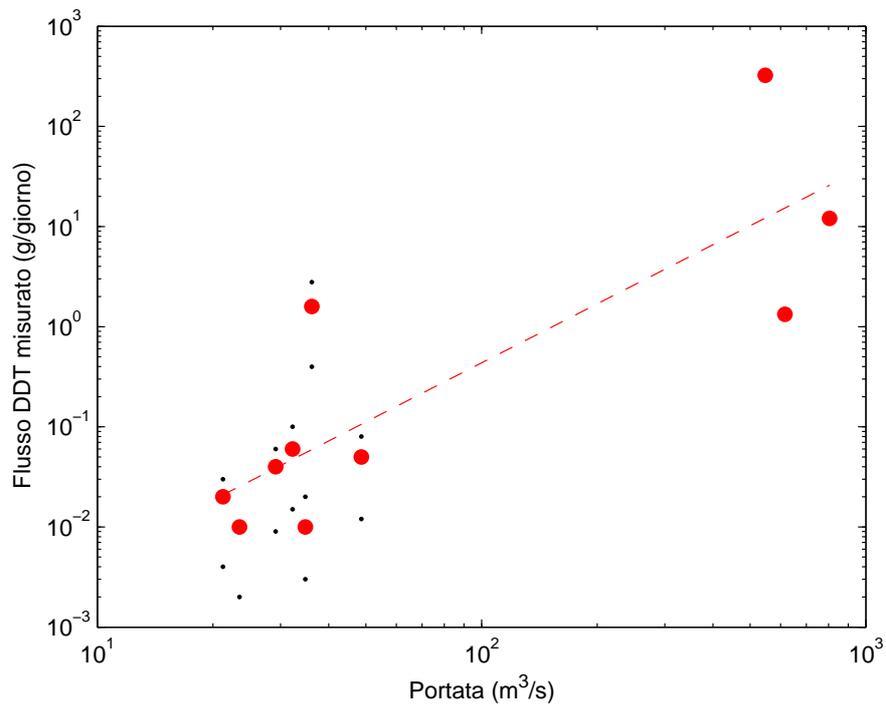


Figura 5.9: Flusso di DDT trasportato verso il Lago Maggiore in occasione dei dieci eventi di osservazione disponibili tra maggio 2008 e dicembre 2009. I dati in rosso si riferiscono ai valori medi, mentre quelli in nero sono incrementati o ridotti del 75% per includere l'incertezza associata alla stima del trasporto solido in sospensione.

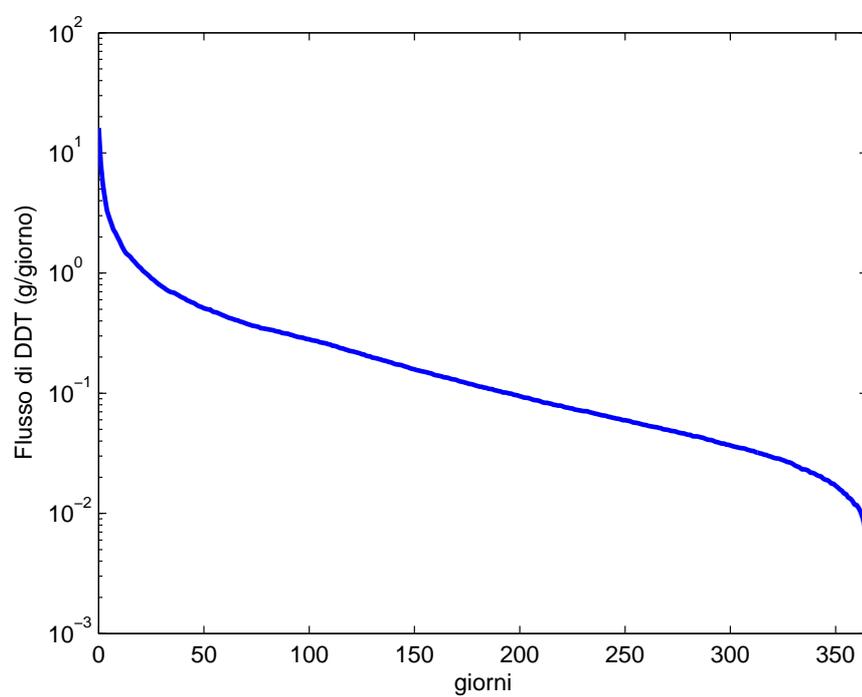


Figura 5.10: Curva di durata dei flussi di DDT al Lago Maggiore, calcolato con riferimento ai dati disponibili tra maggio 2008 e dicembre 2009.

che i valori di f_{DDT} mostrati nella Figura 5.10 sono valori medi, rispetto ai quali possono verificarsi scostamenti più o meno consistenti a causa della variabilità naturale dei flussi (rappresentata dalla presenza dei punti che nella Figura 5.9 si discostano dalla curva interpolante).

La curva di durata dei flussi è indice della variabilità annuale dell'apporto di DDT al Lago Maggiore conseguente alle diverse intensità di trasporto di materiale fine da parte della corrente. Dal punto di vista ambientale un'informazione di grande interesse è costituita dalla quantità di DDT che in media viene recapitata ogni anno dal Toce al lago. Questa quantità è rappresentata dal valore medio $\overline{f_{DDT}}$ del flusso e può essere ricavato per mezzo di un'integrazione della curva di durata dei flussi. Il valore che si ottiene da questa operazione è $\overline{f_{DDT}} = 0.33$ g/giorno, che corrisponde ad un apporto medio di 120 grammi di DDT che ogni anno raggiungono il Lago Maggiore attraverso il bacino del Toce. Come osservato in precedenza, tale valore rappresenta una media rispetto alla quale possono verificarsi fluttuazioni annuali al variare del trasporto solido in sospensione (legato all'ammontare complessivo della precipitazione annua) e della concentrazione di DDT nei sedimenti fini trasportati. Si noti che nel grafico della Figura 5.9 il valore medio $\overline{f_{DDT}}$ corrisponde a valori di portata relativamente ridotti (intorno a 80-90 m³/s), di poco superiori alla portata media del Toce (circa 70 m³/s). Questo risultato indica che l'apporto di DDT non avviene esclusivamente in occasione dei grandi eventi di piena ma anche in condizioni di portate ordinarie, le quali sono in grado di movimentare quantità di sedimenti fini – e quindi di DDT – relativamente modeste rispetto alle piene ma con frequenze abbastanza elevate da contribuire significativamente all'apporto di DDT al Lago Maggiore.

5.4 Commenti ai risultati

Le considerazioni modellistiche descritte in questo capitolo hanno permesso di ipotizzare un quadro fenomenologico in grado di spiegare la dinamica del DDT all'interno del bacino del Toce. Le conclusioni principali possono essere così sintetizzate:

1. il DDT attualmente presente all'interno del bacino del Toce tende a degradarsi nel tempo a causa dei processi di degradazione naturale. Il processo evolve piuttosto lentamente, con tempi caratteristici dell'ordine dei decenni;
2. l'azione principale delle piogge è di tipo indiretto, legata alla movimentazione dei sedimenti in occasioni di eventi pluviometrici in grado di innescare fenomeni franosi o di trasportare i sedimenti fini per ruscellamento superficiale. L'eventuale apporto di DDT da parte delle precipitazioni (sia in forma disciolta che secca) e la lisciviazione del terreno legata alle piogge hanno invece un ruolo meno rilevante;

3. i sedimenti fini che raggiungono il corso d'acqua vanno incontro ad un processo di lisciviazione, con passaggio di DDT dalla matrice solida a quella liquida. È ragionevole pensare che questo processo possa avvenire sia in condizioni di portata ordinaria o di piena, quando i sedimenti si trovano in sospensione, sia in condizioni di magra, quando i sedimenti depositati sul fondo vengono progressivamente dilavati dai flussi iporreici tra fiume e alveo. Complessivamente, il processo di lisciviazione non altera l'apporto di DDT al lago Maggiore ma contribuisce a spiegare la variabilità delle concentrazioni nei solidi sospesi in funzione della portata osservata sui campioni raccolti nella sezione di Candoglia.
4. i dati a disposizione hanno permesso di stimare un apporto medio di circa 120 grammi di DDT all'anno verso il Lago Maggiore. Il flusso di DDT verso il lago è tendenzialmente maggiore durante gli eventi di piena, in quanto questi trasportano quantità elevate di materiale in sospensione. Tuttavia la frequenza relativamente modesta di questi eventi fa sì che il contributo maggiore all'apporto di DDT al Lago Maggiore sia legato alle portate medio-basse, che trasportano flussi ridotti di DDT ma per tempi lunghi.

Capitolo 6

Conclusioni

Al fine di una maggiore chiarezza si raccolgono qui di seguito per punti le conclusioni del lavoro svolto.

- Le misure di trasporto solido in sospensione e le misure svolte dall'ARPA hanno confermato i timori iniziali, ricordati nell'Introduzione, riguardo la possibilità di utilizzare modelli matematici sofisticati. Il quadro infatti che è scaturito dalle misure di trasporto solido è profondamente differente da quanto sarebbe prevedibile con i modelli ad oggi disponibili. Un esempio eclatante di ciò è stata la misura di trasporto solido in sospensione presentata nel Capitolo 4: non solo i valori di concentrazione sono diversi da quanto previsto dalle usuali teorie di trasporto solido all'equilibrio, ma il loro stesso andamento spaziale nella sezione è qualitativamente differente. Queste constatazioni ci hanno quindi confortato nella nostra scelta iniziale di come affrontare il problema oggetto di studio. Ovvero dedicare gli sforzi soprattutto ad osservare e misurare il fenomeno di trasporto e poi a cercare di trarre considerazioni generali inquadrando tali misure in modelli di bilancio.
- La collaborazione con l'ARPA si è rivelata assolutamente fondamentale. Senza le misure chimiche e, soprattutto, senza l'introduzione di un nuovo misuratore di particelle fini capace di raccogliere per tempi lunghi tale trasporto fine non sarebbe stato possibile avere le misure in condizioni di basse portate, che si sono rivelate molto importanti per i ragionamenti svolti nel Capitolo 5. Si ritiene quindi un bel successo per la Regione aver impostato sin dall'inizio questo lavoro inquadrandolo in una collaborazione tra ingegneri e chimici.
- In base alle caratteristiche fisico-chimiche del DDT, si può ritenere che esso si trovi presente nel bacino del Toce adeso soprattutto alle particelle solide più fini. La distribuzione spaziale della concentrazione di DDT nel suolo dipende quindi da molti fattori, quali la distanza dal sito di Pieve Vergonte,

la distribuzione spaziale della concentrazione di particelle fini nei suoli, il loro uso, la presenza di eventuali scariche abusive, l'esposizione a correnti d'aria dominanti, ecc.

Indipendentemente però da dove si trovino tali particelle contaminate, un punto pare fermo: sinchè tali particelle si trovano nel suolo (sia esso sui versanti o nella regione riparia del reticolo idrografico) il DDT decade molto lentamente. In particolare le piogge non sono certamente un mezzo sufficiente per dilavare tale DDT, che quindi (se le particelle rimangono ferme) è destinato a decadere su scale temporali dell'ordine delle decine di anni.

- La dinamica delle particelle che riescono ad essere trasportate dal ciclo idrologico a scala di bacino può dipendere dal ruscellamento superficiale durante gli eventi meteorici, dal moto di filtrazione o, ancora, dalle dinamiche innescate dai movimenti franosi conseguenti ad eventi meteorici intensi o prolungati. In questo caso le particelle vengono veicolate nella rete idrografica (e di qui nell'asta principale del Toce) e in questo modo si trovano a contatto per un tempo prolungato con grandi volumi d'acqua. Intendendo grandi rispetto ai modesti volumi di acqua piovana che lambiscono le particelle se esse invece rimangono ferme nei suoli.

Il prolungato contatto tra particelle fini e acqua comporta un significativo processo di lisciviazione del DDT adeso. Tale processo è significativo sia in condizioni di portata liquida elevata sia in condizioni di portata modesta. Ciò che cambia è il meccanismo fisico che porta al contatto tra particelle e acqua: mentre nel caso di portate elevate la maggior parte delle particelle sono in sospensione (si ricordino i risultati del Capitolo 4) e quindi si trovano immerse nella corrente, nel caso di portate di magra la maggior parte delle particelle si troverà sul fondo e, in tal caso, saranno i flussi iporreci ad essere i maggiori responsabili della lisciviazione.

Il predominare di un meccanismo piuttosto dell'altro contribuisce a spiegare la complessità del legame tra portata liquida e concentrazione nei solidi osservata nei campioni raccolti nella sezione di Candoglia.

- I flussi maggiori di DDT al lago sono generalmente associati con le portate maggiori – essendo queste capaci di trasportare elevate portate solide in sospensione – tuttavia il trasporto di DDT avviene anche alle portate medie e basse, seppure in questo caso i flussi di DDT siano tendenzialmente minori. Questo risultato, unito al fatto che le portate elevate si presentano raramente nel corso d'acqua, comporta che verosimilmente, almeno in base ai dati a disposizione, i volumi maggiori di DDT sono veicolati nel lago Maggiore dalle portate medio-basse.
- Non v'è quindi da attendersi l'esistenza di una soglia di portata sopra la quale il trasporto di DDT si attiva e sotto la quale non c'è apporto di DDT

al lago. Piuttosto, il trasporto è continuo con una correlazione positiva tra portata liquida e portata di DDT, ma con una non ovvia relazione tra portata liquida e concentrazione di DDT sui sedimenti.

Al termine dei due anni di lavoro e unitamente a quanto svolto dall'ARPA si può assimilare lo studio svolto ad una sorta di indagine indiziaria in cui inizialmente ben poco era noto. Il risultato è stato quello di riuscire a delineare un quadro dei processi di trasporto del DDT plausibile con i dati misurati, permettendo così di sovvertire la supposizione iniziale che prevedeva un trasporto significativo solo durante le grosse piene.

E' però evidente che, seppure ottenuti con grossi sforzi e per questo preziosi, i dati a disposizione sono in numero molto ridotto rispetto al necessario. Pertanto, un proseguimento del lavoro sarebbe certo auspicabile, al fine di raccogliere ulteriori dati. Essi permetterebbero di suffragare più precisamente quanto delineato nel presente lavoro e di ricavare stime più precise delle masse di DDT recapitate nel lago Maggiore.

Appendice A

Analisi statistica per la valutazione della frequenza cumulata

La curva di frequenza cumulata è ottenuta associando ad ogni valore la sua posizione i -esima nella serie ordinata in senso crescente. La frequenza $F(x_i)$ dell' i -esima osservazione è espressa in forma generale con la formula [12]

$$F(x_i) = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha} \quad (\text{A.1})$$

in cui N rappresenta la numerosità del campione, nel nostro caso pari a 56, ed α rappresenta un parametro dipendente dalla distribuzione di probabilità del campione di valori.

Nel caso specifico trattato sono analizzate 12 diverse serie di dati estratte dalle stesse serie annuali. Volendo mantenere lo stesso criterio di stima e valutazione dei parametri per ognuna delle serie, si sceglie di utilizzare la formula di Gringorten per la stima della frequenza $F(x_i)$. Ciò comporta assumere il parametro α della (A.1) pari a 0.44 ottenendo

$$F(x_i) = \frac{i - 0.44}{N + 0.12} \quad (\text{A.2})$$

formula intermedia tra quella di Cunnane, valida per distribuzioni debolmente asimmetriche e caratterizzata da $\alpha = 0.4$, e quella di Hazen, valida per distribuzioni fortemente asimmetriche e caratterizzata da $\alpha = 0.5$

A.1 Periodo di ritorno T

Nota che sia la frequenza $F(x_i)$ o la distribuzione di probabilità $P(x_i)$ è possibile determinare anche il valore x_T che assume la grandezza in esame per un fissato

periodo di ritorno T . La $P(x)$, ad esempio, misura la probabilità che il massimo valore assunto dalla grandezza non superi x . In un periodo di N anni l'evento consistente nel superamento di x si verificherà mediamente $N(1 - P(x))$ volte. Il periodo di ritorno T rappresenta così il numero di anni in cui, mediamente, x è raggiunto una sola volta. In questo modo si ottiene

$$T = \frac{1}{1 - P(x)} \quad (\text{A.3})$$

A.2 Metodo dei momenti

La stima dei parametri di una distribuzione adottando il metodo dei momenti [12] consiste semplicemente nell'eguagliare i momenti campionari con quelli calcolati dalla distribuzione. Alla media $\mu(x)$ della popolazione della variabile casuale x si sostituisce la media $m(x)$ del campione di N osservazioni estratto dalla popolazione, alla varianza $\sigma^2(x)$ la varianza campionaria $s^2(x)$ e così via.

Gli stimatori ottenuti con il metodo dei momenti sono asintoticamente indistorti, mentre può esserci una distorsione per dimensioni campionarie ridotte, anche quando si usano stimatori indistorti dei momenti campionari. I momenti di ordine più elevato, inoltre, tendono ad avere una varianza di stima molto più alta di quelli di ordine basso. Per tale motivo, il metodo dei momenti può diventare particolarmente inefficiente quando la dimensione campionaria è ridotta.

Nella presente analisi si farà riferimento alla seguente simbologia, utilizzata per identificare i momenti di ordine r e le altre grandezze statistiche di rilievo utili a definire i parametri delle varie distribuzioni:

- media campionaria (momento del primo ordine)

$$m_{1,N}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{A.4})$$

- varianza campionaria (momento del secondo ordine)

$$m_{2,N-1}^2(x) = \frac{N}{N-1} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x_i - m_1(x)]^2 \quad (\text{A.5})$$

in cui il parametro $N/N - 1$ permette di considerare il campione indistorto

- momento del terzo ordine

$$m_{3,N-2}^3(x) = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x_i - m_1(x)]^3 \quad (\text{A.6})$$

in cui il parametro $N/[(N-1)(N-2)]$ permette di considerare il campione indistorto

- coefficiente di variazione

$$CV(x) = \frac{m_{2,N-1}(x)}{m_{1,N}(x)} \quad (\text{A.7})$$

- coefficiente di asimmetria (*skewness*)

$$\gamma(x) = \frac{m_{3,N-2}^3(x)}{m_{2,N-1}^3(x)} \quad (\text{A.8})$$

A.3 Metodo degli L-momenti

Gli L-momenti sono delle funzioni lineari dei momenti pesati in probabilità [9], questi ultimi definiti con relazioni tipo

$$M_r = E(x [F_X(x)]^r) = \int_0^1 x(F) F^r dF \quad (\text{A.9})$$

che a loro volta sono degli analoghi dei classici momenti, ossia variabili statistiche atte a rappresentare ben definite proprietà di una distribuzione di probabilità o di un campione di dati.

Gli L-momenti sono stati introdotti al fine di attribuire un più chiaro significato ai momenti pesati in probabilità, definiti tramite la (A.9). In particolare, se si scrive

$$\begin{aligned} L_1 &= M_0 \\ L_2 &= 2 M_1 - M_0 \\ L_3 &= 6 M_2 - 6 M_1 + M_0 \\ L_4 &= 20 M_3 - 30 M_2 + 12 M_1 - M_0 \end{aligned} \quad (\text{A.10})$$

si ottengono le statistiche atte a rappresentare rispettivamente la posizione, la scala, l'asimmetria e l'appiattimento di una distribuzione di probabilità o di un campione di dati.

Per il calcolo degli L-momenti campionari è necessario per prima cosa ottenere i momenti pesati in probabilità campionari, per poi combinarli linearmente secondo quanto riportato nelle relazioni (A.10) e sfruttando la relazione $m_j = M_j$. Infine i momenti pesati in probabilità campionari si ottengono calcolando le seguenti

statistiche:

$$\begin{aligned}
 m_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \\
 m_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{i-1}{N-1} x_i \\
 m_2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(i-1)(i-2)}{(N-1)(N-2)} x_i \\
 m_3 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(i-1)(i-2)(i-3)}{(N-1)(N-2)(N-3)} x_i
 \end{aligned} \tag{A.11}$$

A.4 Distribuzione esponenziale

La distribuzione esponenziale è caratterizzata da una funzione di probabilità definita dalla relazione

$$P(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x - \xi}{\alpha}\right) \tag{A.12}$$

in cui il parametro di posizione ξ e il parametro di scala α sono definiti rispettivamente come

$$\begin{aligned}
 \xi &= \mu(x) - \sigma(x) \\
 \alpha &= \sigma(x)
 \end{aligned} \tag{A.13}$$

mentre il quantile della distribuzione di assegnata probabilità $P(x)$ vale

$$x = \xi - \alpha \ln(1 - P(x)) \tag{A.14}$$

Utilizzando il metodo dei momenti per la stima dei parametri si può definire

$$\begin{aligned}
 \mu(x) &= m_{1,N}(x) \\
 \sigma(x) &= m_{2,N-1}(x)
 \end{aligned} \tag{A.15}$$

che sostituiti nelle (A.13) permettono di definire la distribuzione. Applicando il metodo degli L-momenti, invece, una volta definiti i momenti pesati in probabilità tramite le (A.11) si ricava

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 2L_2 \\
 \xi &= L_1 - \alpha
 \end{aligned} \tag{A.16}$$

A.5 Distribuzione di Gumbel

La distribuzione Gumbel è definita dalla relazione

$$P(x) = \exp [\exp [-\alpha (x - \xi)]] \quad (\text{A.17})$$

in cui il parametro di posizione ξ e il parametro di scala α valgono rispettivamente

$$\begin{aligned} \xi &= \mu(x) - \frac{0.5772}{1.283} \sigma(x) \\ \alpha &= \frac{1.283}{\sigma(x)} \end{aligned} \quad (\text{A.18})$$

in cui $\mu(x)$ e $\sigma(x)$ rappresentano rispettivamente la media e la deviazione standard della distribuzione.

Nota la probabilità $P(x)$, il rispettivo quantile è ricavabile come

$$x = -\frac{1}{\alpha} \ln \left[\ln \left(\frac{1}{P} \right) \right] + \xi \quad (\text{A.19})$$

Utilizzando il metodo dei momenti per la stima dei parametri si può definire

$$\begin{aligned} \mu(x) &= m_{1,N}(x) \\ \sigma(x) &= m_{2,N-1}(x) \end{aligned} \quad (\text{A.20})$$

che sostituiti nelle (A.18) permettono di definire la distribuzione.

In base al metodo degli L-momenti, invece, una volta definiti i momenti pesati in probabilità tramite le (A.11) si ricava

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\ln(2)}{L_2} \\ \xi &= L_1 - \frac{0.5772}{\alpha} \end{aligned} \quad (\text{A.21})$$

A.6 Distribuzione GEV

La distribuzione GEV (Generalized Extreme Value) è definita dalla relazione [10]

$$P(x) = \exp [-\exp (-y)] \quad (\text{A.22})$$

in cui il parametro y è a sua volta definito come

$$y = \begin{cases} -\frac{1}{k} \ln \left(1 - k \frac{x-\xi}{\alpha} \right) & \text{se } k \neq 0 \\ \frac{x-\xi}{\alpha} & \text{se } k = 0 \end{cases} \quad (\text{A.23})$$

in cui ξ è il parametro di posizione, α è il parametro di forma e k è il parametro di scala.

Nota la probabilità $P(x)$, il rispettivo quantile è ricavabile dall' espressione

$$x = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \ln^k \left(\frac{1}{P} \right) \right] \quad (\text{A.24})$$

valida per $x \neq 0$. Nel caso in cui $k = 0$ ci si riconduce alla distribuzione di Gumbel ed il quantile è determinabile tramite la (A.19).

Utilizzando il metodo dei momenti per la stima dei parametri si ricava innanzitutto il parametro di scala k risolvendo la

$$\gamma(x) = \frac{-\Gamma(1 + 3k) + 3\Gamma(1 + k)\Gamma(1 + 2k) - 2\Gamma(1 + k)^3}{(\Gamma(1 + 2k) - \Gamma(1 + k)^2)^{3/2}} \quad (\text{A.25})$$

noto il quale mediante la relazione

$$\sigma^2(x) = m_{2,N-1}^2 = \frac{\alpha}{k} (\Gamma(1 + 2k) - \Gamma(1 + k)^2) \quad (\text{A.26})$$

si ricava il paramatro di forma α . Infine il parametro di posizione ξ si ottiene dalla relazione

$$\mu(x) = m_{1,N} = x + \frac{\alpha}{k} (\Gamma(1 + k) - 1) \quad (\text{A.27})$$

in modo da definire compiutamente la distribuzione (A.22).

In base al metodo degli L-momenti, invece, una volta definiti i momenti pesati in probabilità tramite le (A.11) si ricava

$$\begin{aligned} L_1 &= x + \frac{\alpha}{k} (1 - \Gamma(1 + k)) \\ L_2 &= \frac{\alpha}{k} (1 - 2^{-k}) \Gamma(1 + k) \\ \frac{L_3}{L_2} &= 2 \frac{(1 - 3^{-k})}{(1 - 2^{-k})} - 3 \end{aligned} \quad (\text{A.28})$$

da cui ricavare i tre parametri k , α e ξ .

A.7 Verifica del modello probabilistico

L'elaborazione statistica dei dati comporta un certo numero di ipotesi, quali ad esempio la forma della distribuzione ed il metodo utilizzato per stimare i parametri. Data una qualsiasi ipotesi statistica H_0 , occorre misurarne la validità di fronte all'ipotesi alternativa H_1 , che esiste sempre anche se non esplicitamente formulata. Un test statistico è un procedimento che consente di decidere, sulla base delle osservazioni a disposizione, se accettare l'ipotesi H_0 oppure rigettarla. Si definisce *livello di significatività del test* la probabilità α di rigettare l'ipotesi H_0 quando essa è vera (errore di tipo I), mentre si definisce *potenza del test* la probabilità di rigettare H_0 quando essa è falsa. Questa probabilità vale $1 - \beta$, dove β è la probabilità di commettere un errore di tipo II (accettare H_0 quando vale H_1).

Test di Pearson o del χ^2

Il test di Pearson richiede che il campo di esistenza della variabile x venga suddiviso in k intervalli che si escludono a vicenda. Se l' i -esimo intervallo è definito dagli estremi $x_{i,inf}$ e $x_{i,sup}$, si avrà che la probabilità che un'osservazione qualsiasi ricada nell' i -esimo intervallo, se l'ipotesi H_0 è vera, vale $p_i = F_X(x_{i,sup}) - F_X(x_{i,inf})$. Il numero atteso di elementi nell'intervallo i -esimo, sempre se H_0 è vera, vale pertanto np_i . Il test di Pearson consiste nel confrontare tale numero con il numero di osservazioni n_i che effettivamente ricadono nell'intervallo. Se si vogliono confrontare tutti gli intervalli contemporaneamente, si può utilizzare la grandezza statistica

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (\text{A.29})$$

Al crescere di n la distribuzione della (A.29) tende asintoticamente ad una distribuzione del χ^2 con $k - 1$ gradi di libertà, quando i parametri della distribuzione ipotetica non sono stati stimati dalle osservazioni. Il grado di libertà γ è il parametro della distribuzione χ^2 , mentre $k - 1$, dipendente dal numero k di classi individuato, è il valore che a tale parametro si assegna per poter determinare i quantili della distribuzione.

Il fatto che la distribuzione asintotica sia nota consente di effettuare il test andando a confrontare il valore della statistica empirica riscontrato per una data distribuzione ed un dato campione, con quello della distribuzione teorica, ottenuto prendendo il quantile $(1 - \alpha)$ della distribuzione del χ^2 con $k - 1$ gradi di libertà, $\chi_{1-\alpha}^2(k - 1)$. Se $X^2 < \chi_{1-\alpha}^2(k - 1)$ si è nella regione di accettazione del test, altrimenti l'ipotesi H_0 viene rigettata al livello di significatività α .

La potenza del test viene massimizzata quando si scelgono classi equiprobabili, $p_1 = p_2 = \dots = p_k = k/N$, con $k = 2N^{0.4}$, condizione che porta nel caso qui esaminato, essendo $N = 56$, a considerare $k = 10$ classi. I limiti della classe i -esima sono i quantili della distribuzione $P(x)$, secondo le relazioni $x_{i,sup} = P_X^{-1}\left(\frac{i}{k}\right)$ e $x_{i,inf} = P_X^{-1}\left(\frac{i-i}{k}\right)$, che individuano rispettivamente il limite superiore ed inferiore di ogni classe.

Nel particolare caso in esame si ha un numero di classi $k = 10$ e un numero di gradi di libertà $f = k - m - 1$, con m numero di parametri della distribuzione adottata, da cui si ricava che per la distribuzione esponenziale e la distribuzione di Gumbel, essendo $m = 2$, si ha $f = 7$, mentre per la distribuzione GEV, essendo $m = 3$, si ricava $f = 6$. Adottando un livello di significatività pari a 0,05, il valore di χ^2 deve essere compreso tra 14,1 e 2,12 per la distribuzione esponenziale e per la Gumbel, mentre deve essere compreso tra 12,6 e 1,64 per la GEV.

Test del segno

Questo test è eseguito basandosi su una variabile binomiale

$$\delta = \text{segno}(P - F) \quad (\text{A.30})$$

che può assumere i valori $+1$ e -1 , avendo indicato con P la distribuzione in analisi mentre F rappresenta la frequenza cumulata dei valori della serie di dati in esame. Se la curva $P(x)$ rappresenta in modo soddisfacente la variabile, allora le frequenze cumulate $F(x)$ si trovano approssimativamente in numero uguale sopra e sotto la curva $P(x)$.

Il test è effettuato stabilendo il valore minimo di soglia w di volte in cui devono essere presenti i valori $+1$ e -1 dei δ calcolato secondo la relazione

$$P(x) = \binom{N}{w} (0.5)^w (0.5)^{N-w}. \quad (\text{A.31})$$

Nel caso esaminato, posto $N = 56$ e stabilendo un livello di significatività $\alpha = 0,05$, si ottiene dalla (A.31) $w = 19$. Si dovrà avere quindi la presenza di almeno 19 volte $\delta = +1$ e 19 volte $\delta = -1$.

A.8 Scelta del modello probabilistico

L'analisi dei valori massimi delle portate medie giornaliere ha previsto, per ciascun anno di osservazione, l'estrazione dei valori massimi per ogni mese. Ciascuna di queste 12 serie è stata analizzata secondo la procedura statistica descritta precedentemente.

A ciascuna delle 12 serie di dati, di numerosità $N = 56$ sono state applicate le 3 distribuzioni di probabilità (esponenziale, Gumbel e GEV) valutando i parametri con due modalità: metodo dei momenti e metodo degli L-momenti. L'applicazione dei test statistici di Pearson e del segno ha permesso di identificare la distribuzione migliore con la quale considerare distribuiti le osservazioni. Naturalmente, al fine di rendere confrontabili i risultati, la valutazione d'affidabilità è stata fatta complessivamente sulle 12 serie, definendo in questo modo una sola distribuzione che sia in grado di descrivere tutte 12 le serie. Nel seguito sono riportati i risultati ottenuti.

Per prima cosa si è notato che la distribuzione GEV con i parametri valutati con il metodo dei momenti ha presentato, per tutti i 12 mesi, un valore del parametro k molto prossimo a zero (dell'ordine di grandezza di $2 \cdot 10^{-4}$), riducendo praticamente la GEV alla equivalente distribuzione di Gumbel.

Dalla Tabella A.1 si nota che il test del χ^2 è stato superato nella maggior parte dei casi dalla GEV con i parametri valutati tramite metodo degli L-momenti, seguita dalla distribuzione esponenziale, con i parametri valutati sempre tramite metodo degli L-momenti. Il test del segno (Tabella A.2) è invece superato per tutte le distribuzioni ad eccezione della Gumbel con parametri valutati con il metodo degli L-momenti.

Tabella A.1: Risultati test del χ^2 applicato alle distribuzioni adottate.

Distribuzioni di probabilità						
mese	ESPONENZIALE		GUMBEL		GEV	
	metodo dei momenti	L-momenti	metodo dei momenti	L-momenti	metodo dei momenti	L-momenti
Gen	no	si	no	si	no	si
Feb	no	no	no	no	no	si
Mar	no	no	no	no	no	si
Apr	no	no	no	no	no	si
Mag	si	si	no	no	no	no
Giu	si	si	no	si	no	si
Lug	no	si	no	no	no	si
Ago	no	no	no	no	no	si
Set	no	no	no	no	no	no
Ott	no	no	no	no	no	no
Nov	no	no	no	no	no	no
Dic	si	si	no	si	no	si

Tabella A.2: Risultati test del segno applicato alle distribuzioni adottate.

Distribuzioni di probabilità						
mese	ESPONENZIALE		GUMBEL		GEV	
	metodo dei momenti	L-momenti	metodo dei momenti	L-momenti	metodo dei momenti	L-momenti
Gen	si	si	si	si	si	si
Feb	si	si	si	si	si	si
Mar	si	si	si	no	si	si
Apr	si	si	si	si	si	si
Mag	si	si	si	si	si	si
Giu	si	si	si	si	si	si
Lug	si	si	si	no	si	si
Ago	si	si	si	si	si	si
Set	si	si	si	si	si	si
Ott	si	si	si	si	si	si
Nov	si	si	si	si	si	si
Dic	si	si	si	si	si	si

Dall'analisi condotta risulta essere più performante la distribuzione GEV con parametri stimati in base al metodo dei L-momenti. Questa distribuzione approssima bene le serie per valori della probabilità ridotti. Al tendere di $P(x)$ al valore 1, quindi nel campo degli eventi estremi di interesse nell'analisi, presenta una sovrastima dei valori di portata media giornaliera rispetto a quanto stimato dalle altre distribuzioni. Questa tendenza a sovrastimare può essere confrontata con i valori di portata al colmo proposti per lo stesso bacino idrografico nel rapporto VAPI-Piemonte [18]. Il valore massimo della portata media giornaliera per un periodo di ritorno di 100 anni, riscontrabile per la distribuzione GEV (metodo L-momenti) nel mese di settembre, risulta di poco inferiore a $2500 \text{ m}^3/\text{s}$. La portata al colmo di piena stimata nel rapporto VAPI (utilizzando una procedura regionale basata su una distribuzione TCEV) è di poco superiore ai $3700 \text{ m}^3/\text{s}$, con un rapporto tra portata media giornaliera e colmo di circa 1.5, in linea con quanto osservato dai dati reali per il bacino del Toce.

Al crescere del periodo di ritorno, però, la GEV fornisce un valore di portata media giornaliera con periodo di ritorno di 500 anni di circa $5700 \text{ m}^3/\text{s}$, valore superiore a quello stimato nel rapporto VAPI-Piemonte [18] di circa $5300 \text{ m}^3/\text{s}$ per le portate al colmo.

Nonostante questo confronto tra i valori stimati in questo studio ed i risultati dello studio VAPI, si ritiene atta a descrivere l'andamento delle portate medie giornaliere per il bacino in esame la distribuzione GEV con parametri valutati con il metodo degli L-momenti.

Elenco delle figure

2.1	Contesto geografico in cui è inserito il bacino del fiume Toce, indicato in arancione (fonte: Google Maps).	6
2.2	Individuazione dei bacini principali all'interno del bacino del fiume Toce.	7
2.3	Bacini principali all'interno del bacino del fiume Toce, e loro sovrapposizione al DEM.	9
2.4	Principali usi del suolo per il bacino idrografico del fiume Toce a monte della sezione di chiusura di Candoglia (fonte: RAPHAEL project).	11
2.5	Estratto delle CTR per l'area in prossimità della sezione di Candoglia.	12
2.6	Immagine aerea dell'area in prossimità della sezione di Candoglia (fonte: Google Maps).	12
3.1	Regime idrometrico medio per il bacino idrografico del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia.	14
3.2	Esempio di periodicità a scala settimanale rilevata nelle serie storiche delle portate medie giornaliere, ed imputabile alla presenza di numerosi impianti idroelettrici presenti nel reticolo fluviale del fiume Toce.	16
3.3	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1935 - 1941.	17
3.4	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1943 - 1948.	17
3.5	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1949 - 1954.	18
3.6	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1955 - 1960.	18
3.7	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1962 - 1964.	19
3.8	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1978 - 1984.	19
3.9	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1985 - 1990.	20
3.10	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 1991 - 1999.	20
3.11	Serie storica delle portate medie giornaliere nel periodo 2000 - 2006.	21
3.12	Curva di durata delle portate, rappresentata in scala normale (a) e con l'asse delle ordinate in scala logaritmica (b).	22
3.13	Curva di durata delle portate a scala mensile.	24
3.14	Curva di durata delle portate a scala mensile.	24

3.15	Curva di durata delle portate a scala mensile.	25
3.16	Curva di durata delle portate a scala mensile.	25
3.17	Curva di durata delle portate a scala mensile.	26
3.18	Curva di durata delle portate a scala mensile.	26
3.19	Curva di durata delle portate a scala mensile.	27
3.20	Curva di durata delle portate a scala mensile.	27
3.21	Curva di durata delle portate a scala mensile.	28
3.22	Curva di durata delle portate a scala mensile.	28
3.23	Curva di durata delle portate a scala mensile.	29
3.24	Curva di durata delle portate a scala mensile.	29
3.25	Portate medie mensili nel periodo 1935-2006. Sono stati indicati i valori minimi, medi e massimi delle portate medie mensili.	31
3.26	Numero di giornate in cui sono stati superati i valori di soglia indicati per le portate medie giornaliere.	32
3.27	Portate medie giornaliere in funzione del periodo di ritorno T.	32
3.28	Confronto tra eventi di piena con valore al colmo simile, ma diversa durata.	34
3.29	Rapporto tra la portata giornaliera e la portata al colmo per diversi eventi di piena. E' stata mantenuta la suddivisione tra i due periodi temporali analizzati.	35
3.30	Individuazione dei siti di misura delle portate e delle analisi di granulometria ed inquinanti all'interno del bacino del fiume Toce (immagine di sfondo tratta da Google Maps).	38
3.31	Stazioni di misura delle precipitazioni utilizzate nell'analisi.	40
3.32	Idrogramma relativo al periodo 28/05/2008 – 06/06/2008 per la sezione di Baceno, torrente Devero.	41
3.33	Idrogramma relativo al periodo 28/05/2008 – 06/06/2008 per la sezione di Pontetto, t. Isorno.	41
3.34	Idrogramma relativo al periodo 28/05/2008 – 06/06/2008 per la sezione di Domodossola, f. Toce.	41
3.35	Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 28 – 31 maggio 2008.	42
3.36	Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Baceno, t. Devero.	43
3.37	Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Pontetto, t. Isorno.	43
3.38	Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Domodossola, f. Toce.	44
3.39	Idrogramma relativo al periodo 3-11 novembre 2008 per la sezione di Candoglia, f. Toce.	44
3.40	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 3-6 novembre 2008.	46
3.41	Precipitazioni giornaliere cumulate nel giorno 7 novembre 2008.	47
3.42	Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Baceno, t. Devero.	47

3.43	Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Pontetto, t. Isorno.	48
3.44	Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Domodossola, f. Toce.	48
3.45	Idrogramma relativo al periodo 26/04/2009 – 02/05/2009 per la sezione di Candoglia, f. Toce.	48
3.46	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 26-29 aprile 2009 . . .	50
3.47	Precipitazioni giornaliere cumulate nel giorno 30 aprile 2009. . . .	51
3.48	Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.	51
3.49	Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.	52
3.50	Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.	52
3.51	Idrogramma relativo al periodo 05/01/2009 - 20/01/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.	52
3.52	Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 7 – 10 gennaio 2009. . .	53
3.53	Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 18 – 19 gennaio 2009. . .	54
3.54	Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.	55
3.55	Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.	55
3.56	Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.	55
3.57	Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.	56
3.58	Idrogramma relativo al periodo 19/08/2009 – 31/08/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.	56
3.59	Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo 18 – 19 gennaio 2009. . .	57
3.60	Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.	58
3.61	Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.	58
3.62	Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.	58
3.63	Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.	59
3.64	Idrogramma relativo al periodo 14/10/2009 – 30/10/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.	59
3.65	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 21-24 ottobre 2009. . .	61
3.66	Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.	62

3.67	Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.	62
3.68	Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.	62
3.69	Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.	63
3.70	Idrogramma relativo al periodo 06/11/2009 – 16/11/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.	63
3.71	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 6-9 novembre 2009.	64
3.72	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 10-13 novembre 2009.	65
3.73	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 14-16 novembre 2009.	66
3.74	Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 – 6/12/2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.	67
3.75	Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 – 6/12/2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.	67
3.76	Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 – 6/12/2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.	67
3.77	Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 – 6/12/2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.	68
3.78	Idrogramma relativo al periodo 25/11/2009 – 6/12/2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.	68
3.79	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 25-29 novembre 2009. Il giorno 28 novembre presenta valori di precipitazione inferiori ad 1 mm	70
3.80	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 30 novembre - 3 dicembre 2009.	71
3.81	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 4-8 dicembre 2009. Il giorno 5 dicembre presenta valori di precipitazione inferiori ad 1 mm	72
3.82	Precipitazioni giornaliere cumulate nei giorni 9-10 dicembre 2009.	73
3.83	Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Baceno, torrente Devero.	73
3.84	Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Pontetto, torrente Isorno.	74
3.85	Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Ponte Caddo, torrente Bogna.	74
3.86	Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Domodossola, fiume Toce.	74
3.87	Idrogramma relativo al periodo 10-18 dicembre 2009 per la sezione di Candoglia, fiume Toce.	75
3.88	Precipitazioni giornaliere cumulate nel periodo dal 10 al 18 dicembre 2009. Nei giorni 11-12 e dal 15 al 18 dicembre le precipitazioni non hanno raggiunto valori significativi (< 1 mm).	76

4.1	Posizione dei rilievi batimetrici utilizzati per il calcolo della pendenza. La freccia rossa indica la posizione della stazione idrometrica.	88
4.2	Posizione dei prelievi di sedimenti fluviali per le analisi granulometriche.	89
4.3	Curva di durata dei diametri massimi mobilizzabili.	90
4.4	Distribuzione spaziale della concentrazione di solido sospeso nella sezione di Candoglia.	91
4.5	Localizzazione dei punti di prelievo dei nuovi campioni sedimentologici. Punti P09-P07.	94
4.6	Localizzazione dei punti di prelievo dei nuovi campioni sedimentologici. Punti P07-P05.	95
4.7	Localizzazione dei punti di prelievo dei nuovi campioni sedimentologici. Punti P05-P01.	96
4.8	Altezze critiche per l'innescò del trasporto solido sospeso.	98
4.9	Altezze critiche per l'innescò del trasporto solido di fondo.	98
4.10	Concentrazione di solidi sospesi in funzione della portata liquida. In blu sono riportate le misure della Regione Piemonte, con curva di regressione tratteggiata in nero. I punti in rosso sono le misure dell'ARPA, la linea in rosso tiene conto di questi ultimi dati per la regressione lineare.	100
4.11	Portata in massa di materiale solido sospeso in funzione della portata liquida. In blu sono riportate le misure della Regione Piemonte, con curva di regressione tratteggiata in nero. I punti in rosso sono le misure dell'ARPA, la linea in rosso tiene conto di questi ultimi dati per la regressione lineare.	101
5.1	Precipitazioni medie per i sottobacini in funzione della concentrazione di DDT misurata durante i prelievi in continuo nei sedimenti prelevati in corrispondenza della riva sinistra del Toce e della mezzeria della sezione.	106
5.2	Precipitazioni medie misurate durante i tre eventi di piena considerati in funzione della concentrazione di DDT riscontrata nei campioni prelevati.	107
5.3	Precipitazioni medie misurate in corrispondenza del sito di Pieve Vergonte in funzione delle concentrazioni di DDT misurate.	108
5.4	Precipitazioni medie misurate durante gli eventi considerati in funzione della concentrazione di DDT riscontrata nei campioni prelevati.	109
5.5	Correlazione portate - concentrazione di DDT. Curve interpolanti: Equazione 5.1 (a) e Equazione 5.2 (b).	110
5.6	Evoluzione temporale della concentrazione di DDT nel bacino. Tutte le curve sono state calcolate nell'ipotesi di tasso di decadimento ridotto ($k_{DEG}=0.05 \text{ y}^{-1}$).	114

5.7	Schema concettuale degli scambi iporreici (in nero) tra fiume e sedimenti.	116
5.8	Evoluzione temporale della concentrazione di DDT nei sedimenti sul fondo per lo scenario 1 ($T = 0.7$ giorni). Le curve si riferiscono a diversi punti dell'asta fluviale ($x=0$, linea nera; $x=5$ km, linea blu; $x=10$ km, linea verde; $x=15$ km, linea rossa).	120
5.9	Flusso di DDT trasportato verso il Lago Maggiore in occasione dei dieci eventi di osservazione disponibili tra maggio 2008 e dicembre 2009. I dati in rosso si riferiscono ai valori medi, mentre quelli in nero sono incrementati o ridotti del 75% per includere l'incertezza associata alla stima del trasporto solido in sospensione.	122
5.10	Curva di durata dei flussi di DDT al Lago Maggiore, calcolato con riferimento ai dati disponibili tra maggio 2008 e dicembre 2009.	123

Elenco delle tabelle

2.1	Principali caratteristiche del bacino del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia e dei suoi principali sottobacini (con sezione di chiusura alla confluenza con il fiume Toce), ottenute da analisi del DTM con scala di dettaglio di 250 m.	8
3.1	Eventi di piena causa di fenomeni di alluvione storicamente documentati.	14
3.2	Schema riassuntivo dell'analisi di consistenza dati della serie storica delle portate medie giornaliere registrate per il bacino del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia.	15
3.3	Valori caratteristiche della curva delle portate valutata per il bacino del fiume Toce con sezione di chiusura a Candoglia. Confronto eseguito con i dati riportati nella Pubblicazione 17.	23
3.4	Portata media giornaliera stimata con la distribuzione GEV, con parametri ottenuti applicando il metodo dei L-momenti, al variare del periodo di ritorno. Valori in m^3/s	33
3.5	Confronto tra valori al colmo e portata media giornaliera per il periodo 2000-2006. Q_c portata al colmo, q_g portata media giornaliera.	35
3.6	Confronto tra valori al colmo e portata media giornaliera massima annuale per il periodo 1933-1961. Q_c portata al colmo, q_g portata media giornaliera massima annuale.	36
3.7	Valori di portata per il fiume Toce nella sezione di Candoglia.	75
3.8	Precipitazione cumulata giornaliera, valori minimi registrati per ogni sotto-bacino durante gli eventi considerati.	77
3.9	Precipitazione cumulata giornaliera, valori medi registrati per ogni sotto-bacino durante gli eventi considerati.	80
3.10	Precipitazione cumulata giornaliera, valori massimi registrati per ogni sotto-bacino durante gli eventi considerati.	83
4.1	Valutazione delle condizioni critiche per il trasporto solido. $S_f = 1.8 \cdot 10^{-3}$ (anno 2000)	90
4.2	Valutazione delle condizioni critiche per il trasporto solido. $S_f = 5.7 \cdot 10^{-4}$ (anno 2002)	90

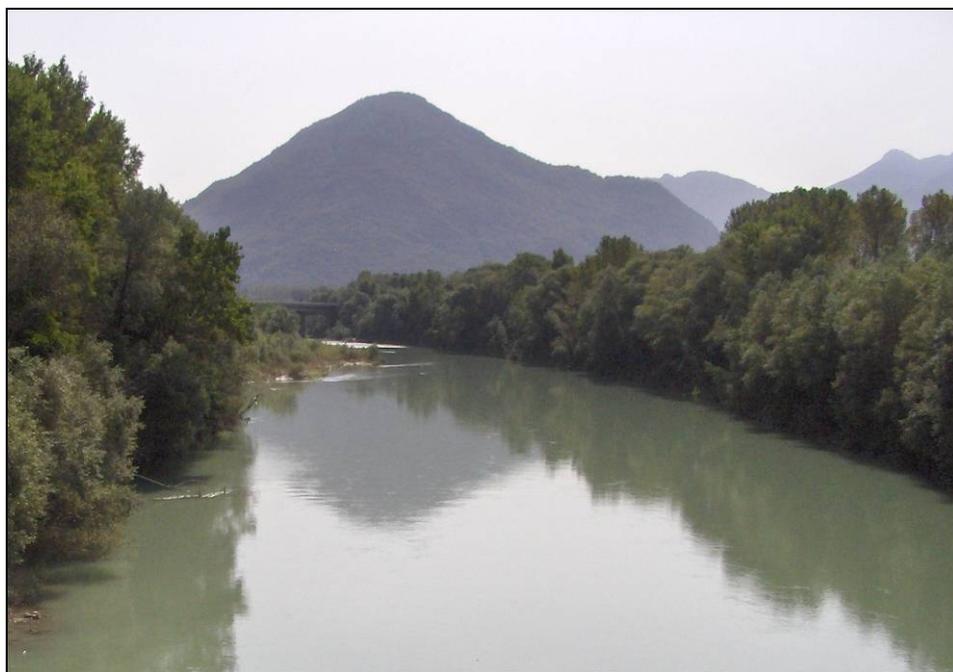
4.3	Coordinate nel sistema UTM dei punti scelti per i prelievi granulometrici lungo l'asta del Toce.	93
4.4	Sintesi delle analisi granulometriche nei campioni prelevati a monte della sezione di Candoglia.	97
5.1	Schema riassuntivo dei dati di portata, precipitazione e concentrazione di DDT misurati. (fonte ARPA Piemonte)	104
5.2	Schema riassuntivo dei dati di precipitazione media (dati in <i>mm</i>).	105
5.3	Valori dei parametri utilizzati per la valutazione dell'evoluzione temporale del DDT nei versanti (equazione 5.6).	113
5.4	Valori dei parametri utilizzati per la valutazione dell'evoluzione temporale del DDT nei sedimenti depositati sul fondo (equazioni 5.9-5.10)	119
A.1	Risultati test del χ^2 applicato alle distribuzioni adottate.	139
A.2	Risultati test del segno applicato alle distribuzioni adottate.	139

Bibliografia

- [1] Armanini A., *Principi di idraulica fluviale*, Castrolibero, 2005.
- [2] Banca dati meteorologica dell'ARPA Piemonte (<http://www.arpa.piemonte.it/annali/meteorologici>)
- [3] Bear J., Verruijt A., *Modeling Groundwater Flow And Pollution*, Reidel Publishing Company, 1987.
- [4] Bocchiola, D., De Michele, C., Pecora, S., Rosso, R., *Sul tempo di risposta dei bacini idrografici italiani*, L'Acqua, n.1, pp.45-55, 2003.
- [5] Brownlie, W.R., *Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels*, Report No. KH-R-43A, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, 1981.
- [6] Evangelisti G., *Impianti idroelettrici*, vol.I Patron Editore, Bologna, 1982.
- [7] Galassi S., Volta P., Calderoni A., Gazzella L., Cycling pp'DDT and pp'D-DE at a watershed scale: the case of Lago Maggiore(Italy), *Journal of Limnology*, 65(2), p.100-106, 2006.
- [8] Gumbel E.J., *Statistics of extremes / by E.J. Gumbel*, New York : Columbia University Press, New York, 1958.
- [9] Hosking J.R.M., Wallis J.R., *Regional Frequency Analysis – An approach based on L-Moments*, Cambridge University Press, 1997.
- [10] Jenkinson, A.F., *The Frequency Distribution of the Annual Maximum (o Minimum) of Meteorological Elements*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Gran Bretagna, 1955.
- [11] LaGrega M.D., Buckingham P.L., Evans J.C., *Hazardous Waste Management*, McGraw-Hill, 1994.
- [12] Maione U., Moisello U., *Elementi di statistica per l'idrologia*, La Goliardica Pavese, Pavia, 1993.

-
- [13] Papoulis A., *Probabilità, variabili aleatorie e processi stocastici*, Boringhieri Editore, Torino, 1977.
- [14] Parker G., *Sediment transport morphodynamics*, http://vtchl.uiuc.edu/people/parkerg/morphodynamics_e-book.htm, 2003, University of Illinois.
- [15] Rapporto finale “Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell’ecosistema Lago Maggiore”, CIP AIS, 2007.
- [16] Regione Piemonte, Assessorato Ambiente, Energia, Risorse idriche, Tutela del Suolo, Lavori Pubblici, Protezione Civile, Tutela, Pianificazione e Vigilanza Parchi, *Rapporto sull’evento alluvionale del 13-16 ottobre 2000*, Versione 5.0, Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione, 24 ottobre 2000.
- [17] Ministero dei Lavori Pubblici – Servizio Idrografico, Dati caratteristici dei corsi d’acqua italiani, Consiglio superiore dei Lavori Pubblici, *Pubblicazione n17 e successivi aggiornamenti*.
- [18] Villani, P. (a cura di), “*Rapporto sulla Valutazione delle piene in Piemonte*”, in “Relazione delle attività del CUGRI fino al 2001”, 89-118, Ed. Del Paguro, Fisciano, 2003 (ISBN 88-87248-35-4).

***Valutazione dell'apporto di DDT dal Fiume Toce al Lago
Maggiore***



Relazione Finale - aprile 2010

Struttura Qualità delle Acque

Data: aprile 2010

Relazione a cura di: Elio Sesia

Le attività sono state realizzate dalla Struttura Qualità delle acque.

Hanno collaborato: il Polo bonifiche per le attività sui sedimenti e le determinazioni del carbonio organico e la Struttura Radiazioni ionizzanti, reti regionali di monitoraggio, sviluppo e ricerca per la sperimentazione dei dispositivi di campionamento dei solidi trasportati.

INDICE

PREMESSA	5
PROGRAMMA ATTIVITA'	6
Attività previste	6
Attività effettuate.....	7
INQUADRAMENTO GENERALE	8
VALUTAZIONE DEI DATI E DELLE CONOSCENZE DISPONIBILI	9
Riferimenti normativi	10
Dati idrologici	12
Dati dei monitoraggi regionali pregressi	14
<i>Solidi sospesi</i>	15
<i>DDT e altri composti di interesse</i>	17
Studi Cipais	19
AREA DI STUDIO E STAZIONI DI MISURA	21
Monitoraggio ordinario.....	23
Campionamenti durante eventi di piena	23
Campionamenti di solidi trasportati.....	24
Campionamenti di sedimenti	24
ATTIVITA' EFFETTUATE	26
Aspetti analitici	26
<i>Metodo di prova per la matrice acqua</i>	29
<i>Metodo di prova per la matrice solidi trasportati e sedimenti</i>	30
Attività di campionamento	30
<i>Monitoraggio ordinario</i>	31
<i>Durante eventi di piena</i>	31
<i>Solidi trasportati</i>	32
<i>Sedimenti</i>	37
RISULTATI OTTENUTI	38
Monitoraggio ordinario.....	38
Campionamenti in eventi di piena	40
<i>Campionamento 30 maggio 2008</i>	41
<i>Campionamento 5 novembre 2008</i>	42
<i>Campionamento 28 aprile 2009</i>	43

<i>Sintesi dei dati ottenuti</i>	44
Solidi trasportati	44
<i>Campionamento 11-17 settembre 2008 (sperimentale)</i>	45
<i>Campionamento 10-20 gennaio 2009 – Candoglia (sperimentale)</i>	48
<i>Campionamento 10-20 gennaio 2009 – Vogogna (sperimentale)</i>	50
<i>Campionamento 19-31 agosto 2009 – Candoglia</i>	51
<i>Campionamento 09-20 ottobre 2009 – Candoglia</i>	54
<i>Campionamento 20-30 ottobre 2009 – Candoglia</i>	56
<i>Campionamento 06-16 novembre 2009 – Candoglia</i>	58
<i>Campionamento 25 novembre-10 dicembre 2009 – Candoglia</i>	60
<i>Campionamento 10-18 dicembre 2009 – Candoglia</i>	62
<i>Sintesi dei dati ottenuti</i>	64
Sedimenti fluviali	67
<i>Campionamenti 29 settembre 2008</i>	67
<i>Campionamenti luglio-agosto 2009</i>	68
VALUTAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI	69
CONCLUSIONI	73
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI	74

PREMESSA

Il rilascio di DDT e congeneri dal sito ex Enichem di Pieve Vergonte, veicolato attraverso il Toce, ha prodotto un accumulo di tali sostanze nell'ecosistema del lago Maggiore, evidenziato a metà anni '90 con la presenza di elevate concentrazioni di questo insetticida clorurato e dei principali metaboliti nella fauna ittica del lago.

Lo stabilimento di Pieve Vergonte è stato successivamente individuato come sito contaminato di interesse nazionale ed è attualmente sottoposto a procedura di bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 (parte quarta, titolo V).

L'impegno di Arpa nell'ambito del progetto "Valutazione dell'apporto di DDT dal Fiume Toce al Lago Maggiore" prevedeva una serie di attività distribuite in 2 fasi, sviluppate nel corso dei 2 anni di durata del progetto che si è concluso ad aprile 2010.

Alcune attività sono state effettuate in modo coordinato con il Dipartimento di Idraulica Trasporti e Infrastrutture Civili del Politecnico di Torino.

La finalità del progetto era quella di verificare la presenza di DDT e composti correlati nel fiume Toce e l'apporto al lago Maggiore considerando la frazione disciolta nell'acqua, il materiale trasportato e i sedimenti in condizioni idrologiche diverse compresi gli eventi di piena e tenendo conto anche delle attività legate alla bonifica del sito di Pieve Vergonte.

Le valutazioni sono state effettuate avendo come riferimento:

- la direttiva 2000/60/CE (WFD) che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque
- la decisione 2455/2001/CE relativa all'istituzione di un elenco di sostanze prioritarie in materia di acque
- la direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque
- la direttiva 2009/90/CE che stabilisce le specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque
- i decreti nazionali conseguenti (Decreto 16 giugno 2008 n.131, Decreto 14 aprile 2009 n. 56) che modificano le norme tecniche del D.Lgs 152/06.

PROGRAMMA ATTIVITA'

Attività previste

Il progetto aveva una durata complessiva di 24 mesi e le attività erano articolate in due fasi di 12 mesi ciascuna.

Fase 1

La prima fase del progetto, della durata di 12 mesi, prevedeva lo sviluppo delle seguenti attività:

- 1.1 definizione del contesto territoriale oggetto dello studio
- 1.2 raccolta e valutazione dei dati e delle conoscenze pregresse
- 1.3 caratterizzazione dell'area di studio e individuazione delle stazioni di misura
- 1.4 supporto nella definizione delle attività relative agli aspetti idrologici e idrodinamici eventualmente da affidare da parte della Regione a soggetti esterni e verifica della funzionalità e della utilizzabilità delle attrezzature disponibili presso la stazione automatica di Candoglia
- 1.5 esecuzione di campagne preliminari di misura per la caratterizzazione dei solidi trasportati in diverse condizioni idrologiche
- 1.6 ottimizzazione e validazione del metodo di prova per la determinazione del DDT e congeneri nella matrice acquosa e nei solidi trasportati
- 1.7 esecuzione di una campagna sperimentale di campionamento e analisi del DDT e congeneri nella matrice acquosa e nei solidi trasportati
- 1.8 ottimizzazione del monitoraggio regionale ordinario a cadenza mensile in relazione ai limiti di quantificazione per il DDT e congeneri
- 1.9 definizione del piano di monitoraggio, in particolare delle modalità di attivazione dei campionamenti in relazione al regime idrologico e a specifiche attività di bonifica del sito contaminato

Fase 2

La seconda fase del progetto, della durata di 12 mesi, prevedeva lo sviluppo delle seguenti attività:

- 2.1 effettuazione delle campagne di campionamento e analisi del DDT e congeneri nella matrice acquosa e nei solidi trasportati
- 2.2 pianificazione ed effettuazione di campionamenti sperimentali e analisi di materiale sedimentato

- 2.3 organizzazione e valutazione dei dati ottenuti con stima dei carichi veicolati di DDT e delle dinamiche del trasporto dell'inquinante
- 2.4 integrazione dei dati ottenuti dal monitoraggio con quelli derivanti dagli studi idrologici, idrodinamici e di trasporto solido disponibili o da studi che la Regione intendeva affidare con specifici incarichi a soggetti esterni
- 2.5 predisposizione del documento finale sulle attività svolte e i risultati ottenuti

Attività effettuate

Il progetto è stato avviato ad aprile 2008 e concluso ad aprile 2010 sviluppando tutte le attività previste dal programma.

Nella presente relazione sono descritte le attività effettuate e i risultati complessivi ottenuti del progetto.

INQUADRAMENTO GENERALE

Nell'ambito del processo di analisi e sintesi delle principali tematiche afferenti all'area del progetto sono state raccolte e organizzate le informazioni necessarie alla predisposizione della cartografia di riferimento finalizzata sia alla definizione dell'area di studio che al supporto per le attività previste.

Dall'esame della figura 1, dove è riportata la geologia schematica del bacino idrografico del Toce, si osserva come gran parte del substrato affiorante sia riferito a formazioni cristalline associabili prevalentemente a gneiss e graniti. Questi ammassi rocciosi denotano una scarsa erodibilità che si ripercuote sul carico solido trasportato dal fiume, sostanzialmente modesto, nonostante l'accentuata acclività dei versanti (in particolare nel settore nord del bacino), e le abbondanti precipitazioni che interessano l'intera area imbriferà.

Il bacino idrografico del Toce ha una superficie di circa 1800 km² e risulta ubicato per la maggior parte in territorio italiano, con una piccola porzione a NO in territorio svizzero. Il fiume percorre la valle d'Ossola per una lunghezza di circa 80 km raccogliendo numerosi affluenti tra i quali i principali in destra sono i torrenti: Devero, Diveria, Bogna, Ovesca, Anza e Strona, e in sinistra i torrenti Isorno, e Melazza occidentale.

Sul fiume insistono numerose derivazioni ai fini idroelettrici che costituiscono oltre il 50% dell'energia idroelettrica prodotta in Piemonte e che danno origine a tratti fluviali con portate ridotte e a un contesto idrogeomorfico di naturalità limitata. Al riguardo, immediatamente a monte del tratto fluviale interessato dal sito di Pieve Vergonte e della confluenza dell'Anza, è presente lo sbarramento di Piedimulera il quale origina un canale di derivazione che scorre subparallelo al corso del Toce per una lunghezza di circa 6,5 km e che restituisce le acque derivate nei pressi di Megolo. La presenza della derivazione e del relativo canale ridimensiona notevolmente le portate del Toce, specialmente nel tratto compreso tra la confluenza dell'Anza e quella dell'Arsa in destra orografica, dove l'apporto idrologico è costituito essenzialmente dal deflusso dell'impianto di Piedimulera e dalle acque dell'Anza.

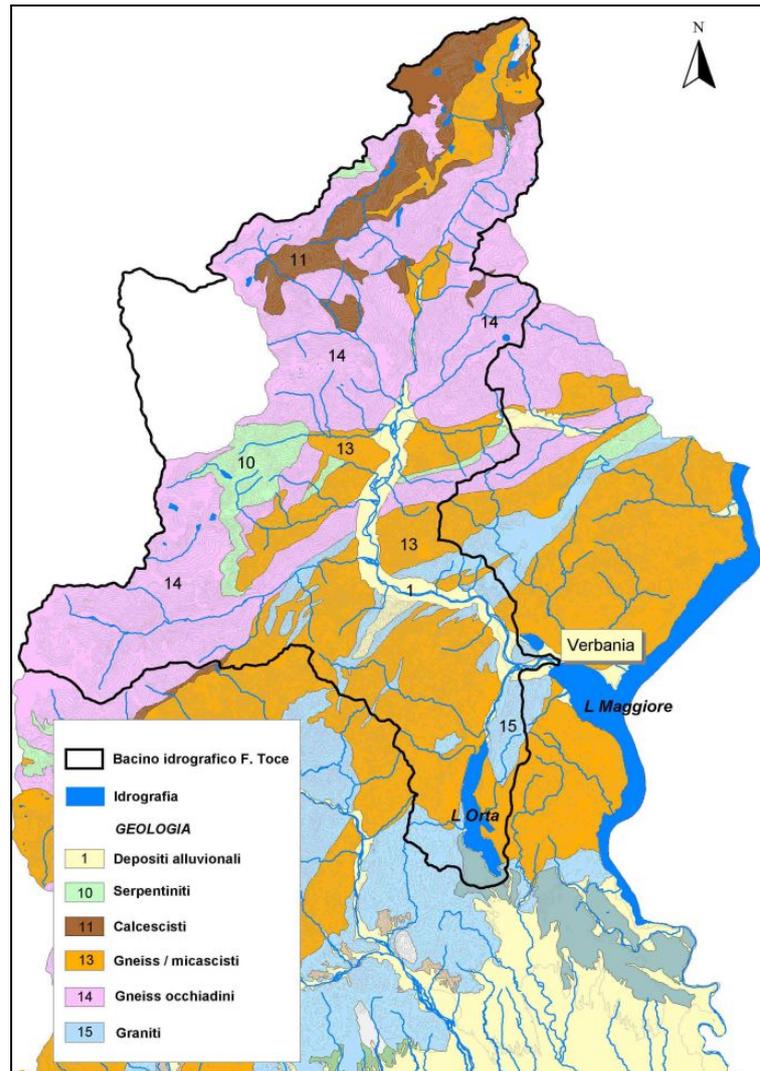


Figura 1 – Geologia schematica del bacino del Toce

VALUTAZIONE DEI DATI E DELLE CONOSCENZE DISPONIBILI

Sono stati prioritariamente selezionati e organizzati i dati più importanti per il progetto e per lo sviluppo delle attività previste e in particolare:

- Monitoraggio regionale delle acque superficiali: serie storica dei punti nell'area di studio sul Toce focalizzata sui parametri di interesse (in particolare Solidi Sospesi, DDT e Esaclorobenzene)
- Idrologia: serie storica dei dati di portata a Candoglia

Sono stati inoltre raccolti gli studi effettuati nei programmi di ricerca della Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (CIPAIS) e i dati disponibili riguardanti il sito contaminato di Pieve Vergonte.

Riferimenti normativi

Vengono di seguito illustrati i principali riferimenti normativi comunitari e nazionali che riguardano le acque superficiali, in particolare per gli aspetti specifici relativi alle sostanze di interesse per il progetto (DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano).

La direttiva 2000/60/CE, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, prevede all'art. 4 – Obiettivi ambientali, che “gli stati membri attuano le misure necessarie omissis... al fine di ridurre progressivamente l'inquinamento causato dalle sostanze prioritarie e arrestare o eliminare gradualmente le emissioni, gli scarichi e le perdite di sostanze pericolose prioritarie”.

La direttiva 2008/105/CE istituisce standard di qualità ambientali (SQA) per le sostanze prioritarie, definite nella decisione 2455/2001/CE, e per alcuni altri inquinanti come previsto dall'art. 16 della direttiva 2000/60/CE, al fine di raggiungere uno stato chimico buono delle acque superficiali conformemente alle disposizioni e agli obiettivi dell'art. 4 di tale direttiva.

Le sostanze prioritarie e gli altri inquinanti per i quali sono definiti SQA nell'allegato I della direttiva 2008/105/CE che possono essere di interesse per il progetto sono:

DDT totale (che comprende gli isomeri di DDT, DDE, DDD), p,p'-DDT, Esaclorobenzene e Esaclorocicloesano.

Per queste sostanze sono definiti SQA relativi sia alla media annua (SQA-AA) che alla concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA).

Nella tabella 1 sono indicati per le sostanze di interesse gli standard di qualità ambientali (SQA-AA e SQA-CMA) previsti per le acque superficiali interne (corsi d'acqua e laghi).

Gli standard di qualità ambientali sono espressi come concentrazioni totali nell'intero campione di acqua (acqua più particolato sospeso).

Tabella 1 – Standard di qualità ambientale (direttiva 2008/105/CE)

Sostanza	SQA-AA (µg/L)	SQA-CMA (µg/L)
DDT totale	0.025	Non applicabile
p,p'-DDT	0.01	Non applicabile
Esaclorobenzene	0.01	0.05
Esaclorocicloesano	0.02	0.04

Per le acque superficiali interne non sono definiti SQA per sedimenti e biota anche se viene specificato che per l'esaclorobenzene, l'esaclorobutadiene e il mercurio gli SQA fissati per l'acqua possono non garantire una completa protezione contro gli effetti indiretti; per questa ragione dovranno essere fissati per queste sostanze SQA comunitari per sedimenti e biota.

Per quanto riguarda in generale i sedimenti ed il biota, al punto 16) della direttiva 2008/105/CE viene specificato “Inoltre, gli Stati membri dovrebbero poter fissare a livello nazionale SQA per i sedimenti e/o il biota e applicare tali SQA anziché quelli per le acque di cui alla presente direttiva. Detti SQA dovrebbero essere fissati attraverso una procedura trasparente che comporti notifiche alla Commissione e agli altri Stati membri, in modo da garantire un livello di protezione equivalente agli SQA per le acque fissati a livello comunitario. La Commissione dovrebbe riassumere tali notifiche nelle sue relazioni sull'attuazione della direttiva 2000/60/CE. Inoltre, i sedimenti e il biota rimangono matrici importanti per monitorare la presenza di alcune sostanze aventi un potenziale d'accumulo significativo. Per valutare l'impatto sul lungo periodo delle attività antropiche e le relative tendenze, gli Stati membri dovrebbero adottare misure, fatto salvo l'articolo 4 della direttiva 2000/60/CE, finalizzate a garantire che gli attuali livelli di contaminazione nel biota e nei sedimenti non aumentino in modo rilevante.”.

A livello nazionale il recepimento formale della direttiva 2000/60/CE è avvenuto con il D.Lgs. 152/06 anche se per alcuni aspetti è stato necessario emanare regolamenti specifici di modifica delle norme tecniche:

- Decreto 16 giugno 2008 n. 131 – Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni) per la modifica delle norme tecniche del D. Lgs. 152/06, recante: “Norme in materia ambientale”, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 4, del decreto legislativo medesimo.
- Decreto 14 aprile 2009 n. 56 – Regolamento recante i criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del D.Lgs. 152/06 predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 4, dello stesso decreto.

Nel Decreto 56/2009 sui criteri tecnici per il monitoraggio vengono ripresi i contenuti della direttiva 2008/105/CE riguardante gli SQA per le sostanze prioritarie (Tab 1/A); vengono definiti inoltre SQA per alcune sostanze non facenti parte dell'elenco di priorità (Tab. 1/B).

Non essendo previsti Standard di Qualità Ambientali per il biota e i sedimenti nelle acque superficiali interne (corsi d'acqua e laghi), in accordo con la direttiva 2008/105/CE la tabella 1/A prevede SQA più cautelativi per esaclorobenzene, esaclorobutadiene e mercurio.

Nello stesso Decreto sono individuati anche SQA, in aggiunta a quelli sulla colonna d'acqua, per i corpi idrici marino-costieri e di transizione nei sedimenti (tabella 2/A) per alcune sostanze tra le quali DDT, DDE, DDD e esaclorobenzene e nel biota (tabella 3/A) per esaclorobenzene, esaclorobutadiene e mercurio. Gli SQA individuati per i sedimenti relativamente alle acque marino costiere e di transizione sono $1\mu\text{g/Kg}$ s.s. per il DDT (somma isomeri), $0,8\mu\text{g/Kg}$ s.s. per il DDD (somma isomeri), $1,8\mu\text{g/Kg}$ s.s. per il DDT (somma isomeri) e $0,4\mu\text{g/Kg}$ s.s. per l'Esaclorobenzene.

Non sono quindi disponibili SQA comunitari o nazionali applicabili ai sedimenti delle acque superficiali interne (corsi d'acqua e laghi).

Allo stato attuale è nella fase finale di approvazione il Decreto riguardante la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali.

Dati idrologici

Nella figura 2 sono rappresentati i dati di portata media giornaliera del Toce misurati nella stazione di Candoglia dal 2000 al 2009.

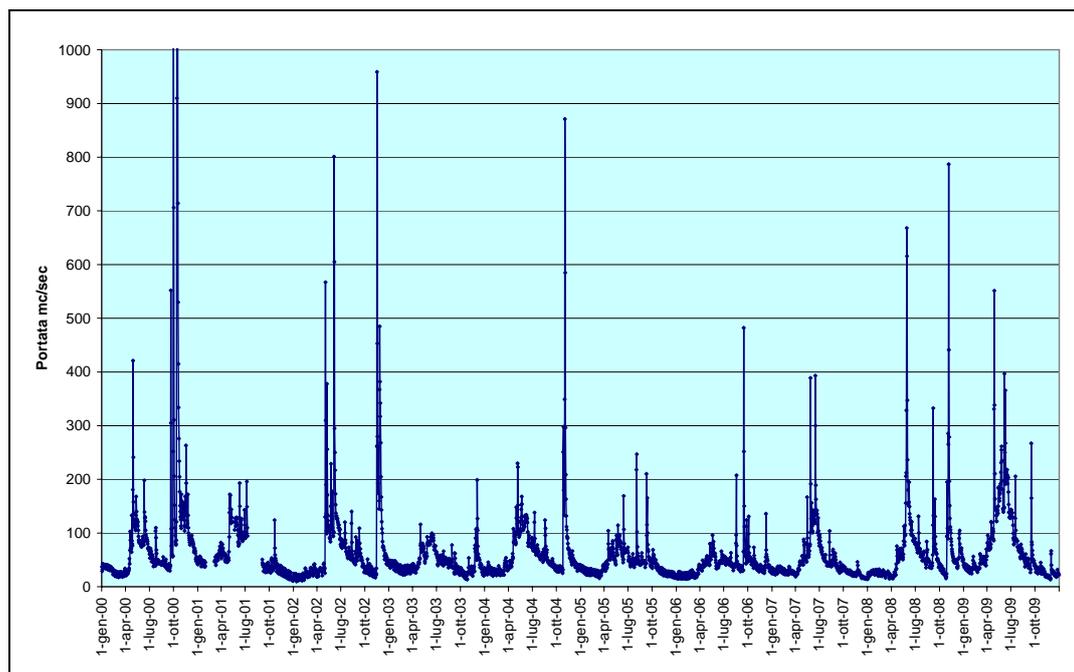


Figura 2 – Portate del Toce a Candoglia 2000-2009

Nel periodo considerato si evidenziano 19 casi di superamento della portata media giornaliera di 500 mc/sec dei quali 9 riferiti agli eventi di piena nel periodo 20/09/2000-18/10/2000 con due massimi il 30/09/2000 (1127 mc/sec) e il 15/10/2000 (2320 mc/sec); altri eventi significativi sono avvenuti il 05/06/2002 (801 mc/sec), il 16/11/2002 (959 mc/sec), il 02/11/2004 (871 mc/sec), il 05/11/2008 (787 mc/sec) e il 28/04/2009 (551 mc/sec).

Il valore medio delle portate medie giornaliere nel periodo è di 63,0 mc/sec mentre il valore mediano è di 42,9 mc/sec. Si evidenzia un andamento ciclico nell'anno con massimi in primavera e in autunno di entità variabile da anno ad anno. In linea generale, nel periodo tardo primaverile, la portata è influenzata dal regime idrologico nivo-glaciale del corso d'acqua.

Nella figura 3 è riportato il dettaglio delle portate medie giornaliere a Candoglia nel biennio 2008-2009, anni di sviluppo del progetto.

Nel periodo considerato si rilevano sei eventi di piena di diversa intensità:

- fine maggio 2008
- inizio settembre 2008
- inizio novembre 2008
- fine aprile 2009
- inizio giugno 2009
- metà settembre 2009

Tra questi, i più intensi, con portate superiori a 400 mc/sec, sono stati il 29 maggio 2008 con una portata massima di 668 mc/sec, il 5 novembre 2008 con una portata massima di 787 mc/sec e il 28 aprile 2009 con una portata massima di 551 mc/sec.

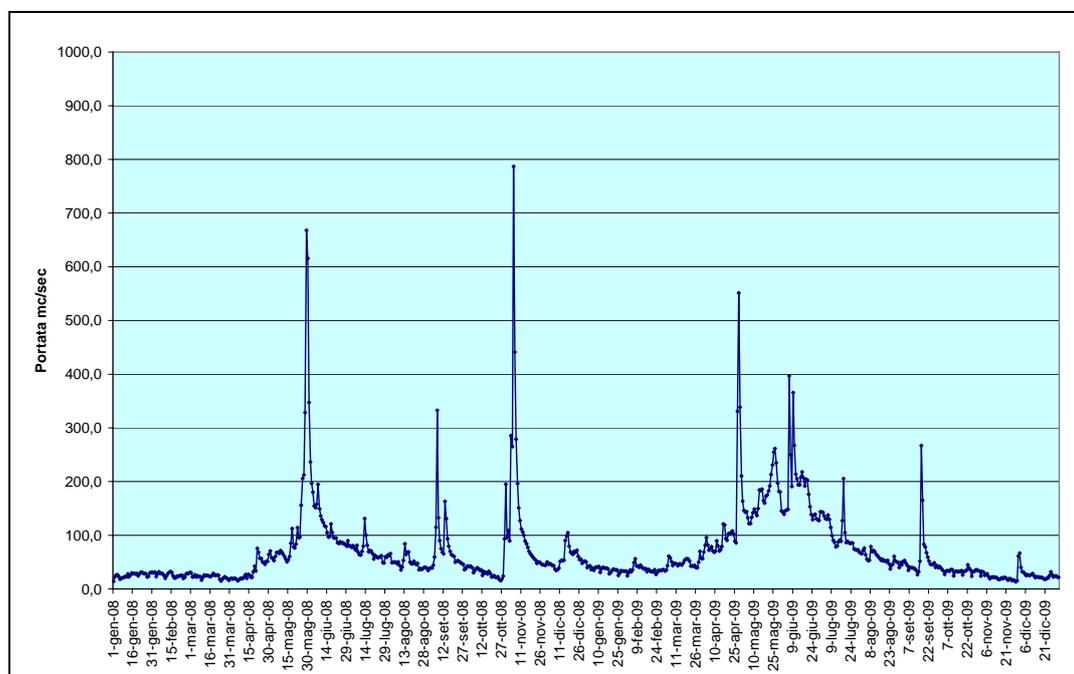


Figura 3 – Portate del Toce a Candoglia biennio 2008-2009

Dati dei monitoraggi regionali progressi

La rete di monitoraggio regionale nel periodo 2000-2008 prevedeva complessivamente nel bacino del Toce 10 punti dei quali 7 sull'asta del Toce e i restanti 3 su Devero, Anza e Strona di Omegna (tabella 2 e figura 4).

Tabella 2 – Punti della rete regionale nel bacino del Toce

Codice punto	Corso d'acqua	Comune
051004	TOCE	FORMAZZA
051010	TOCE	PREMIA
051030	TOCE	DOMODOSSOLA
051040	TOCE	VOGOGNA
051050	TOCE	PIEVE VERGONTE
051052	TOCE	PREMOSELLO-CHIOVENDA
051060	TOCE	GRAVELLONA TOCE
066010	DEVERO	PREMIA
077009	ANZA	PIEDIMULERA
055020	STRONA DI OMEGNA	GRAVELLONA TOCE

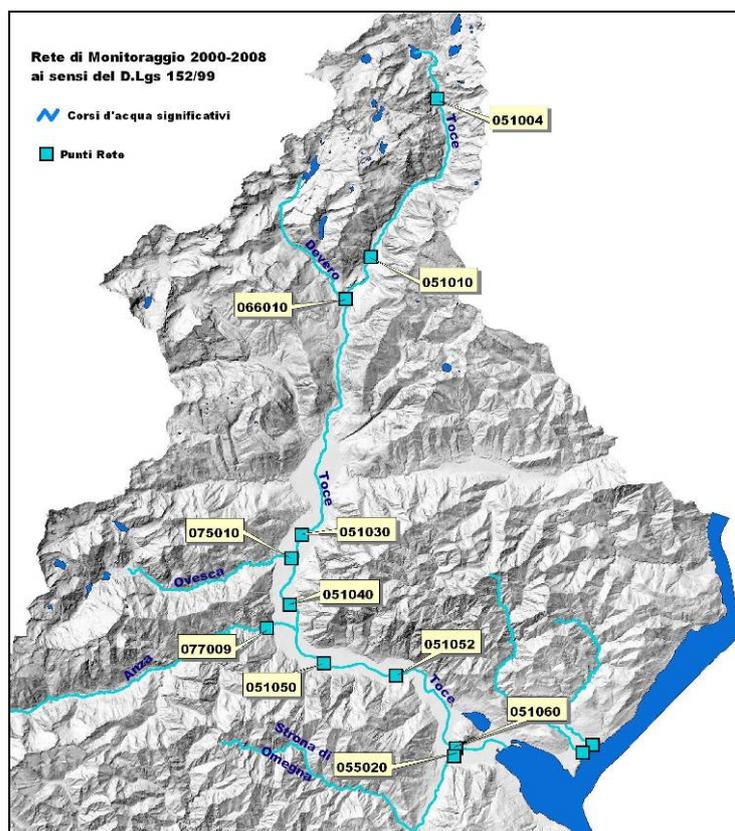


Figura 4 – Bacino del Toce: rete di monitoraggio regionale 2000-2008

Come descritto nel seguito della relazione, con l'implementazione della direttiva 2000/60/CE, dal 2009 la rete regionale è stata adeguata.

Tra i dati di monitoraggio progressi quelli più significativi per le finalità del progetto sono relativi ai punti sul Toce a valle di Pieve Vergonte e del sito contaminato:

- 051050 – Pieve Vergonte sotteso ad una derivazione

- 051052 – Premosello Chiovenda e 051060 - Gravellona Toce, ubicati a valle della restituzione della derivazione ai quali, data la vicinanza e l'assenza di immissioni significative, possono essere associate le portate misurate nella stazione idrometrica di Candoglia.

Di relativo interesse anche il punto sul Toce a monte del sito contaminato (051040 – Vogogna) e quello in chiusura sull'Anza (077009).

Ai dati del monitoraggio ordinario vanno aggiunti 2 campionamenti specifici di alti volumi effettuati nel 2006 a Candoglia e in un punto a monte del sito contaminato al fine di valutare la presenza di DDT e di altri composti di interesse a basse concentrazioni nella fase acquosa e nei solidi trasportati.

Solidi sospesi

Le caratteristiche del bacino del Toce, caratterizzato da un substrato prevalentemente cristallino con scarsa presenza di materiale detritico, determinano in condizioni idrologiche normali un ridotto trasporto solido.

Un ulteriore elemento da considerare è la presenza di numerose derivazioni che influenzano il regime idrologico del corso d'acqua.

Nella figura 5 è rappresentato un grafico che riporta tutte le misure di solidi sospesi effettuate nell'ambito del monitoraggio regionale dal 2000 al 2009 nel punto 051060 – Gravellona Toce e le portate medie giornaliere rilevate nel giorno di campionamento a Candoglia.

I campionamenti per i monitoraggi sono di norma effettuati in regimi idrologici normali (di magra e di morbida) e quindi non vengono intercettate situazioni di trasporto solido correlate ad eventi di piena anche moderati. In tutto il periodo considerato due soli campionamenti sono stati effettuati in presenza di una portata superiore a 200 mc/sec (298 mc/sec il 27/10/2004 e 366 mc/sec il 09/06/2009).

Dal grafico si evidenzia che nell'82% dei casi i solidi sospesi non sono quantificabili (<10 mg/L) e solo in 6 casi superano i 50 mg/L confermando l'ipotesi di basso trasporto solido.

Un andamento sostanzialmente analogo dei valori di solidi sospesi è stato rilevato nelle stazioni a monte di Gravellona Toce per le quali erano disponibili i campionamenti nella stessa giornata.

In linea generale i dati disponibili non sembrano indicare particolari correlazioni tra i solidi trasportati e le portate anche se i 4 valori di solidi superiori a 100 mg/L sono stati rilevati in concomitanza di portate maggiori di 120 mc/sec.

E' comunque da rilevare che quando si evidenziano variazioni repentine di portata in estate o in autunno, determinate da precipitazioni piovose, è possibile una traslocazione per runoff di materiale verso il fiume anche da settori meno acclivi del bacino.

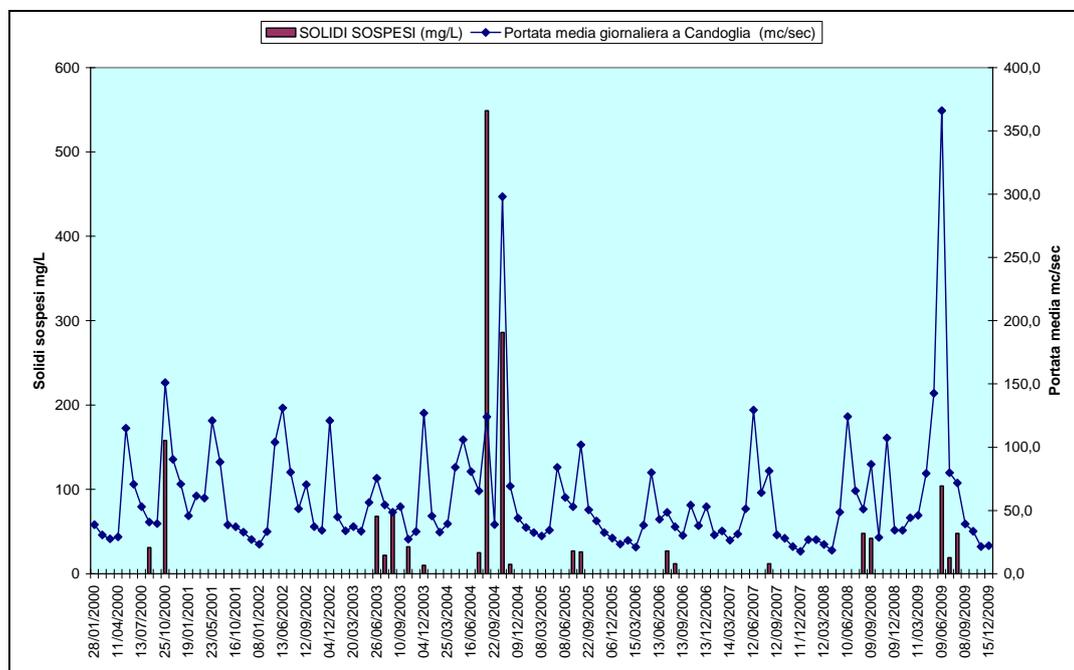


Figura 5 – Solidi sospesi e Portate gennaio 2000 – dicembre 2009

Appare invece più correlata con la portata la conducibilità che tende a valori bassi in modo esponenziale in presenza di portate più elevate, indice di impoverimento di sali disciolti (figure 6 e 7). Il fenomeno si rileva sia in periodo tardo primaverile correlabile al regime nivo-glaciale del Toce che in tarda estate-autunno in concomitanza di picchi di portata determinati da precipitazioni piovose dove prevale un effetto di diluizione.

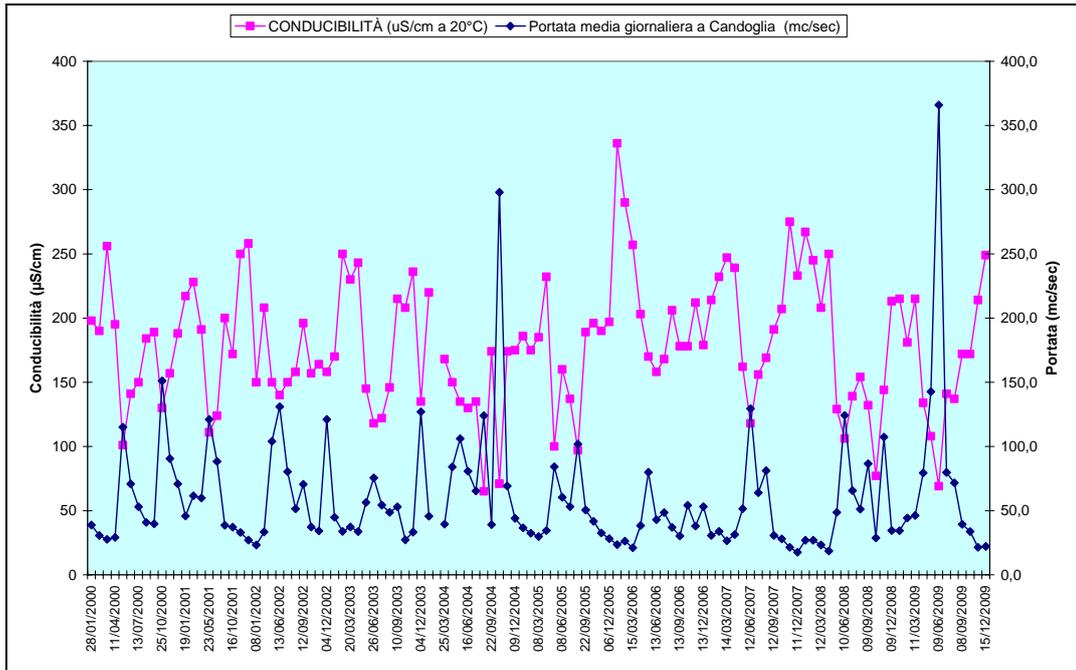


Figura 6 – Conduttività e Portate gennaio 2000 - dicembre 2009

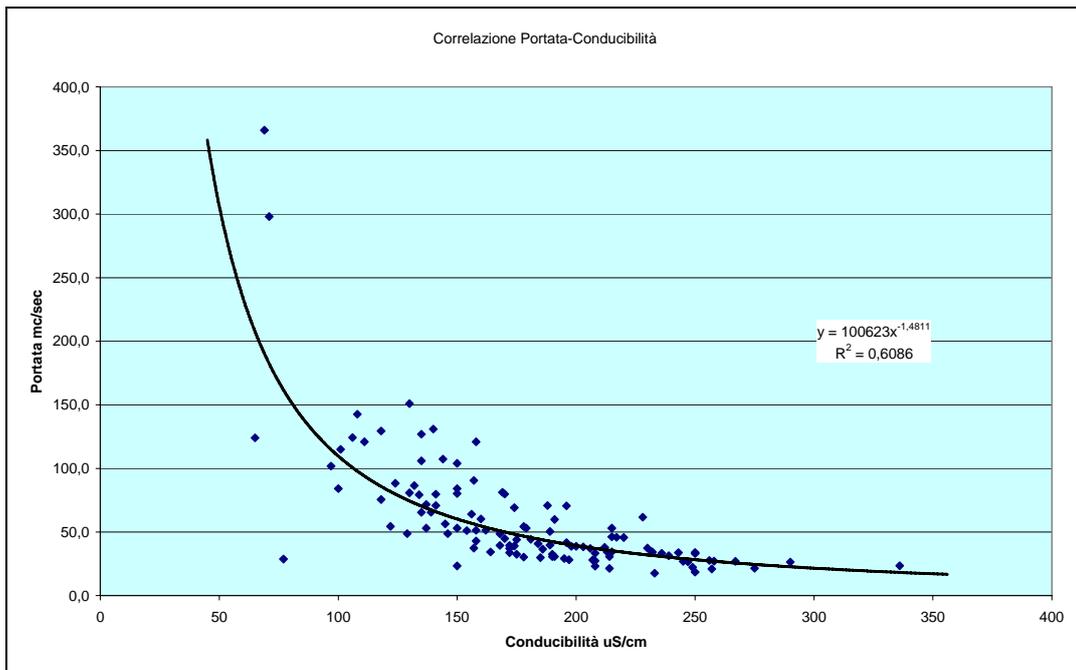


Figura 7 – Correlazione Portata-Conduttività

DDT e altri composti di interesse

Sono disponibili dati relativi a DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano a partire dal 2000 anche se l'analisi di questi composti nel Toce diventa più continuativa dal 2005.

Fino al 2006 il limite di quantificazione adottato era quello previsto dai programmi di monitoraggio per i residui di pesticidi (0.05 µg/L).

Dal 2007 è stata avviata una sperimentazione sui due punti della rete regionale a valle del sito contaminato con l'adozione di 0.01 µg/L come limite di quantificazione per DDT

(isomeri e metaboliti), esaclorobenzene e esaclorocicloesano (isomeri). Dal 2008 con l'adeguamento alla direttiva 2000/60/CE e l'avvio del progetto, è stato adottato un LCL di 0.002 µg/L.

Complessivamente nel periodo 2000-2006 sono disponibili dati relativi a:

- 76 campioni con analisi di DDT dei quali 19 relativi al punto 051050 – Pieve Vergonte e 57 relativi al punto 051060 – Gravellona Toce
- 119 campioni con analisi di esaclorobenzene dei quali 33 relativi al punto 051050 – Pieve Vergonte, 71 relativi al punto 051060 – Gravellona Toce e i rimanenti 12 in punti a monte di Pieve Vergonte
- 99 campioni con analisi di esaclorocicloesano gamma (lindano) dei quali 29 relativi al punto 051050 – Pieve Vergonte, 52 relativi al punto 051060 – Gravellona Toce e i rimanenti 18 in punti a monte di Pieve Vergonte

In nessun campione analizzato sono stati riscontrati residui dei composti considerati superiori al limite di quantificazione adottato di 0.05 µg/L.

Per l'anno 2007 sono disponibili dati relativi ai 12 campionamenti mensili effettuati nei punti 051050 – Pieve Vergonte, 051052 – Premosello Chovenda e 051060 – Gravellona Toce con analisi di DDT (isomeri e metaboliti), esaclorobenzene e esaclorocicloesano (isomeri). In nessun campione analizzato sono stati riscontrati residui dei composti considerati superiori al limite di quantificazione adottato di 0.01 µg/L.

Nel corso del 2006 sono state effettuate due campagne sperimentali con prelievi sul Toce a Candoglia e a monte del sito contaminato sui quali sono stati determinati DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano applicando limiti di quantificazione di 0.2 ng/L, più bassi di quelli adottati nel monitoraggio ordinario.

Nella tabella 3 sono riportati i risultati ottenuti; i dati del DDT e degli altri composti determinati sono riferiti al campione totale (disciolto+solidi sospesi).

Tabella 3 – Dati su DDT e altri composti

Sostanza attiva	Campioni 17 luglio 2006		Campioni 19 ottobre 2006	
	A monte sito (ng/L sul totale)	Candoglia (ng/L sul totale)	A monte sito (ng/L sul totale)	Candoglia (ng/L sul totale)
p,p' DDT	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
o,p' DDT	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
p,p' DDE	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
o,p' DDE	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
p,p' DDD	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
o,p' DDD	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
ESACLOROBENZENE	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2

Nella tabella 4 sono invece riportati i dati di portata media nel giorno di campionamento e di solidi sospesi

Tabella 4 – Portate e solidi sospesi

Sostanza attiva	A monte sito		Candoglia	
	Portata media giornaliera (mc/sec)	SOLIDI SOSPESI (mg/L)	Portata media giornaliera (mc/sec)	SOLIDI SOSPESI (mg/L)
Campioni 19-10-06	n.d.	< 10	45,3	24
Campioni 17-07-07	n.d.	16	47,6	< 10

I campionamenti sono stati effettuati con portate medie giornaliere molto prossime al valore medio annuo di 44 mc/sec e trasporto solido non misurabile o molto basso.

In nessun campione analizzato sono stati riscontrati residui dei composti considerati superiori al limite di quantificazione adottato di 0.2 ng/L.

Studi Cipais

E' disponibile una ampia raccolta di documenti e dati derivanti dai programmi CIP AIS in particolare i rapporti relativi alla linea di ricerca "monitoraggio della presenza di DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema del lago Maggiore".

La ricerca riguarda la valutazione dei livelli di DDT e altri composti organo clorurati, PCB e metalli nell'ecosistema del lago e si articola in diversi campi di indagine:

- acque lacustri
- sedimenti lacustri
- sedimenti dei tributari
- organismi indicatori
- precipitazioni atmosferiche
- comparto ittico

Di particolare interesse per il progetto sono le indagini sui sedimenti dei tributari tra i quali il Toce.

Sono disponibili i dati relativi ai campionamenti dei sedimenti effettuati in una stazione alla foce del Toce dal 2001 al 2008; sui campioni prelevati a cadenza trimestrale è stata effettuata l'analisi del DDT e degli altri composti di interesse nella frazione con granulometria inferiore a 50 µm.

I dati indicano una presenza di DDT, in particolare di p,p'DDT, rilevato in quantità più alte rispetto a p,p' DDE, p,p' DDD e agli altri isomeri, variabili nel tempo con un valore massimo di DDT totale pari a 146 ng/g rilevato nell'ottobre 2001.

Gli ultimi dati disponibili relativi ai 3 campionamenti del 2008 evidenziano valori di DDT totale compresi tra 15 e 53 ng/g con un valore medio significativamente più elevato rispetto al periodo 2006-2007. I campionamenti di luglio 2008 e dicembre 2008 evidenziano un profilo dei diversi isomeri molto diverso con una netta prevalenza di pp' DDT (62%) nel prelievo di luglio e di pp'DDE e pp'DDD nel prelievo di dicembre.

Per quanto riguarda i sedimenti lacustri le ricerche CIP AIS individuano una presenza di concentrazioni significative di DDT soprattutto nella baia di Pallanza e negli strati più profondi corrispondenti agli anni '70 fino alla prima metà degli anni '90.

Picchi di contaminazione dei sedimenti lacustri sono stati inoltre osservati nei mesi successivi all'evento di piena del 2000, il più importante negli ultimi 10 anni, e in misura minore a quelli del 2002 e 2004. Non sono disponibili dati per l'anno 2008.

AREA DI STUDIO E STAZIONI DI MISURA

Dal 2009, a seguito della implementazione della direttiva 2000/60/CE, la rete regionale è stata adeguata; nella tabella 5 e nella figura 8 sono elencati e rappresentati i punti previsti per i corpi idrici individuati nel bacino del Toce.

Nel corpo idrico 01SS4N830PI del Toce, che comprende l'area di interesse, sono stati individuati 2 punti di monitoraggio aggiuntivi (051050 e 051060) per meglio descrivere la problematica del DDT, come integrazione del punto 051052 rappresentativo del corpo idrico.

Tabella 5 – Bacino del Toce: rete di monitoraggio regionale 2009 adeguata alla WFD

Codice punto	Codice Corpo Idrico	Corso d'acqua	Comune
051007	01SS2N827PI	TOCE	Premia
051025	01SS3N828PI	TOCE	Crevoladossola
051030	01SS4N829PI	TOCE	Domodossola
051050	01SS4N830PI	TOCE	Pieve Vergonte
051052	01SS4N830PI	TOCE	Premosello-Chiovenda
051060	01SS4N830PI	TOCE	Gravellona Toce
066010	01SS2N162PI	DEVERO	Premia
072010	01SS3N164PI	DIVERIA	Crevoladossola
077008	01SS2N017PI	ANZA	Vanzone Con San Carlo
077009	01SS3N018PI	ANZA	Piedimulera
683050	01SS1N300PI	MARMAZZA	Pieve Vergonte
055010	01SS2N744PI	STRONA DI OMEGNA	Omegna
055020	01SS3N745PI	STRONA DI OMEGNA	Gravellona Toce

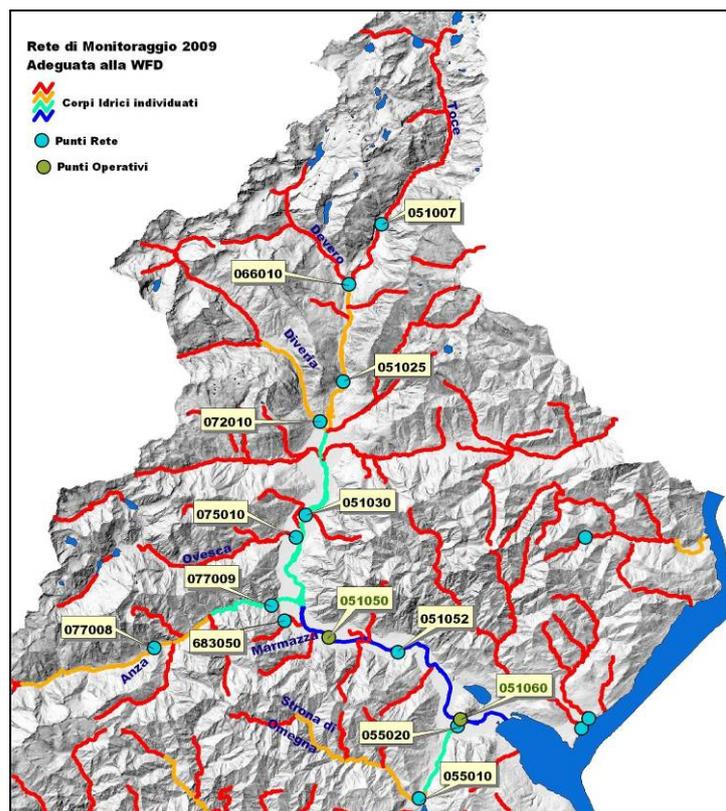


Figura 8 – Bacino del Toce: rete di monitoraggio regionale 2009 adeguata alla WFD

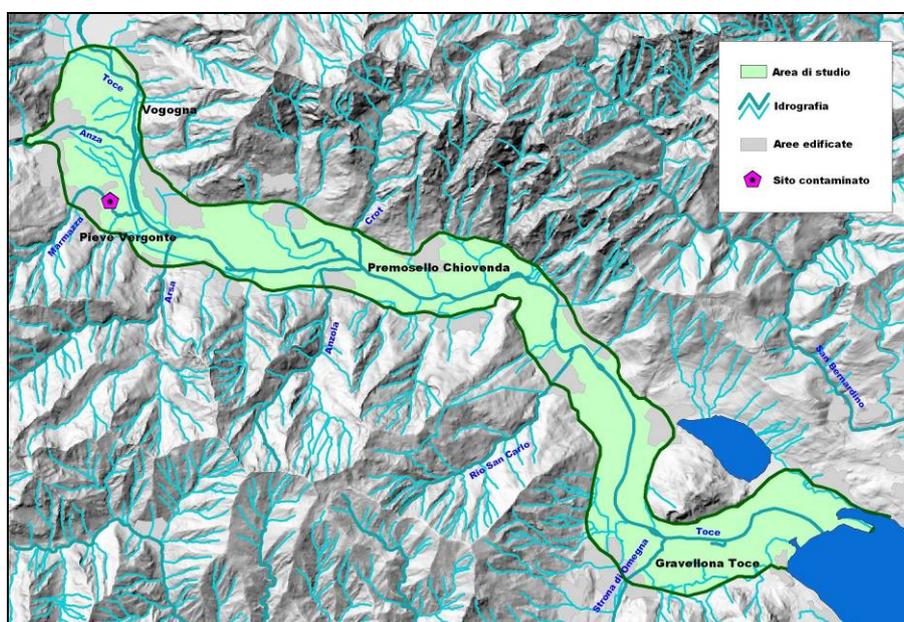


Figura 9 – Area di studio

L'area oggetto del lavoro (figura 9) è rappresentata dal tratto terminale del bacino del Toce fino alla confluenza nel lago Maggiore e comprende il sito contaminato ex Enichem di Pieve Vergonte individuato come principale fonte potenziale di rilasci di DDT e di altri composti nel Toce.

Nell'area considerata sono presenti diversi punti della rete di monitoraggio regionale delle acque superficiali elencati nella tabella 5, sia sul Toce che sugli affluenti, e la stazione automatica di Candoglia dove è presente anche una passerella che attraversa il corso d'acqua.

Nella figura 10 sono riportati i punti nei quali sono state effettuate le varie attività del progetto.

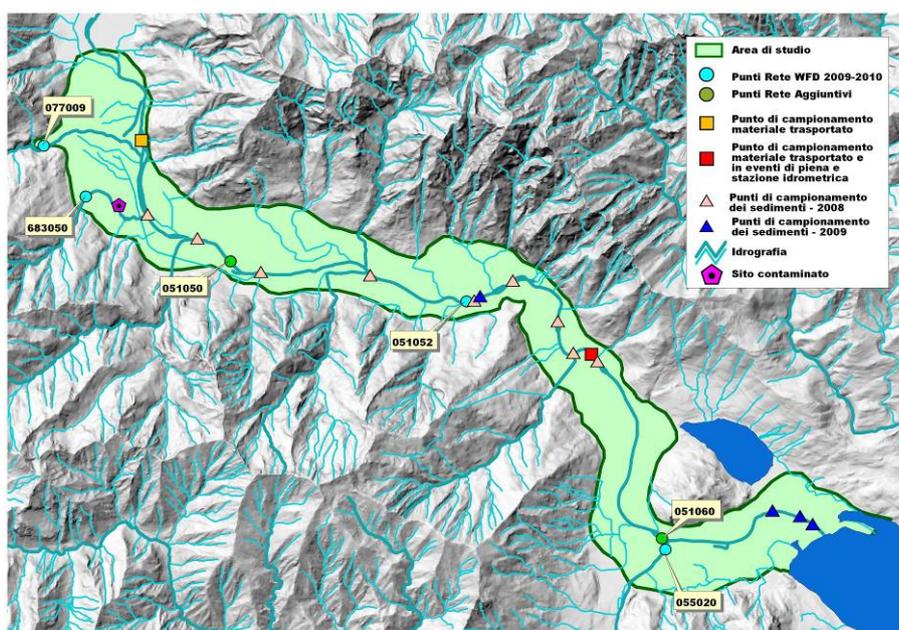


Figura 10 – Area di studio e punti di campionamento e misura

Monitoraggio ordinario

I punti sui quali è prevista la determinazione di DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano con cadenza mensile sono riportati nella tabella 6.

Tabella 6 – Punti monitoraggio DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano

051050	01SS4N830PI	TOCE	Pieve Vergonte
051052	01SS4N830PI	TOCE	Premosello-Chiovenda
051060	01SS4N830PI	TOCE	Gravellona Toce

Nell'elenco sono compresi anche due punti (051050 – Pieve Vergonte e 51060 Domodossola) mantenuti in rete nel 2009-2010 con un monitoraggio operativo in relazione alla specifica pressione determinata dal sito contaminato di Pieve Vergonte.

Campionamenti durante eventi di piena

Questo tipo di campionamento, che prevede il prelievo di 10-20 L di acqua in condizioni climatiche generalmente poco favorevoli, è stato effettuato nel solo punto di Candoglia che garantisce anche la disponibilità del dato di portata istantanea e media giornaliera.

I campionamenti sono stati effettuati sulla base della previsione di eventi di piena con portate superiori a 400 mc/sec.

Campionamenti di solidi trasportati

La necessità di valutare il contenuto di DDT e il profilo granulometrico del materiale trasportato in condizioni idrologiche normali che non consentono, con un campionamento istantaneo anche di grandi volumi come negli eventi di piena, di raccogliere quantità sufficienti di materiale, ha stimolato la sperimentazione di metodologie specifiche adatte allo scopo.

L'attività, avviata in via sperimentale nel 2008, ha consentito di individuare un sistema che prevede la raccolta, utilizzando specifici campionatori, dei solidi trasportati in regimi idrologici diversi, in particolare quelli caratterizzati da basse portate. I campionatori possono essere posizionati in modo tale da campionare i solidi trasportati in prossimità del fondo o ad una altezza definita della colonna d'acqua.

La fase sperimentale ha permesso di consolidare il sistema ed effettuare nel corso del 2009 diverse campagne di campionamento del materiale trasportato sul Toce a Candoglia e una campagna a Vogogna a monte del sito di Pieve Vergonte.

Campionamenti di sedimenti

Nel corso del 2008 sono stati effettuati, in collaborazione con Hydrodata, campionamenti sperimentali di sedimenti sia immersi che sulla sponda, finalizzati alla caratterizzazione granulometrica, in punti ubicati tra Pieve Vergonte e Candoglia (figura 10).

La caratterizzazione granulometrica effettuata ha evidenziato che la percentuale di materiale fine è risultata estremamente bassa, non sufficiente a garantire quantità di materiale necessario per la determinazione analitica.

E' stato quindi ipotizzato di individuare, con la collaborazione del Dipartimento di Idraulica Trasporti e Infrastrutture Civili del Politecnico di Torino, un punto sul quale effettuare un campionamento specifico che consentisse di avere una quantità adeguata di materiale fine per la determinazione del DDT e degli altri composti.

Con lo sviluppo delle attività di caratterizzazione dell'area esterna al sito contaminato previsto nell'ambito della procedura di bonifica, concretizzato con il programma "Studio sulle aree esterne laghi Maggiore e Mergozzo e fiume Toce" presentato alla fine del 2008, che comprendeva anche attività sui sedimenti del Toce, è stato deciso di

utilizzare alcuni dei campionamenti previsti anche per le finalità del progetto relativi a 4 siti tutti a valle del sito di Pieve Vergonte (figura 10).

RT-03: in prossimità del ponte di Migliandone

RT-05: in prossimità del ponte della SS34 sul Toce

RT-06: località Fondotoce 200 m a valle del ponte ferroviario

RT-07: località Fondotoce a monte del ponte della SP167 sul Toce

ATTIVITA' EFFETTUATE

Aspetti analitici

Le caratteristiche chimico fisiche del DDT e dei suoi metaboliti evidenziano una elevata persistenza nell'ambiente, una sostanziale insolubilità in acqua determinata dalle caratteristiche di lipofilia di questi composti e una tendenza quindi ad accumularsi nella porzione lipofila degli organismi; rilevante inoltre la tendenza all'adsorbimento nei suoli e nei sedimenti, anche se in modo più o meno accentuato in relazione alle loro caratteristiche, in particolare il contenuto di carbonio organico.

Nel corso degli anni il protocollo analitico utilizzato nel monitoraggio ordinario per la determinazione dei pesticidi nelle acque superficiali e sotterranee, tra i quali anche le sostanze di interesse per il progetto (DDT, Esaclorobenzene, Esaclorocicloesano), ha subito vari aggiornamenti dettati dalla evoluzione delle attività, in particolare nei limiti di quantificazione (LCL) e nell'elenco delle sostanze ricercate.

Dal 2008 con l'adeguamento del monitoraggio delle sostanze pericolose e degli altri inquinanti specifici alla Direttiva 2000/60/CE e alla direttiva 2008/105/CE, sono state adottate le modalità di applicazione degli SQA per la valutazione dello stato chimico ed ecologico indicate nel Decreto 14 aprile 2009 n. 56.

Le modalità di applicazione degli SQA derivano dalla direttiva 2009/90/CE che stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque recepito negli aspetti principali dal già citato Decreto 14 aprile 2009 n. 56.

Gli standard di qualità ambientale per questi composti sono riferiti al campione tal quale, quindi acqua e solidi in sospensione; è quindi necessario tenerne conto nella applicazione dei metodi di prova adottati.

I requisiti minimi di prestazione dei metodi di prova adottati nel monitoraggio indicati nella bozza di decreto prevedono:

- limite di quantificazione uguale o inferiore al 30% dell'SQA;
- incertezza di misura del 50% o inferiore ($K=2$) stimata ad un livello pari all'SQA.

Su questa base, nel caso specifico del sistema Toce – lago Maggiore, dal 2008 sono stati adeguati i limiti di quantificazione relativi al DDT (isomeri e metaboliti), esaclorobenzene e esaclorocicloesano utilizzati nel monitoraggio ordinario adottando LCL pari a 0.002 µg/L.

Nella determinazione dei residui di pesticidi nelle acque per i monitoraggi regionali l'incertezza estesa associata è del 44%, con fattore di copertura $k=2$, e deriva dall'approccio olistico di Horwitz-Thomson. L'incertezza prevista è quindi compatibile con quanto indicato ed è stata verificata sperimentalmente con prove di ripetibilità (10 repliche) effettuate a concentrazioni prossime all'SQA.

Nell'ambito del progetto è stato inoltre adattato il metodo di prova utilizzato per il monitoraggio ordinario, con la finalità di diminuire ulteriormente i limiti di quantificazione da adottare nei campionamenti previsti durante gli eventi di piena al fine di intercettare livelli più bassi di DDT e degli altri composti di interesse (0.025-0.05 ng/L).

Parallelamente è stato adeguato il metodo di prova per la determinazione del DDT e degli altri composti di interesse nei solidi trasportati e nei sedimenti con un LCL di 0.05-0.10 ng/g.

Nel lavoro svolto sono state utilizzate tecniche analitiche avanzate e strumentazione di ultima generazione che garantiscono livelli adeguati sia di sensibilità che di selettività al fine di ridurre al minimo i rischi di falsi positivi possibili ai livelli di concentrazione considerati.

La tecnica strumentale che soddisfa queste condizioni è la gascromatografia abbinata alla spettrometria di massa (GC/MS) utilizzata in acquisizione simultanea Single Ion Monitoring (SIM) e full scan sperimentando sia la ionizzazione ad impatto elettronico (EI) che la ionizzazione chimica negativa (NCI).

Non è stata presa in considerazione la determinazione che prevede la GC con detector ECD (Electron Capture Detector) in quanto tale tecnica, non più adottata dal laboratorio, non garantisce adeguate prestazioni in termini di selettività e richiederebbe comunque una conferma in GC/MS per evitare falsi positivi.

Le analisi sia delle acque che del materiale trasportato e dei sedimenti sono state effettuate utilizzando la GC/MS con la ionizzazione ad impatto elettronico (EI) e l'acquisizione simultanea in SIM e full scan.

Per le acque è stata utilizzata la tecnica di estrazione Solid Phase Extraction (SPE) con un sistema completamente automatizzato mentre per l'estrazione di solidi trasportati e sedimenti è stato utilizzato un sistema ASE (Accelerated Solvent Extractor).

I composti considerati sono riportati in tabella 7.

Tabella 7 – Sostanze attive considerate

Esaclorobenzene	DDE pp'
Esaclorocicloesano alfa	DDD op'
Esaclorocicloesano beta	DDD pp'
Esaclorocicloesano gamma (Lindano)	DDT op'
DDE op'	DDT pp'

I limiti di rilevabilità strumentale per i composti considerati sono indicativamente 0.5-5 pg iniettati in assoluto a seconda del composto e rappresentano un vincolo oggettivo strumentale di cui è necessario tenere conto.

Nelle figure 11 e 12 sono riportati i cromatogrammi ottenuti in EI SIM e ionizzazione chimica negativa di una miscela standard a concentrazioni di circa 8 pg/μL per la EI e 25 pg/μL per la NCI che, ipotizzando condizioni operative che prevedono di estrarre 1 L di acqua e concentrare l'estratto a 250 μL, corrispondono per la EI a concentrazioni nell'acqua pari a circa 0.002 μg/L, e nel caso dei solidi trasportati (20 g a 250 μL) pari a 0.1 ng/g.

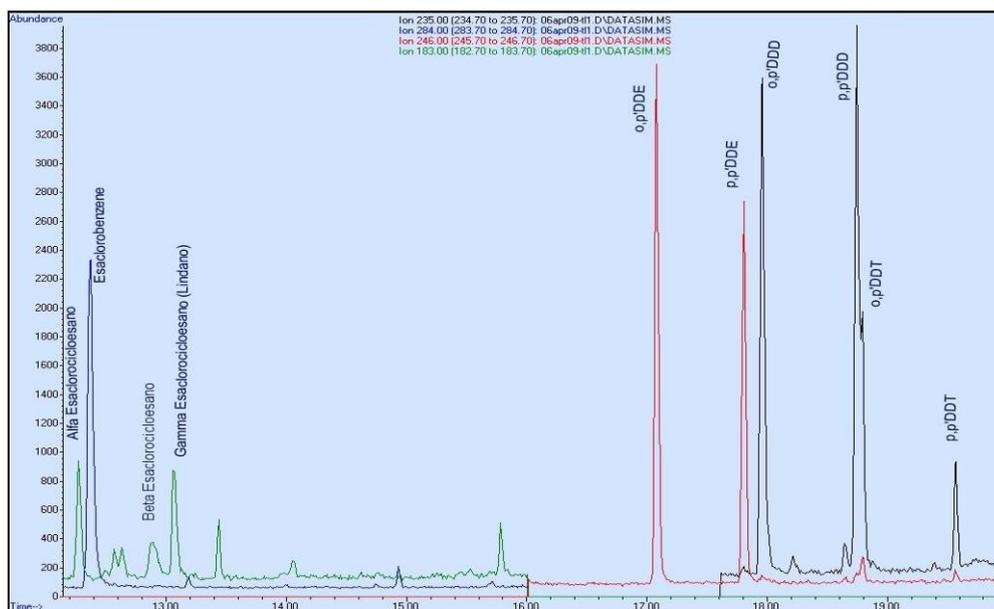


Figura 11 – Cromatogramma GC/MS EI SIM

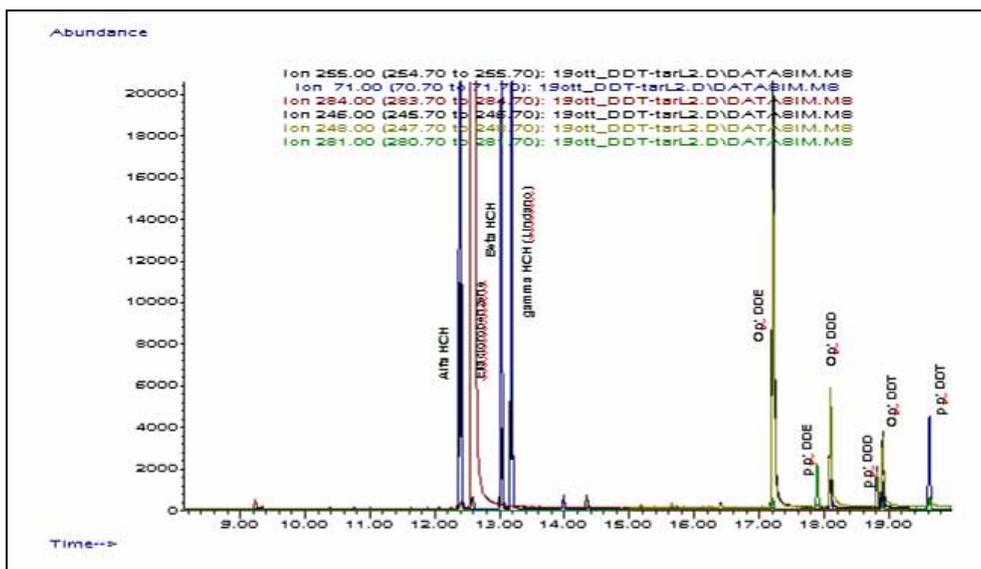


Figura 12 – Cromatogramma GC/MS NCI

Dai cromatogrammi riportati si evidenziano, sia in EI che in NCI, notevoli differenze di sensibilità tra i vari composti.

Metodo di prova per la matrice acqua

Il metodo di prova utilizzato come riferimento per la matrice acqua, applicato di norma nei monitoraggi ordinari per i pesticidi, è il metodo ISTISAN 07/31 compatibile con il metodo APAT-IRSA 5060.

Il metodo prevede una estrazione SPE con colonne C18 o simili, l'eluizione con Etilo acetato seguito da Metilene cloruro e una anidrifazione su terra di diatomee. L'estratto evaporato e ripreso con una soluzione di Standard Interno viene analizzato in GC/MS SIM con una determinazione quantitativa utilizzando il metodo dello standard interno adottando una curva di taratura multilivello.

Nelle condizioni ordinarie per la determinazione dei residui di pesticidi è previsto un rapporto di concentrazione di 1000 a 1 (500 ml a 500 µL).

Al fine di raggiungere gli LCL stabiliti per il monitoraggio adeguato alla direttiva 2000/60/CE e ai decreti nazionali o nel caso dei campionamenti in regimi di piena, è stato necessario adottare diversi fattori di concentrazione tra volume di campione iniziale, volume dell'estratto finale e sistemi di multi estrazione SPE.

Il metodo è applicabile per concentrazioni di solidi sospesi inferiori a 50 mg/L quindi la quasi totalità dei campioni del monitoraggio ordinario. In alcuni casi l'applicabilità può essere estesa fino a 100-120 mg/L di solidi sospesi utilizzando più colonne SPE e riunendo gli estratti finali. Nel caso di valori superiori a 120 mg/L è necessario separare la fase solida, estrarla e analizzarla separatamente dalla fase acquosa.

I dati possono essere espressi come concentrazione campione totale o nei casi in cui sia necessario anche come concentrazioni sui solidi e sull'acqua filtrata.

Campioni del monitoraggio ordinario

E' prevista l'estrazione di 1L di acqua portato ad un volume finale di 250 μ L con un fattore di concentrazione pari a 4000.

Campioni prelevati durante le piene

E' prevista l'estrazione di volumi diversi compresi tra 2L e 20L di acqua portati a 250 μ L o a 125 μ L con fattori di concentrazione che vanno da 8000 a 160000. Si utilizza un sistema di multiestrazione con batterie di 2 - 20 colonne SPE dove, su ognuna, viene estratto 1 L di campione; gli estratti finali vengono riuniti e dopo evaporazione portati a 250 o 125 μ L.

La determinazione quantitativa è effettuata in GC/MS SIM con il metodo dello standard interno adottando una curva di taratura multilivello.

Metodo di prova per la matrice solidi trasportati e sedimenti

Il campione essiccato, setacciato e suddiviso nelle tre classi granulometriche di interesse (< 63 μ m, tra 63 e 200 μ m e tra 200 μ m e 2 mm) è sottoposto ad estrazione mediante ASE con due cicli di estrazione con cloruro di metilene ad una temperatura di 100° C e una pressione di 1500 psi.

L'analisi è effettuata su 20 g di campione e l'estratto evaporato viene ripreso con 250 μ L di soluzione di standard interno; nei casi in cui la quantità di materiale disponibile è inferiore, l'estratto finale viene ripreso con volumi minori (fino a 100 μ L) in modo da mantenere, se possibile, un rapporto di concentrazione costante.

La determinazione quantitativa è effettuata in GC/MS SIM con il metodo dello standard interno adottando una curva di taratura multilivello.

Attività di campionamento

Nel corso del progetto sono stati effettuati campionamenti suddivisi in tre tipologie:

- monitoraggio ordinario
- durante eventi di piena
- solidi trasportati

Monitoraggio ordinario

I campionamenti sono stati effettuati a cadenza mensile nell'ambito del programma di monitoraggio regionale delle acque superficiali e prevedevano la raccolta di campioni di 1L di acqua nei punti:

- 051050 – Pieve Vergonte
- 051052 – Premosello Chiovenda
- 051060 – Gravellona Toce

Complessivamente sono stati effettuati 66 campionamenti.

Durante eventi di piena

I prelievi sono stati effettuati a Candoglia, dalla passerella che attraversa il corso d'acqua in prossimità della stazione automatica, raccogliendo 20 L di acqua in appositi contenitori di vetro per l'analisi di DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano e una ulteriore aliquota di 1 L per l'effettuazione delle analisi di supporto (solidi sospesi, parametri chimico-fisici di base, anioni, ecc.).

I campionamenti sono stati attivati seguendo le previsioni delle piene a 36 ore fornite da ARPA che indicavano un superamento della portata di 400 mc/sec individuata come soglia.

Campionamenti effettuati

Sono stati effettuati complessivamente tre campionamenti in occasione di piene con portate superiori a 400 mc/sec:

- 30 maggio 2008
- 5 novembre 2008
- 28 aprile 2009

Nella figura 13 sono riportate le previsioni ARPA per le tre giornate.

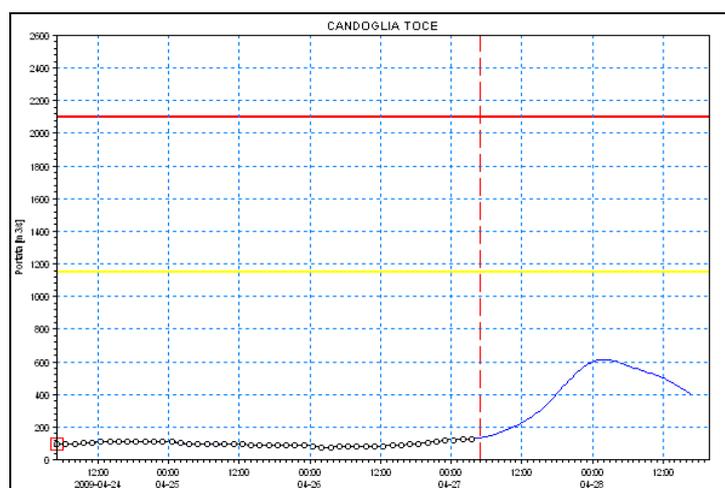
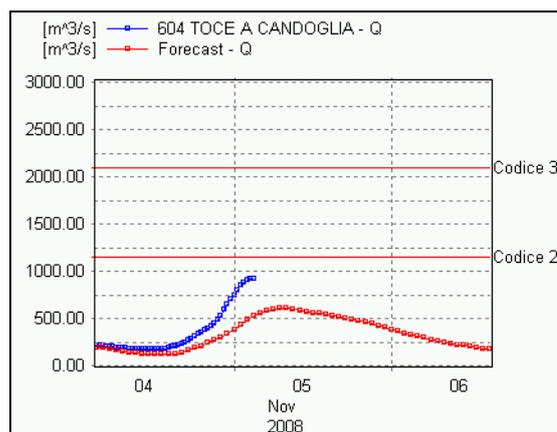
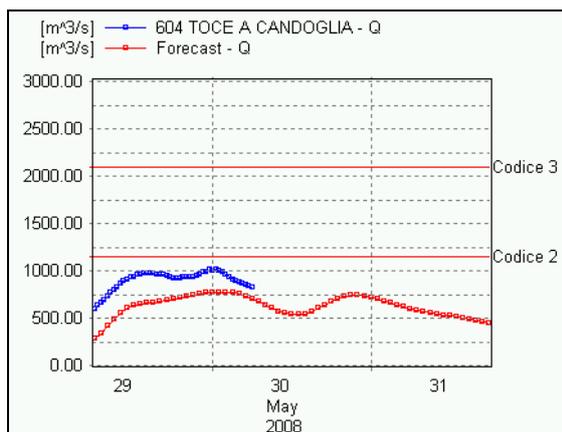


Figura 13 – Previsioni delle piene a 36 ore ARPA

Solidi trasportati

L'attività di campionamento dei solidi trasportati, avviata in modo sperimentale nel 2008, parte dall'esperienza di ARPA nel campo delle misure di radioattività ambientale.

Nelle attività portate avanti dal Centro Tematico Nazionale (CTN) Agenti fisici è stata redatta una guida tecnica (APAT AGF-T-GTE-00-02 2000) che indica anche una metodologia di campionamento del "Detrito Minerale Organico Sedimentabile (DMOS)" presente nei corsi d'acqua identificato come "la fase solida in sospensione nell'acqua dei fiumi campionata in prossimità del fondale".

Il metodo indicato, che prevede l'uso di dispositivi estremamente semplici e poco costosi, è stato considerato potenzialmente adeguato anche per le finalità del progetto.

Con questa tecnica, che prevede il posizionamento dei dispositivi di campionamento nel corso d'acqua per un periodo variabile in funzione del regime idrologico (tipicamente 7-14 giorni), è possibile raccogliere quantità sufficienti di solidi trasportati per l'analisi.

La tecnica è quindi adeguata sia per la caratterizzazione granulometrica che per la determinazione dei composti di interesse (DDT, esaclorocicloesano e esaclorobenzene) in presenza di regimi idrologici caratterizzati da un basso trasporto solido.

Descrizione del dispositivo e delle modalità di campionamento

Il dispositivo di campionamento consiste in due sacchetti di plastica inseriti uno all'interno dell'altro. Sulle facciate del sacchetto interno vengono effettuati tre tagli orizzontali, mentre su quelle del sacchetto esterno vengono effettuati tre tagli verticali di circa 20 cm. All'interno dei sacchetti vengono inserite tre strisce in polietilene di 10x100 cm ripiegate. I sacchetti vengono chiusi con una semplice legatura e zavorrati sul fondo del fiume (figura 14).



Figura 14 – Dispositivo di campionamento

Questo dispositivo permette all'acqua di entrare nei sacchetti e al materiale di depositarsi nelle pieghe delle strisce in polietilene e di non disperdersi nella fase di recupero. Il campionatore è costituito da due dispositivi uniti tra di loro e legati con una corda ad un galleggiante, necessario per mantenere disteso il campionatore e favorirne il recupero terminato il periodo di campionamento (figura 15).



Figura 15 – Dispositivi di campionamento in prossimità del fondo

Possono essere usati più campionatori in relazione alle caratteristiche del corso d'acqua e alla quantità attesa di solidi trasportati e anche in rapporto alla possibile perdita di alcuni campionatori.

All'inizio del 2009 è stata altresì verificata l'applicabilità dei dispositivi di campionamento per la raccolta dei solidi trasportati anche in punti diversi nella colonna d'acqua e non solo in prossimità del fondo (figura 16).



Figura 16 – Dispositivi di campionamento nella colonna d'acqua

La sperimentazione è stata condotta a Candoglia dove il livello dell'acqua consente questa modalità di campionamento.

In questo caso i dispositivi di campionamento sono stati legati ad un cavo fissato da un lato alla ringhiera della passerella e che termina dall'altro con una zavorra appoggiata sul fondo del corso d'acqua. Misurando l'altezza dell'acqua nel punto è possibile posizionare i dispositivi ad una distanza definita dal fondo o dal pelo dell'acqua.

Trascorso il periodo stabilito i dispositivi di campionamento sono raccolti, avendo cura di non disperdere materiale, posti in adeguati contenitori e trasportati al laboratorio. Nella figura 17 si vede come si presenta il campionatore al termine del periodo di posizionamento nel corso d'acqua.



Figura 17 – Dispositivo di campionamento dopo il recupero

Nell'applicazione del metodo per la raccolta di solidi trasportati sono state apportate alcune variazioni rispetto al metodo descritto nel documento APAT nella parte relativa alla preparazione del materiale da sottoporre ad analisi del DDT e degli altri composti di interesse.

L'asportazione del materiale dai campionatori è stata effettuata in laboratorio, a umido in modo quantitativo eliminando solo eventuali parti vegetali presenti (legni, alghe, acc.). Prima della essiccazione viene effettuata una setacciatura ad umido con setaccio di 2 mm; la frazione trattenuta, se presente, viene essiccata e pesata ma non sottoposta ad analisi.

Dopo sedimentazione ed eliminazione del surnatante il materiale di granulometria inferiore a 2 mm è essiccato all'aria e pesato.

Sul materiale secco è effettuata la caratterizzazione granulometrica mediante setacciatura con setacci da 0.200 mm (200 μ m) e 0.063 mm (63 μ m).

Vengono così ottenute tre frazioni di granulometria:

- tra 200 µm e 2 mm
- tra 63 µm e 200 µm
- inferiore a 63 µm

L'analisi di DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano è condotta su tutte e tre le frazioni indicate.

Campionamenti effettuati

I campionamenti sono stati effettuati tutti a Candoglia tranne uno (10-20 gennaio 2009) a Vogogna a monte del sito di Pieve Vergonte.

I campionamenti a Candoglia sono stati effettuati posizionando i campionatori:

- in prossimità del fondale a circa 2 m dalla riva sinistra
- ad una distanza dal fondale variabile in relazione al livello idrometrico posizionando 2 campionatori ancorati alla passerella distanziati di circa 10 m

Sono stati effettuati complessivamente 15 campionamenti di solidi trasportati (inclusi quelli sperimentali):

- 11-17 settembre 2008 a Candoglia – Riva sx - campione in prossimità del fondale utilizzando 4 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 10-20 gennaio 2009 a Candoglia – Passerella - campione a 1-1.5 m dal fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 10-20 gennaio 2009 a Vogogna (monte diga) – Riva dx - campione in prossimità del fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 19-31 agosto 2009 a Candoglia – Passerella - campione nella colonna d'acqua utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 19-31 agosto 2009 a Candoglia – Riva sx - campione in prossimità del fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 09-20 ottobre 2009 a Candoglia – Riva sx - campione in prossimità del fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 09-20 ottobre 2009 a Candoglia – Passerella - campione nella colonna d'acqua utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 20-30 ottobre 2009 a Candoglia – Riva sx - campione in prossimità del fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 20-30 ottobre 2009 a Candoglia – Passerella - campione nella colonna d'acqua utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)

- 06-16 novembre 2009 a Candoglia – Riva sx - campione in prossimità del fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 06-16 novembre 2009 a Candoglia – Passerella - campione nella colonna d'acqua utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 25 novembre-10 dicembre 2009 a Candoglia – Riva sx - campione in prossimità del fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 25 novembre-10 dicembre 2009 a Candoglia – Passerella - campione nella colonna d'acqua utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 10-18 dicembre 2009 a Candoglia – Riva sx - campione in prossimità del fondale utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)
- 10-18 dicembre 2009 a Candoglia – Passerella - campione nella colonna d'acqua utilizzando 2 campionatori (costituiti ciascuno da 2 dispositivi)

Sedimenti

Sono state considerate due campagne di campionamento di sedimenti: la prima effettuata da Hydrodata con la collaborazione di ARPA il 29 settembre 2008 e la seconda nei mesi di luglio e agosto 2009 nell'ambito della caratterizzazione esterna del sito da parte di Environ nel 2009.

I campionamenti Hydrodata sono stati eseguiti nei 10 siti previsti (figura 10) sia sui depositi emersi che nell'alveo bagnato; nel sito P04 è stato prelevato un campione aggiuntivo.

I dati preliminari forniti da Hydrodata, relativi alle caratteristiche granulometriche del materiale campionato, evidenziavano bassissime percentuali di materiale di granulometria inferiore ai 100 µm dove tende a concentrarsi il DDT.

Questa situazione e la quantità totale di sedimento prelevato non consentiva di disporre di sufficiente materiale per la determinazione del DDT e degli altri composti sulla frazione di granulometria fine; viceversa l'analisi sul campione tal quale è stata ritenuta poco significativa sulla base delle curve granulometriche rilevate.

A scopo sperimentale l'analisi è stata condotta su un solo campione tal quale.

Tra i prelievi effettuati da Environ nel luglio-agosto 2009 sono stati selezionati complessivamente 8 campioni di sedimenti del Toce e analizzati per le finalità del progetto.

I campioni si riferiscono ai quattro siti selezionati, RT-03, RT-05, RT-06 e RT-07, tutti prelevati nello strato superficiale (tra 0 e 20 o 30 cm di profondità) tranne uno, RT-05

SX corrispondente allo strato tra 20 e 30 cm, sia in sponda destra che in sponda sinistra.

RISULTATI OTTENUTI

Monitoraggio ordinario

Nelle tabelle 8 e 9 sono riportati i dati relativi ai campioni del monitoraggio regionale delle acque superficiali prelevati nei tre punti previsti sul Toce a valle del sito contaminato.

I dati sono riferiti ai singoli isomeri e cataboliti del DDT, all'esaclorobenzene e a tre isomeri dell'esaclorocicloesano; sono inoltre riportati i valori riscontrati di solidi sospesi, di conducibilità e la portata media giornaliera misurata a Candoglia che può essere riferita solo ai punti 051052 – Premosello Chiovenda e 051060 – Gravellona Toce.

In nessun campione analizzato sono stati riscontrati residui dei composti considerati superiori al limite di quantificazione adottato di 0.002 µg/L.

Dai dati ottenuti, applicando gli standard di qualità ambientali (SQA) previsti dalla direttiva 2008/105/CE e Decreto 14 aprile 2009 n. 56, lo stato chimico del corpo idrico corrispondente al tratto terminale del Toce dalla confluenza dell'Anza alla foce risulta "Buono".

Quindi, sulla base dei dati del monitoraggio per gli anni 2008-2009, la presenza del sito contaminato non sembra precludere il raggiungimento dell'obiettivo di qualità per lo stato chimico in relazione alla presenza di sostanze pericolose previsto dalla direttiva 2000/60/CE.

Tabella 8 – Dati campionamenti 2008 monitoraggio regionale

Codice Punto regionale/Localtà	Data prelievo	o,p' DDT (µg/L)	p,p' DDT (µg/L)	p,p' DDE (µg/L)	o,p' DDE (µg/L)	p,p' DDD (µg/L)	o,p' DDD (µg/L)	ESACLOROBENZENE (µg/L)	ESACLOROCICLOESANO alfa (µg/L)	ESACLOROCICLOESANO beta (µg/L)	ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano) (µg/L)	SOLIDI SOSPESI (mg/L)	CONDUCIBILITÀ (µS/cm a 20°C)	Portata media giornaliera a Candoglia (m³/sec)
051050 - Pieve Vergonte - Megolo di Mezzo	16/01/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	126	n.a.
	12/02/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	168	n.a.
	12/03/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	124	n.a.
	08/04/2008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 10	229	n.a.						
	14/05/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	92	n.a.
	10/06/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	111	n.a.
	08/07/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	127	n.a.
	12/08/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	113	n.a.
	09/09/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	128	n.a.
	14/10/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	232	n.a.
	11/11/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	144	n.a.
09/12/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	177	n.a.	
051052 - Premosello Chovivenda - Ponte SS 33	16/01/2008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 10	267	27,0						
	12/02/2008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 10	246	26,9						
	12/03/2008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 10	208	23,2						
	08/04/2008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 10	303	18,5						
	14/05/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	92	48,7
	10/06/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	106	124,2
	08/07/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	142	65,6
	12/08/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	32	139	51,1
	09/09/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	129	86,5
	14/10/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	205	28,7
	11/11/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	145	107,3
09/12/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	199	34,5	
051060 - Gravelona Toce - Ponte SS 34	16/01/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	267	27,0
	12/02/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	245	26,9
	12/03/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	208	23,2
	08/04/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	250	18,5
	14/05/2008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 10	129	48,7						
	10/06/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	106	124,2
	08/07/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	139	65,6
	12/08/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	48	154	51,1
	09/09/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	42	132	86,5
	14/10/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	77	28,7
	11/11/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	144	107,3
09/12/2008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	213	34,5	

Tabella 9 – Dati campionamenti 2009 monitoraggio regionale

Codice Punto regionale/Località	Data prelievo	o,p' DDT (µg/L)	p,p' DDT (µg/L)	p,p' DDE (µg/L)	o,p' DDE (µg/L)	p,p' DDD (µg/L)	o,p' DDD (µg/L)	ESACLOROBENZENE (µg/L)	ESACLOROCLOESANO alfa (µg/L)	ESACLOROCLOESANO beta (µg/L)	ESACLOROCLOESANO gamma (Lindano) (µg/L)	SOLIDI SOSPESI (mg/L)	CONDUCIBILITÀ (µS/cm a 20°C)	Portata media giornaliera a Candoglia (mc/sec)	
051050 - Fieve Vergonte - Megolo di Mezzo	20/01/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	184	n.a.	
	09/02/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	197	n.a.	
	10/03/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	177	n.a.	
	15/04/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	12	92	n.a.	
	12/05/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	97	n.a.	
	09/06/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	101	46	n.a.
	14/07/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	23	178	n.a.
	10/08/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	94	110	n.a.
	08/09/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	170	n.a.
	13/10/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	134	n.a.
	09/11/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	206	n.a.
	15/12/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	226	n.a.
	051052 - Premosello Choivenda - Ponte SS 33	20/01/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	194	34,4
		09/02/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	220	40,3
		11/03/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	205	46,2
14/04/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	125	73,5	
12/05/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	108	136,7	
10/06/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	59	75	267,3	
13/07/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	139	79,8	
10/08/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	105	133	71,7
08/09/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	174	39,4
13/10/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	183	33,7
09/11/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	205	21,4
15/12/2009		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	228	22,2
051060 - Gravelona Toce - Ponte SS 34		20/01/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	215	34,4
		10/02/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	181	44,3
		11/03/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	215	46,2
	15/04/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	134	79,3	
	11/05/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	108	142,6	
	09/06/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	104	69	365,9	
	13/07/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	19	141	79,8	
	10/08/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	48	137	71,7	
	08/09/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	172	39,4
	13/10/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	172	33,7
	09/11/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	214	21,4
	15/12/2009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 10	249	22,2

I dati evidenziano inoltre che, anche nel caso di presenza di solidi sospesi misurabili, circa il 16% dei campionamenti distribuiti prevalentemente nel 2009 con un valore massimo di 105 mg/L, non è stata rilevata la presenza di DDT al di sopra del limite di quantificazione adottato.

Campionamenti in eventi di piena

Sono stati effettuati complessivamente tre campionamenti in occasione di piene con portate superiori a 400 mc/sec:

- 30 maggio 2008
- 5 novembre 2008
- 28 aprile 2009

Vista la bassa quantità di solidi disponibili per l'analisi ottenuti da 20 L di campione, non è stata possibile la caratterizzazione granulometrica anche se visivamente il materiale trasportato risultava generalmente assimilabile ad un limo sabbioso.

In relazione alla concentrazione di solidi sospesi riscontrata si è proceduto, per i primi due campionamenti alla analisi separata dei solidi e dell'acqua filtrata, mentre per il terzo campionamento è stata possibile la determinazione del DDT e degli altri composti di interesse sia sul campione tal quale che su quello filtrato.

Nella tabella 10 sono riportati i dati di portata, di solidi sospesi e di conducibilità.

Tabella 10 – Dati di portata, solidi sospesi e conducibilità

	Portata istantanea (mc/sec)	Portata media giornaliera (mc/sec)	SOLIDI SOSPESI (mg/L)	CONDUCIBILITÀ (uS/cm a 20°C)
Campione 30/05/2008	631	616	416	65
Campione 05/11/2008	879	787	385	42
Campione 28/04/2009	564	511	122	56

Campionamento 30 maggio 2008

Il valore dei solidi sospesi determinato sul campione istantaneo effettuato da ARPA, 416 mg/L risulta coerente con i valori medi ottenuti dalle misure di trasporto solido effettuate da Hydrodata.

Il dato di conducibilità (65 μ S/cm) conferma l'andamento riportato in figura 7 con un significativo effetto di diluizione al crescere delle portate.

Nella tabella 11 sono riportati i dati relativi al DDT e agli altri composti di interesse nei solidi trasportati e nella fase acquosa.

La determinazione è stata effettuata separatamente sui solidi e sull'acqua filtrata; il dato totale sull'acqua tal quale è stato derivato per calcolo.

E' stata riscontrata la sola presenza di p,p' DDT (0.06 ng/g) nella fase solida mentre nella fase acquosa non sono state riscontrate le sostanze ricercate.

Riportando le concentrazioni misurate sui solidi all'acqua si ottiene una concentrazione pari a 0.025 ng/L di p,p' DDT.

Tabella 11 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Campione del 30/05/2008

Sostanza	campione 30/05/2008			
	solidi ng/g	solidi ng/L	acqua filtrata ng/L	acqua Totale ng/L
p,p' DDT	0,06	0,025	< 0,025	0,025
o,p' DDT	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
p,p' DDE	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
o,p' DDE	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
p,p' DDD	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
o,p' DDD	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	0,06	0,025	< 0,025	0,025
ESACLOROBENZENE	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,050	< 0,050	< 0,050
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025

Campionamento 5 novembre 2008

Il valore dei solidi sospesi determinato sul campione istantaneo effettuato da ARPA, 385 mg/L risulta coerente con i valori medi ottenuti dalle misure di trasporto solido effettuate da Hydrodata.

Il dato di conducibilità (42 μ S/cm) conferma l'andamento riportato in figura 7 con un significativo effetto di diluizione al crescere delle portate.

Nella tabella 12 sono riportati i dati relativi al DDT e agli altri composti di interesse nei solidi trasportati e della fase acquosa.

La determinazione è stata effettuata separatamente sui solidi e sull'acqua filtrata; il dato totale sull'acqua tal quale è stato derivato per calcolo.

E' stata rilevata la presenza sia dei due isomeri del DDT che del p,p' DDE con una prevalenza di pp' DDT, 0.32 ng/g corrispondenti a 0.125 ng/L, seguito da p,p' DDE, 0.08 ng/g corrispondenti a 0.03 ng/L e da o,p' DDT 0.06 ng/g corrispondenti a 0.025 ng/L.

La concentrazione sull'acqua tal quale della sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT è risultata pari a 0.18 ng/L.

Tabella 12 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Campione del 05/11/2008

Sostanza	campione 05/11/2008			
	solidi ng/g	solidi ng/L	acqua filtrata ng/L	acqua Totale ng/L
p,p' DDT	0,32	0,125	< 0,025	0,125
o,p' DDT	0,06	0,025	< 0,025	0,025
p,p' DDE	0,08	0,03	< 0,025	0,03
o,p' DDE	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
p,p' DDD	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
o,p' DDD	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	0,46	0,18	< 0,025	0,18
ESACLOROBENZENE	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,050	< 0,050	< 0,050
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025

Campionamento 28 aprile 2009

Il valore dei solidi sospesi determinato sul campione istantaneo effettuato da ARPA, 122 mg/L, risulta moderatamente inferiore rispetto al valore medio ottenuti dalle misure di trasporto solido effettuate da Hydrodata.

Il dato di conducibilità (56 μ S/cm) conferma l'andamento riportato in figura 7 con un significativo effetto di diluizione al crescere delle portate.

Nella tabella 13 sono riportati i dati relativi al DDT e agli altri composti di interesse nei solidi trasportati e della fase acquosa.

La quantità di solidi sospesi era troppo bassa per una analisi separata quindi la determinazione è stata effettuata sull'acqua tal quale e sull'acqua filtrata; i dati sui solidi trasportati sono stati derivati per calcolo.

In questo campionamento i valori riscontrati sul campione tal quale sono di molto superiori a quelli precedenti con la presenza di tutti gli isomeri e metaboliti del DDT ad eccezione dell'o,p' DDD e dell'esaclorobenzene.

Si evidenzia una netta prevalenza del DDT, in particolare l'isomero p,p'.

La concentrazione sull'acqua tal quale della sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT è risultata pari a 9.8 ng/L con una concentrazione sull'acqua filtrata pari a 1.8 ng/L.

Tabella 13 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Campione del 28/04/2009

Sostanza	campione 28/04/09			
	solidi ng/g	solidi ng/L	acqua filtrata ng/L	acqua Totale ng/L
p,p' DDT	54,10	6,60	1,05	7,65
o,p' DDT	7,79	0,95	0,50	1,45
p,p' DDE	2,05	0,25	0,05	0,30
o,p' DDE	< 0,05	< 0,025	< 0,025	0,10
p,p' DDD	0,82	0,10	0,20	0,30
o,p' DDD	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	65,57	8,00	1,80	9,80
ESACLOROBENZENE	< 0,05	< 0,025	0,10	0,10
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,050	< 0,050	< 0,050
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,025	< 0,025	< 0,025

Sintesi dei dati ottenuti

Dai dati ottenuti dai tre campionamenti durante gli eventi di piena emerge che i valori riscontrati di DDT sono sostanzialmente diversi.

In particolare le concentrazioni di DDT rilevate nell'evento del 28 aprile 2009 risultano sensibilmente più elevate anche in presenza di una minore concentrazione di solidi sospesi e una portata, sia istantanea che media giornaliera, più bassa rispetto alle altre piene considerate.

La somma degli isomeri e metaboliti del DDT nel campione di aprile 2009 risulta significativamente più elevata (circa 50 volte) di quella riscontrata nei solidi trasportati nella colonna d'acqua ottenuta posizionando i dispositivi di campionamento dalla passerella di seguito descritti. Solo nel campionamento sperimentale del 10-20 gennaio 2009, con la somma di DDT sul campione tal quale pari a 26,16 ng/g, si registrano dati più confrontabili.

Considerato che il contributo delle classi granulometriche incide in modo significativo sulla concentrazione del DDT nei solidi trasportati, è verosimile che nell'evento di piena del 28 aprile, meno intenso degli altri, la percentuale di materiale fine fosse più elevata. Parallelamente non può essere escluso un picco di DDT determinato dal dilavamento di aree contaminate.

Solidi trasportati

Sono stati effettuati complessivamente 15 campionamenti di solidi trasportati dei quali tre sperimentali (due a Candoglia e uno a Vogogna).

I campionamenti di Candoglia sono stati effettuati posizionando i campionatori sia in prossimità del fondale a circa 2 m dalla riva sinistra che dalla passerella ad una

distanza dal fondale variabile in relazione al livello idrometrico, suddivisi in due gruppi poi riuniti per le analisi, distanziati di circa 10 m.

I campionamenti nella colonna d'acqua dalla passerella sono stati effettuati con l'obiettivo principale di raccogliere quantità sufficienti di materiale trasportato per l'analisi del DDT per le tre classi granulometriche considerate.

Non sono disponibili dati sperimentali che valutano la capacità dei campionatori posizionati nella colonna d'acqua di trattenere in modo rappresentativo tutte le classi granulometriche. Per questa ragione i dati relativi alla ripartizione percentuale delle tre classi granulometriche di seguito riportate per questo tipo di campionamento sono da considerarsi indicativi.

La determinazione di DDT, esaclorocicloesano e esaclorobenzene è stata effettuata separatamente sulle tre classi granulometriche considerate:

- tra 200 μm e 2 mm
- tra 63 μm e 200 μm
- inferiore a 63 μm

Complessivamente sono stati analizzati 45 campioni su alcuni dei quali, dove erano disponibili quantità sufficienti di materiale, è stata inoltre effettuata la determinazione del Carbonio organico.

Campionamento 11-17 settembre 2008 (sperimentale)

I dispositivi sono stati posizionati, nella modalità prevista per il campionamento in prossimità del fondale, in sponda sinistra (sx) del Toce a Candoglia immediatamente a valle della passerella per un periodo di 7 giorni.

Nel periodo considerato le portate medie giornaliere si sono mantenute tra 60 e 80 mc/sec con un picco di 163 mc/sec il 13 settembre e una coda nei due giorni successivi di 131 e 93 mc/sec (figura 18).

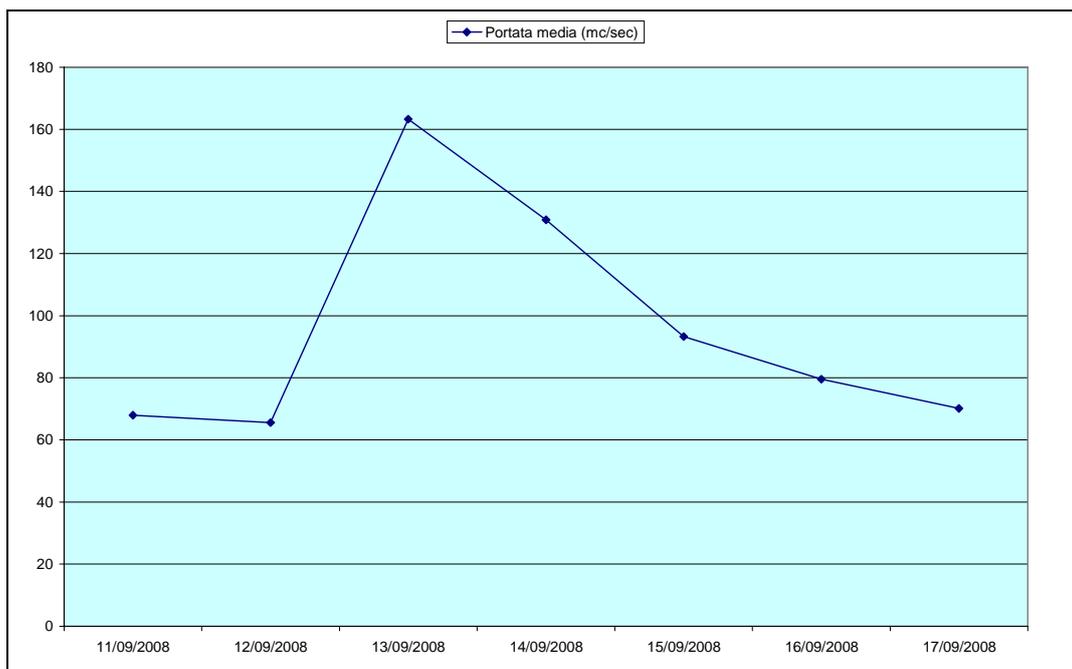


Figura 18 – Portate medie giornaliere a Candoglia 11-17 settembre 2008

In questa prima campagna sperimentale il materiale raccolto non è stato quantificato anche se da una stima a posteriori è stato possibile ipotizzare una quantità certamente superiore ai 5 Kg.

Per questo campionamento non è disponibile la percentuale di solidi con granulometria superiore a 2 mm. Nella tabella 14 è riportata la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati.

Tabella 14 – Caratteristiche granulometriche

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	29,8
Tra 63 μ e 200 μ	41,0
Inferiore a 63 μ	29,2

Nella tabella 15 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Per questo campionamento non è stata effettuata la determinazione sulla classe granulometrica 200 μ m-2 mm.

Tabella 15 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano nei solidi campionati

Sostanza	Candoglia 11-17 settembre 2008 - Riva sx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	1,23	0,71	n.d.
o,p' DDT	0,46	1,02	n.d.
p,p' DDE	0,17	0,13	n.d.
o,p' DDE	< 0,05	< 0,05	n.d.
p,p' DDD	0,19	0,20	n.d.
o,p' DDD	0,11	0,10	n.d.
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	2,16	2,16	n.d.
ESACLOROBENZENE	< 0,05	< 0,05	n.d.
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	n.d.
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	n.d.
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	n.d.

Nella figura 19 è riportato un dettaglio del cromatogramma con gli ioni caratteristici degli isomeri e metaboliti del DDT del campione con granulometria inferiore a 63 μ m.

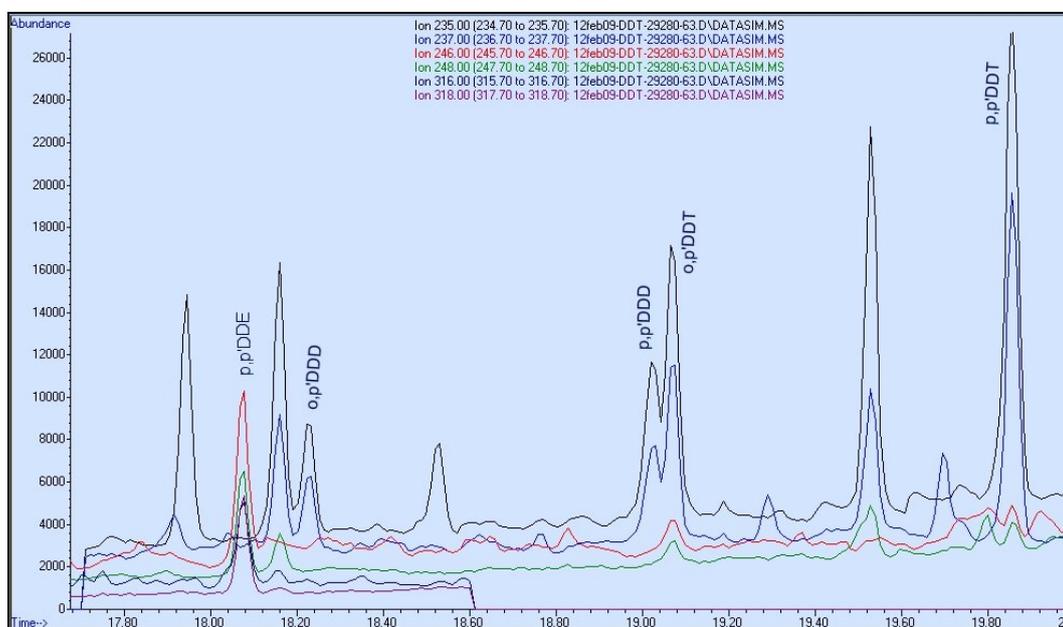


Figura 19 – Dettaglio cromatogramma GC/MS SIM campione solidi < 63 μ m

Nelle figure 20 e 21 sono riportati, per lo stesso campione, gli spettri ottenuti per gli ioni acquisiti in modalità SIM del p,p'DDT e del p,p'DDE confrontati con quelli presenti nella libreria dello strumento.

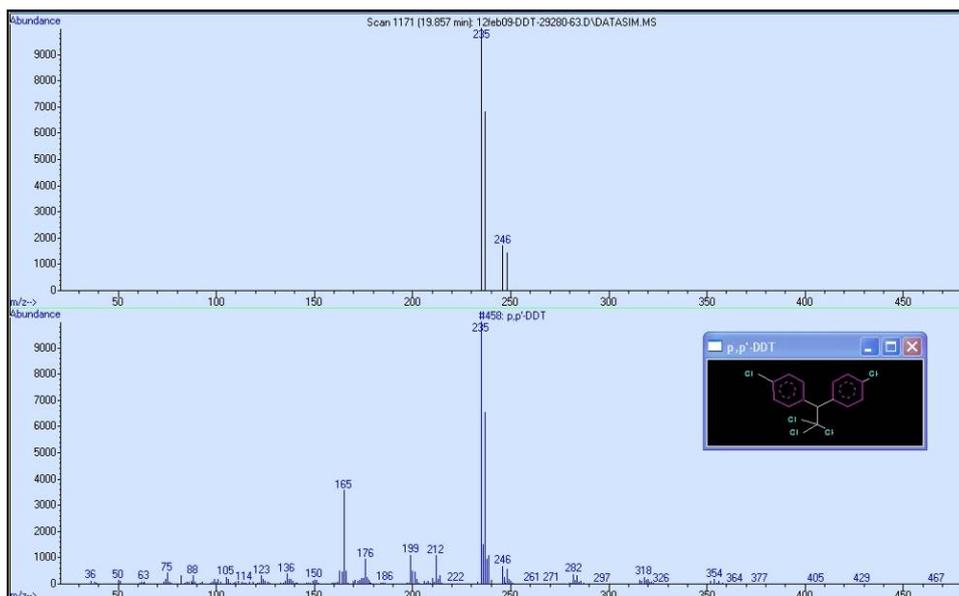


Figura 20 – Spettro di massa p,p'DDT

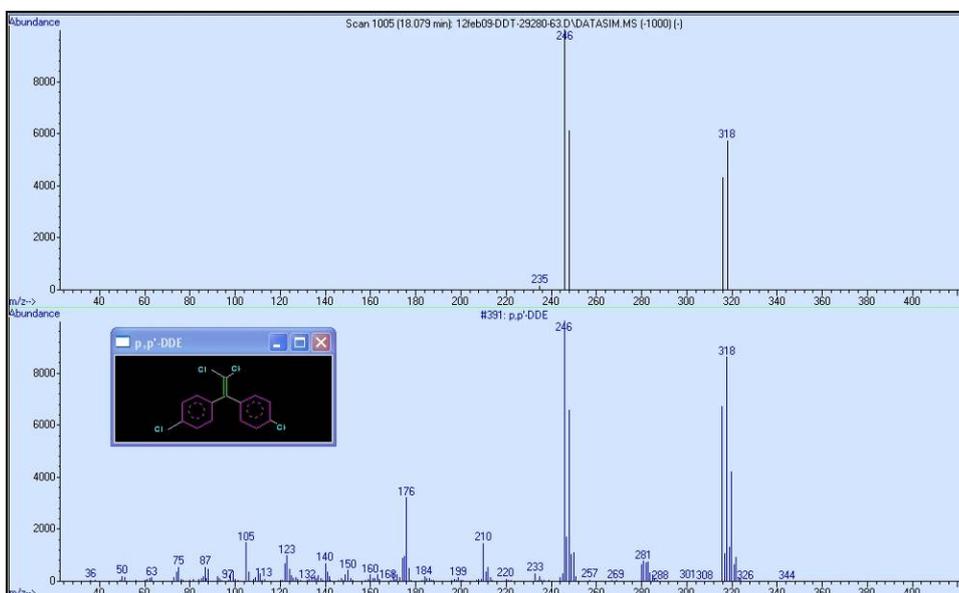


Figura 21 – Spettro di massa p,p'DDE

Campionamento 10-20 gennaio 2009 – Candoglia (sperimentale)

In questa campagna è stato sperimentato il campionamento per la raccolta dei solidi trasportati in punti diversi nella colonna d'acqua e nella sezione dell'alveo.

I dispositivi, due gruppi sistemati a circa 10 m di distanza, ancorati alla passerella, sono stati posizionati per un periodo di 10 giorni a circa 1.5 m dal fondale (figura 22).



Figura 22 – Posizionamento dei campionatori a Candoglia

Nel periodo considerato le portate medie giornaliere sono risultate sostanzialmente costanti, comprese tra 28 e 42 mc/sec (figura 23).

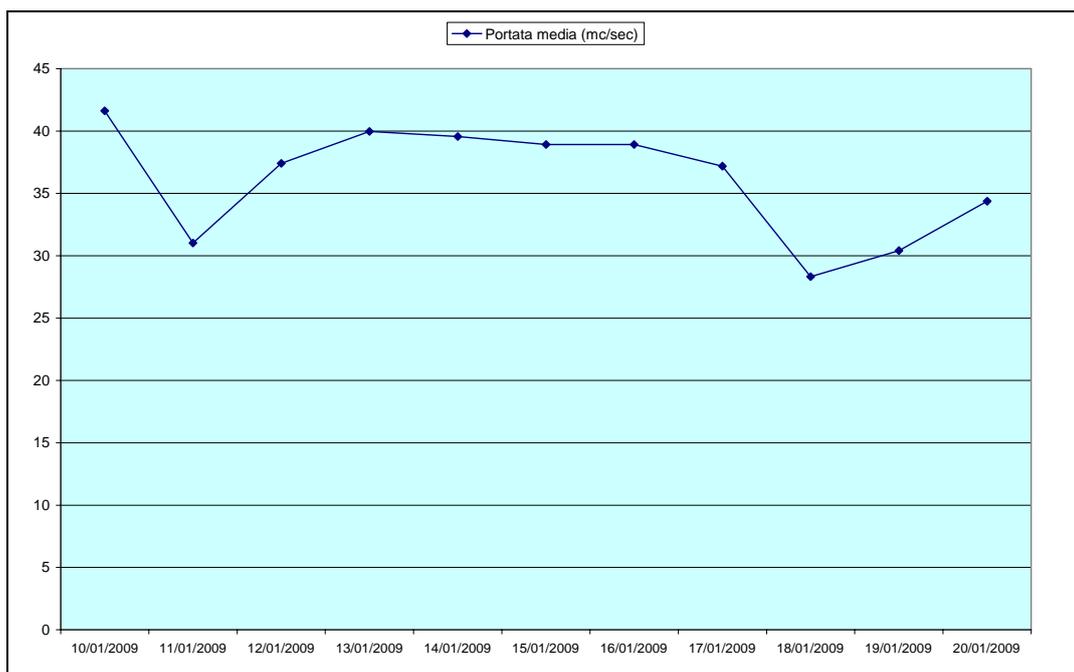


Figura 23 – Portate medie giornaliere a Candoglia 10-20 gennaio 2009

Nella tabella 16 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati nella colonna d'acqua dalla passerella.

Tabella 16 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Passerella

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	34,8
Tra 63 μ e 200 μ	50,2
Inferiore a 63 μ	15,0
Frazione > 2mm (% su totale)	0,0
Totale campionato (g)	99
Giorni di campionamento	10

Nelle tabella 17 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 17 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Passerella

Sostanza	Candoglia 10-20 gennaio 2009 - Passerella		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	31,09	29,51	3,97
o,p' DDT	2,32	1,21	0,53
p,p' DDE	1,24	1,04	0,44
o,p' DDE	0,30	0,16	0,09
p,p' DDD	1,78	4,16	0,39
o,p' DDD	1,68	0,62	0,30
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	38,41	36,70	5,72
ESACLOROBENZENE	0,59	0,17	0,13
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 26.16 ng/g.

Per questo campionamento non sono state effettuate determinazioni di Carbonio Organico Totale.

Campionamento 10-20 gennaio 2009 – Vogogna (sperimentale)

Questo campionamento sperimentale, con i campionatori posizionati sul fondo, è stato effettuato con lo scopo di verificare l'eventuale presenza del DDT e degli altri composti di interesse nei materiali trasportati a monte del sito di Pieve Vergonte.

I dispositivi sono stati posizionati per 10 giorni sul fondo in prossimità della riva destra (dx) a valle della diga di Vogogna; per questo campionamento non sono disponibili dati di portata.

Nella tabella 18 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati.

Tabella 18 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Riva dx

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	30,2
Tra 63 μ e 200 μ	41,3
Inferiore a 63 μ	28,5
Frazione > 2mm (% su totale)	0,0
Totale campionato (g)	30
Giorni di campionamento	10

Nelle tabella 19 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 19 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Riva dx

Sostanza	Vogogna 10-20 gennaio 2009 - Riva dx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	< 0,05	< 0,05	< 0,05
o,p' DDT	< 0,05	< 0,05	< 0,05
p,p' DDE	< 0,05	< 0,05	< 0,05
o,p' DDE	< 0,05	< 0,05	< 0,05
p,p' DDD	< 0,05	< 0,05	< 0,05
o,p' DDD	< 0,05	< 0,05	< 0,05
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	0,00	0,00	0,00
ESACLOROBENZENE	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Non è stata riscontrata la presenza di DDT in nessuna delle tre frazioni granulometriche analizzate; da questi dati si può ipotizzare che la contaminazione non sia presente a monte del sito di Pieve Vergonte.

Per questo campionamento non sono state effettuate determinazioni di Carbonio Organico Totale.

Campionamento 19-31 agosto 2009 – Candoglia

Tenendo conto dei risultati delle sperimentazioni effettuate, a partire da questa campagna l'attività è stata consolidata con due modalità di campionamento dei solidi trasportati.

- Passerella nella colonna d'acqua a circa 1.5 m dal fondo con due gruppi di campionatori distanziati di circa 10 m
- Riva sinistra (sx) sul fondo

I dispositivi sono stati posizionati per 12 giorni; le portate medie giornaliere sono risultate comprese tra 37 mc/sec e 61 mc/sec con un valore medio nel periodo di 49.4 mc/sec (figura 24).

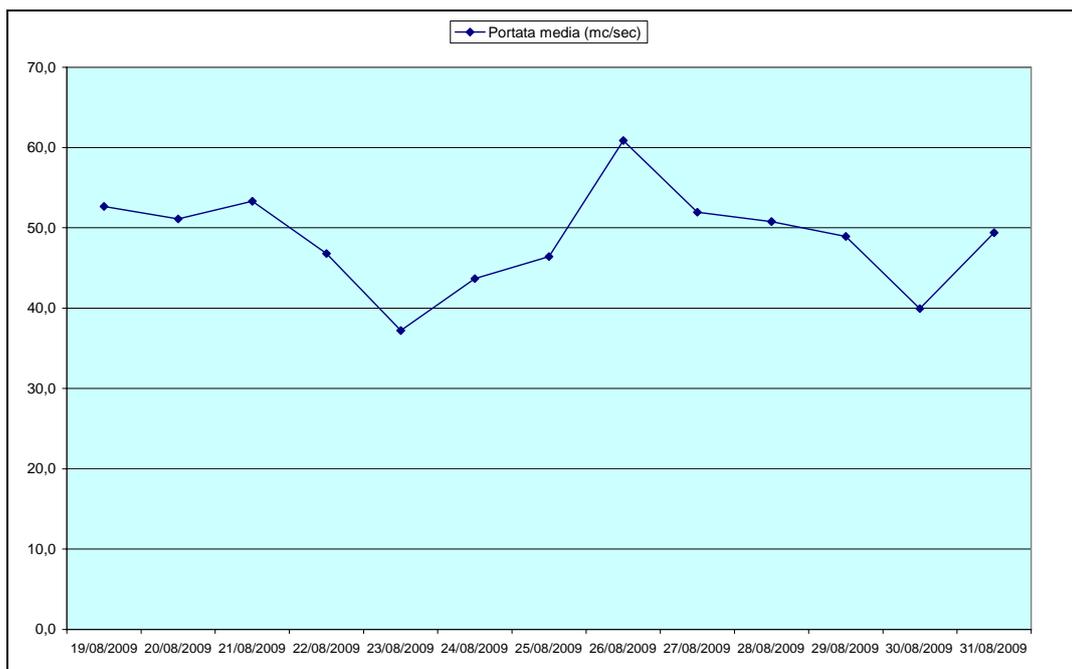


Figura 24 – Portate medie giornaliere a Candoglia 19-31 agosto 2009

Nelle tabelle 20 e 21 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati rispettivamente nella colonna d'acqua dalla passerella e sul fondo in riva sx.

Tabella 20 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Passerella

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	97,8
Tra 63 μ e 200 μ	2,0
Inferiore a 63 μ	0,3
Frazione > 2mm (% su totale)	2,3
Totale campionato (g)	14700
Giorni di campionamento	12

Tabella 21 – Caratteristiche granulometriche e altri dati dei Solidi campionati Riva sx

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	4,3
Tra 63 μ e 200 μ	16,1
Inferiore a 63 μ	79,7
Frazione > 2mm (% su totale)	0,0
Totale campionato (g)	375
Giorni di campionamento	12

Nelle tabelle 22 e 23 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 22 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Passerella

Sostanza	Candoglia 19-31 agosto 2009 - Passerella		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	3,35	0,57	0,14
o,p' DDT	0,98	0,61	0,14
p,p' DDE	0,30	0,22	0,06
o,p' DDE	0,08	0,06	< 0,05
p,p' DDD	0,35	0,16	0,06
o,p' DDD	0,16	0,12	< 0,05
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	5,22	1,74	0,40
ESACLOROBENZENE	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 0.44 ng/g.

Tabella 23 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Riva sx

Sostanza	Candoglia 19-31 agosto 2009 - Riva sx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	8,98	9,54	2,14
o,p' DDT	1,15	0,88	0,55
p,p' DDE	0,82	0,77	0,95
o,p' DDE	0,17	0,17	0,20
p,p' DDD	1,29	1,35	1,44
o,p' DDD	0,44	0,44	0,71
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	12,85	13,15	5,99
ESACLOROBENZENE	0,17	0,16	0,14
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 12.61 ng/g.

Nella tabella 24 sono riportati i dati disponibili di contenuto di carbonio organico.

Tabella 24 – TOC

Campionamento 19-31 agosto 2009	TOC% su frazione 200 μ -2mm	TOC% su frazione 63 μ -200 μ	TOC% su frazione < 63 μ
Passerella	0,21	0,32	n.d.
Riva sx	n.d.	2,76	1,37

Campionamento 09-20 ottobre 2009 – Candoglia

I dispositivi sono stati posizionati per 12 giorni; le portate medie giornaliere sono risultate comprese tra 40 mc/sec e 48 mc/sec con un valore medio nel periodo di 44.1 mc/sec (figura 25).



Figura 25 – Portate medie giornaliere a Candoglia 09-20 ottobre 2009

Nelle tabelle 25 e 26 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati rispettivamente nella colonna d'acqua dalla passerella e sul fondo in riva sx.

Tabella 25 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Passerella

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	96,8
Tra 63 μ e 200 μ	3,0
Inferiore a 63 μ	0,2

Frazione > 2mm (% su totale)	1,2
Totale campionato (g)	5630
Giorni di campionamento	12

Tabella 26 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Riva sx

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	11,3
Tra 63 μ e 200 μ	35,3
Inferiore a 63 μ	53,4
Frazione > 2mm (% su totale)	
	0,0
Totale campionato (g)	
	70
Giorni di campionamento	
	12

Nelle tabelle 27 e 28 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 27 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Passerella

Sostanza	Candoglia 09-20 ottobre 2009 - Passerella		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	28,71	16,10	0,42
o,p' DDT	5,99	0,86	0,12
p,p' DDE	0,91	0,19	< 0,05
o,p' DDE	0,37	0,06	< 0,05
p,p' DDD	3,43	0,77	0,05
o,p' DDD	0,81	0,10	< 0,05
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	40,21	18,09	0,59
ESACLOROBENZENE	0,18	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 1.20 ng/g.

Tabella 28 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Riva sx

Sostanza	Candoglia 09-20 ottobre 2009 - Riva sx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	4,78	7,46	0,95
o,p' DDT	2,15	5,85	0,42
p,p' DDE	0,90	0,82	0,20
o,p' DDE	0,13	0,11	< 0,05
p,p' DDD	1,12	1,16	0,24
o,p' DDD	0,77	0,78	0,19
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	9,85	16,18	2,00
ESACLOROBENZENE	0,16	0,12	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 11.20 ng/g.

Nella tabella 29 sono riportati i dati disponibili di contenuto di carbonio organico.

Tabella 29 – TOC

Campionamento 09-20 ottobre 2009	TOC% su frazione 200 μ -2mm	TOC% su frazione 63 μ -200 μ	TOC% su frazione < 63 μ
Passerella	0,07	0,24	n.d.
Riva sx	n.d.	n.d.	n.d.

Campionamento 20-30 ottobre 2009 – Candoglia

I dispositivi sono stati posizionati per 10 giorni con portate medie giornaliere comprese tra 38 mc/sec e 50 mc/sec con un valore medio nel periodo di 44.2 mc/sec (figura 26).



Figura 26 – Portate medie giornaliere a Candoglia 20-30 ottobre 2009

Nelle tabelle 30 e 31 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati rispettivamente nella colonna d'acqua dalla passerella e sul fondo in riva sx.

Tabella 30 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Passerella

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	95,0
Tra 63 μ e 200 μ	4,7
Inferiore a 63 μ	0,3

Frazione > 2mm (% su totale)	1,1
Totale campionato (g)	2720
Giorni di campionamento	10

Tabella 31 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Riva sx

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	7,0
Tra 63 μ e 200 μ	29,9
Inferiore a 63 μ	63,1
Frazione > 2mm (% su totale)	
	0,0
Totale campionato (g)	
	69
Giorni di campionamento	
	10

Nelle tabelle 32 e 33 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 32 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Passerella

Sostanza	Candoglia 20-30 ottobre 2009 - Passerella		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	11,91	1,29	0,09
o,p' DDT	1,27	0,15	< 0,05
p,p' DDE	0,23	0,05	< 0,05
o,p' DDE	< 0,05	< 0,05	< 0,05
p,p' DDD	1,82	0,61	< 0,05
o,p' DDD	0,21	0,05	< 0,05
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	15,44	2,15	0,09
ESACLOROBENZENE	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 0.23 ng/g.

Tabella 33 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Riva sx

Sostanza	Candoglia 20-30 ottobre 2009 - Riva sx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	5,88	2,91	0,31
o,p' DDT	0,82	0,54	< 0,05
p,p' DDE	1,41	0,52	0,26
o,p' DDE	0,10	0,08	< 0,05
p,p' DDD	0,94	1,01	0,22
o,p' DDD	0,60	0,28	0,13
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	9,75	5,34	0,92
ESACLOROBENZENE	0,26	0,09	0,07
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 7.82 ng/g.

Nella tabella 34 sono riportati i dati disponibili di contenuto di carbonio organico.

Tabella 34 – TOC

Campionamento 20-30 ottobre 2009	TOC% su frazione 200 μ -2mm	TOC% su frazione 63 μ -200 μ	TOC% su frazione < 63 μ
Passerella	0,10	0,17	n.d.
Riva sx	n.d.	n.d.	3,83

Campionamento 06-16 novembre 2009 – Candoglia

I dispositivi sono stati posizionati per 10 giorni con portate medie giornaliere comprese tra 23 mc/sec e 37 mc/sec con un valore medio nel periodo di 29.5 mc/sec (figura 27).

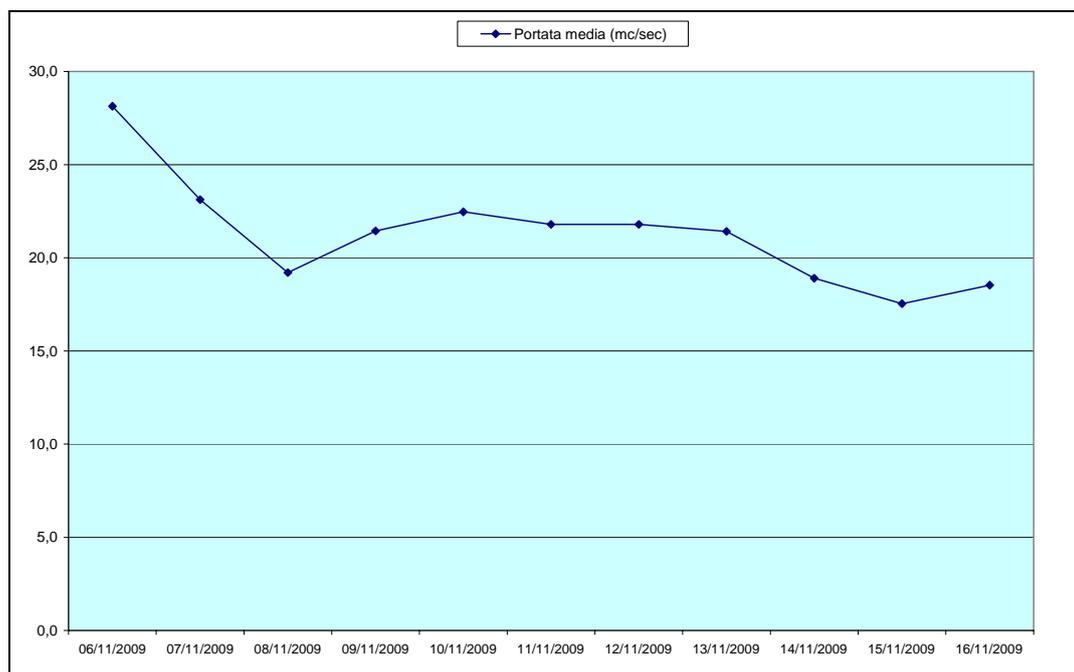


Figura 27 – Portate medie giornaliere a Candoglia 06-16 novembre 2009

Nelle tabelle 35 e 36 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati rispettivamente nella colonna d'acqua dalla passerella e sul fondo in riva sx.

Tabella 35 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Passerella

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	94,1
Tra 63 μ e 200 μ	4,9
Inferiore a 63 μ	0,9
Frazione > 2mm (% su totale)	0,0
Totale campionato (g)	1230
Giorni di campionamento	10

Tabella 36 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Riva sx

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	44,7
Tra 63 μ e 200 μ	28,2
Inferiore a 63 μ	27,1
Frazione > 2mm (% su totale)	
	0,0
Totale campionato (g)	
	85
Giorni di campionamento	
	10

Nelle tabelle 37 e 38 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 37 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Passerella

Sostanza	Candoglia 06-16 novembre 2009 - Passerella		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	7,41	7,57	0,15
o,p' DDT	0,40	0,20	< 0,05
p,p' DDE	1,42	0,30	0,05
o,p' DDE	0,18	< 0,05	< 0,05
p,p' DDD	2,20	1,11	< 0,05
o,p' DDD	0,76	0,16	0,05
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	12,37	9,34	0,25
ESACLOROBENZENE	0,18	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 0.82 ng/g.

Tabella 38 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Riva sx

Sostanza	Candoglia 06-16 novembre 2009 - Riva sx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	6,18	1,82	1,38
o,p' DDT	3,31	0,45	0,33
p,p' DDE	3,40	0,96	0,22
o,p' DDE	0,38	0,09	< 0,05
p,p' DDD	3,31	0,75	0,20
o,p' DDD	1,81	0,46	0,08
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	18,39	4,53	2,21
ESACLOROBENZENE	0,52	0,15	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 7.24 ng/g.

Nella tabella 39 sono riportati i dati disponibili di contenuto di carbonio organico.

Tabella 39 – TOC

Campionamento 06-16 novembre 2009	TOC% su frazione 200 μ -2mm	TOC% su frazione 63 μ -200 μ	TOC% su frazione < 63 μ
Passerella	0,16	0,44	n.d.
Riva sx	n.d.	n.d.	n.d.

Campionamento 25 novembre-10 dicembre 2009 – Candoglia

I dispositivi sono stati posizionati per un periodo di 14 giorni con portate medie giornaliere comprese tra 14 mc/sec e 32 mc/sec con massimi di 61 e 67 mc/sec il 30 novembre e il primo di dicembre per ritornare a 32 mc/sec il 3 dicembre (figura 28).

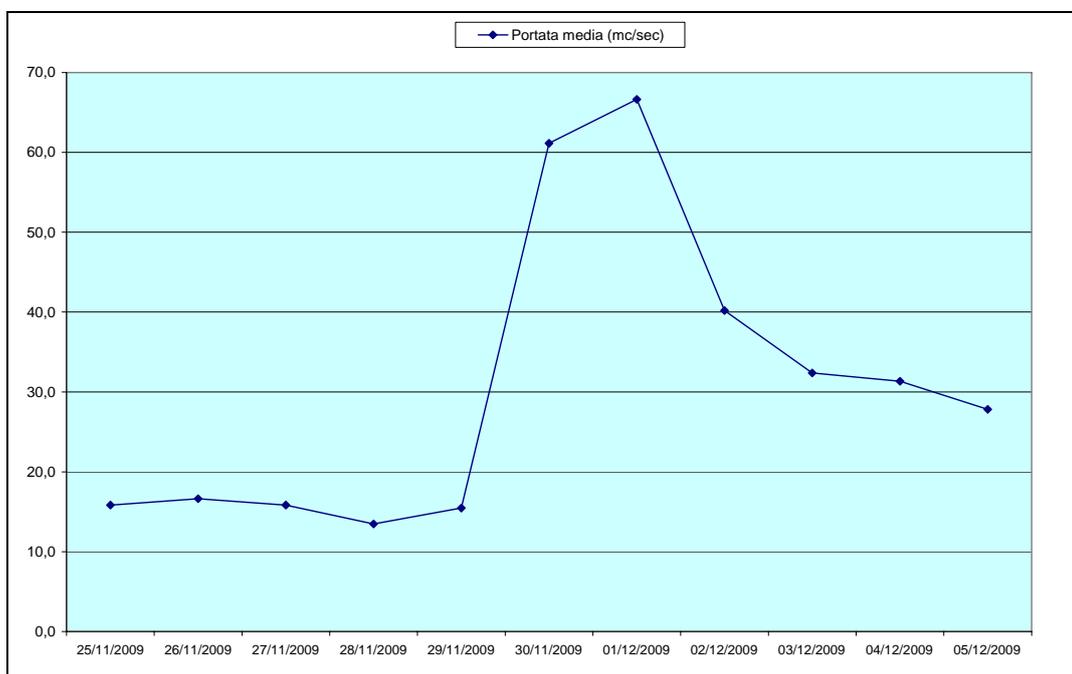


Figura 28 – Portate medie giornaliere a Candoglia 25 novembre-10 dicembre 2009

Nelle tabelle 40 e 41 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati rispettivamente nella colonna d'acqua dalla passerella e sul fondo in riva sx.

Tabella 40 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Passerella

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	96,0
Tra 63 μ e 200 μ	3,4
Inferiore a 63 μ	0,6
Frazione > 2mm (% su totale)	0,0
Totale campionato (g)	2289
Giorni di campionamento	14

Tabella 41 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Riva sx

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	49,8
Tra 63 μ e 200 μ	28,2
Inferiore a 63 μ	22,0
Frazione > 2mm (% su totale)	
	0,0
Totale campionato (g)	
	255
Giorni di campionamento	
	14

Nelle tabelle 42 e 43 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 42 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Passerella

Sostanza	Candoglia 25 novembre-10 dicembre 2009 - Passerella		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	26,08	0,20	0,31
o,p' DDT	1,11	0,12	0,13
p,p' DDE	1,59	0,18	0,09
o,p' DDE	0,23	< 0,05	< 0,05
p,p' DDD	3,78	0,29	0,11
o,p' DDD	0,73	0,13	0,06
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	33,52	0,92	0,70
ESACLOROBENZENE	0,21	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 0.91 ng/g.

Tabella 43 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Riva sx

Sostanza	Candoglia 25 novembre-10 dicembre 2009 - Riva sx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	9,75	1,23	0,68
o,p' DDT	1,73	0,39	0,30
p,p' DDE	6,10	1,20	0,51
o,p' DDE	0,63	0,13	0,06
p,p' DDD	4,97	0,90	0,28
o,p' DDD	2,00	0,41	0,19
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	25,18	4,26	2,02
ESACLOROBENZENE	0,75	0,20	0,09
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 7.75 ng/g.

Nella tabella 44 sono riportati i dati disponibili di contenuto di carbonio organico.

Tabella 44 – TOC

Campionamento 25 novembre-10 dicembre 2009	TOC% su frazione 200 μ -2mm	TOC% su frazione 63 μ -200 μ	TOC% su frazione < 63 μ
Passerella	0,13	0,49	n.d.
Riva sx	1,49	2,10	4,29

Campionamento 10-18 dicembre 2009 – Candoglia

Nel periodo considerato le portate medie giornaliere sono risultate sostanzialmente costanti, comprese tra 21 e 28 mc/sec (figura 29).

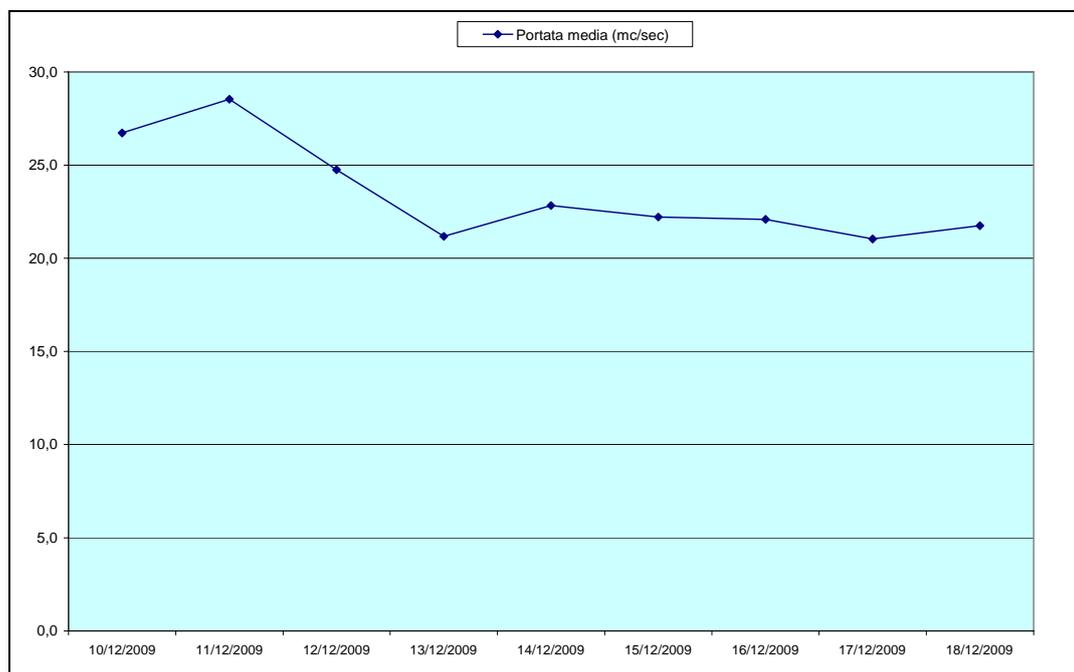


Figura 29 – Portate medie giornaliere a Candoglia 10-18 dicembre 2009

Nelle tabelle 45 e 46 sono riportati alcuni dati generali e la caratterizzazione granulometrica dei solidi trasportati campionati rispettivamente nella colonna d'acqua dalla passerella e sul fondo in riva sx.

Tabella 45 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Passerella

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	97,2
Tra 63 μ e 200 μ	2,4
Inferiore a 63 μ	0,4
Frazione > 2mm (% su totale)	0,0
Totale campionato (g)	935
Giorni di campionamento	8

Tabella 46 – Caratteristiche granulometriche e altri dati - Solidi campionati Riva sx

Classe granulometrica	% su frazione < 2 mm
Tra 200 μ e 2 mm	7,7
Tra 63 μ e 200 μ	52,1
Inferiore a 63 μ	40,2
Frazione > 2mm (% su totale)	
	0,0
Totale campionato (g)	
	77
Giorni di campionamento	
	8

Nelle tabelle 47 e 48 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 47 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Passerella

Sostanza	Candoglia 10-18 dicembre 2009 - Passerella		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	4,35	0,88	0,06
o,p' DDT	2,92	1,15	0,06
p,p' DDE	2,39	0,35	< 0,05
o,p' DDE	0,55	0,13	< 0,05
p,p' DDD	3,65	0,58	< 0,05
o,p' DDD	2,62	0,62	0,05
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	16,48	3,71	0,17
ESACLOROBENZENE	0,32	0,055	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 0.32 ng/g.

Tabella 48 – DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano - Riva sx

Sostanza	Candoglia 10-18 dicembre 2009 - Riva sx		
	classe gran. < 63 μ (ng/g)	classe gran. 63 μ -200 μ (ng/g)	classe gran. 200 μ -2mm (ng/g)
p,p' DDT	1,52	12,50	1,01
o,p' DDT	0,84	2,31	0,68
p,p' DDE	0,72	1,24	0,56
o,p' DDE	0,09	0,18	0,10
p,p' DDD	0,55	2,55	0,44
o,p' DDD	0,37	0,64	0,34
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti)	4,09	19,42	3,13
ESACLOROBENZENE	0,12	0,12	0,10
ESACLOROCICLOESANO alfa	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ESACLOROCICLOESANO beta	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ESACLOROCICLOESANO gamma (Lindano)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

La sommatoria degli isomeri e metaboliti del DDT ricalcolata sul campione di solidi trasportati tal quale, tenendo conto del contributo specifico delle tre classi granulometriche, è pari a 12.03 ng/g.

Nella tabella 49 sono riportati i dati disponibili di contenuto di carbonio organico.

Tabella 49 – TOC

Campionamento 10-18 dicembre 2009	TOC% su frazione 200 μ -2mm	TOC% su frazione 63 μ -200 μ	TOC% su frazione < 63 μ
Passerella	0,13	n.d.	n.d.
Riva sx	n.d.	n.d.	n.d.

Sintesi dei dati ottenuti

I campionamenti dei solidi trasportati hanno consentito di raccogliere sia dati relativi alle concentrazioni dei singoli composti di interesse riferite alle classi granulometriche considerate che altre informazioni di supporto utili alla interpretazione del fenomeno (caratterizzazione granulometrica, quantità totale raccolta, TOC, portate, periodo di campionamento).

Per una migliore lettura e valutazione, nella tabella 50 sono raccolti i dati di sintesi riguardanti il DDT come sommatoria degli isomeri e metaboliti sia per le classi granulometriche considerate che ricalcolati sul campione di solidi trasportati tal quale.

La tabella non comprende i campionamenti sperimentali effettuati nel 2008 e a gennaio 2009.

Tra i risultati ottenuti nelle attività sperimentali è da segnalare, come supporto alla valutazione dei dati ottenuti, la risultanza del campionamento effettuato a Vogogna a gennaio 2009 dove è stato evidenziato che i solidi trasportati a monte del sito di Pieve Vergonte non contengono DDT (isomeri e metaboliti) e Esaclorobenzene.

Viene così supportata l'ipotesi che la fonte principale di perdite di DDT è da individuare nel sito contaminato di Pieve Vergonte.

Tabella 50 – DDT - Sintesi dei dati

Campionamento	Sommatoria DDT isomeri e metaboliti (ng/g)	Classe granulometrica	% Classe granulometrica	Sommatoria DDT isomeri e metaboliti (ng/g)	TOC%
19-31 agosto 2009 - Candoglia passerella	0,44	tra 200 µ e 2 mm	97,8	0,40	0,21
		tra 63 e 200 µ	2,0	1,74	0,32
		< 63 µ	0,3	5,22	nd
19-31 agosto 2009 - Candoglia riva sx	12,61	tra 200 µ e 2 mm	4,3	5,99	nd
		tra 63 e 200 µ	16,1	13,15	2,76
		< 63 µ	79,7	12,85	1,37
09-20 ottobre 2009 - Candoglia passerella	1,20	tra 200 µ e 2 mm	96,8	0,60	0,07
		tra 63 e 200 µ	3,0	18,09	0,24
		< 63 µ	0,2	40,21	nd
09-20 ottobre 2009 - Candoglia riva sx	11,20	tra 200 µ e 2 mm	11,3	1,99	nd
		tra 63 e 200 µ	35,3	16,19	nd
		< 63 µ	53,4	9,84	nd
20-30 ottobre 2009 - Candoglia passerella	0,23	tra 200 µ e 2 mm	95,0	0,09	0,10
		tra 63 e 200 µ	4,7	2,16	0,17
		< 63 µ	0,3	15,44	nd
20-30 ottobre 2009 - Candoglia riva sx	7,82	tra 200 µ e 2 mm	7,0	0,93	nd
		tra 63 e 200 µ	29,9	5,33	nd
		< 63 µ	63,1	9,76	3,83
06-16 novembre 2009 - Candoglia passerella	0,82	tra 200 µ e 2 mm	94,1	0,26	0,16
		tra 63 e 200 µ	4,9	9,34	0,44
		< 63 µ	0,9	12,39	nd
06-16 novembre 2009 - Candoglia riva sx	7,24	tra 200 µ e 2 mm	44,7	2,21	nd
		tra 63 e 200 µ	28,2	4,53	nd
		< 63 µ	27,1	18,39	nd
25 nov.-10 dic. 2009 - Candoglia passerella	0,91	tra 200 µ e 2 mm	96,0	0,71	0,13
		tra 63 e 200 µ	3,4	0,93	0,49
		< 63 µ	0,6	33,51	nd
25 nov.-10 dic. 2009 - Candoglia riva sx	7,75	tra 200 µ e 2 mm	49,8	2,01	1,49
		tra 63 e 200 µ	28,2	4,27	2,10
		< 63 µ	22,0	25,20	4,29
10-18 dicembre 2009 - Candoglia passerella	0,32	tra 200 µ e 2 mm	97,2	0,17	0,13
		tra 63 e 200 µ	2,4	3,69	nd
		< 63 µ	0,4	16,48	nd
10-18 dicembre 2009 - Candoglia riva sx	12,03	tra 200 µ e 2 mm	7,7	3,14	nd
		tra 63 e 200 µ	52,1	19,44	nd
		< 63 µ	40,2	4,10	nd

I valori della sommatoria dei DDT sul materiale prelevato tal quale (< 2 mm) sono significativamente inferiori nei campionamenti effettuati nella colonna d'acqua dalla passerella, con valori compresi tra 0.2 e 1.2 ng/g, caratterizzati da una forte prevalenza di materiali più grossolani, rispetto a quelli sul fondo in riva sinistra, con valori compresi tra 7.2 e 12.6 ng/g, dove prevalgono invece materiali più fini.

Nella valutazione delle concentrazioni di DDT sul materiale trasportato tal quale campionato nella colonna d'acqua dalla passerella, bisogna tenere conto che allo stato attuale non si ha la certezza i dispositivi adottati garantiscano un uguale trattenimento per materiali di granulometria diversa, con possibile sottostima della percentuale delle frazioni più fini.

Da segnalare un dato, non riportato nella tabella perché riferito al campionamento sperimentale del 10-20 gennaio 2009 nella colonna d'acqua dalla passerella, che differisce sensibilmente sia come distribuzione delle classi granulometriche, che per il contenuto di DDT.

In questo campionamento è stato rilevato un contributo molto maggiore della granulometria fine, con circa il 65% di solidi inferiori a 200µm e una conseguente concentrazione molto più elevata della sommatoria di DDT sul campione tal quale (26,16 ng/g) rispetto agli altri prelevati nella colonna d'acqua. Il valore è risultato più elevato, anche se in misura minore, nei confronti dei campionamenti effettuati sul fondo in riva sx.

I dati di dettaglio relativi alla sommatoria dei DDT nelle tre classi granulometriche considerate sono di più difficile lettura in quanto presentano andamenti variabili in funzione del campionamento.

E' comunque possibile proporre le seguenti considerazioni:

- La sommatoria dei DDT nella frazione più grossolana (200µm - 2 mm) sono i più bassi riscontrati, con valori inferiori a 1 ng/g con una media di 0.37 ng/g per i sei campionamenti dalla passerella e valori più variabili, inferiori a 3.5 ng/g tranne un caso (5.99 ng/g) con una media di 2.7 ng/g per i campionamenti sul fondo in riva sx. Pur non avendo a disposizione dati completi di TOC, si evidenziano valori di carbonio organico decisamente bassi per i campionamenti dalla passerella (compresi tra lo 0.07% e lo 0.21%) mentre l'unico dato disponibile per i campionamenti in riva sx risulta invece più elevato (1.49%)
- Per la classe granulometrica intermedia (tra 200 µm e 63 µm) i valori di sommatoria dei DDT sono caratterizzati da una certa variabilità tra i campionamenti sia per quelli relativi alla colonna d'acqua che per quelli sul fondo. I valori riscontrati nella colonna d'acqua risultano inferiori in quattro campionamenti su sei, con un valore medio di 6.0 ng/g, rispetto a quelli sul fondo (media 10.5 ng/g). I dati disponibili di carbonio organico appaiono, per questa classe di granulometria, più difficilmente correlabili con le concentrazioni di DDT riscontrate.
- I valori di sommatoria dei DDT riscontrata nei materiali più fini, corrispondenti alla classe granulometrica inferiore a 63µm, risultano, come prevedibile, generalmente più elevati. In questo caso i valori più elevati, quattro campionamenti su sei, sono stati riscontrati nella colonna d'acqua con un valore medio di 20.5 ng/g rispetto a quelli sul fondo il cui valore medio riscontrato nei sei campionamenti è risultato di 13.5 ng/g. Anche in questo caso i dati disponibili di carbonio organico non consentono valutazioni specifiche.

- Mentre per tutti i campionamenti effettuati nella colonna d'acqua dalla passerella i valori di sommatoria dei DDT aumentano anche in modo rilevante passando dalle granulometrie più grossolane a quelle più fini, nei campionamenti sul fondo l'andamento è diverso, con tre casi su sei nei quali i valori più elevati si riscontrano nella classe granulometrica intermedia (tra 200 e 63 μm). Nei due casi in cui sono disponibili i dati di carbonio organico, uno con valori più elevati di DDT nella classe granulometrica tra 200 e 63 μm e l'altro con valori più elevati nella classe granulometrica < 63 μm , si rileva un andamento coerente tra TOC e DDT.

Per quanto riguarda il contributo dei singoli isomeri e metaboliti si evidenzia che il composto quantitativamente più rilevante è il DDT con una predominanza dell'isomero pp' DDT rispetto al op' DDT, molto più marcata per concentrazioni di pp' DDT maggiori di 10 ng/g.

I metaboliti DDE e DDD sono rilevati in quantità molto più basse del DDT; per i valori di DDT più elevati, superiori a 10 ng/g, il rapporto DDT/DDE è generalmente superiore a 10:1 e il rapporto DDT/DDD generalmente superiore a 5:1.

Si evidenzia inoltre che per DDT superiori a 10 ng/g i rapporti DDT/DDE sono ancora più elevati, con valori generalmente maggiori di 20:1, per i campionamenti nella colonna d'acqua dalla passerella rispetto a quelli sul fondo in riva sx.

Sedimenti fluviali

Campionamenti 29 settembre 2008

Complessivamente sono stati raccolti 21 campioni, 10 in alveo bagnato e 10 sulle sponde e uno aggiuntivo; sui campioni prelevati era prevista la caratterizzazione granulometrica e su un sottoinsieme, in via sperimentale, la determinazione di DDT, esaclorobenzene e esaclorocicloesano.

I dati della caratterizzazione granulometrica effettuata da Hydrodata hanno evidenziato basse quantità di materiale fine nella quasi totalità dei campioni, con percentuali di frazione di diametro inferiore a 200 μm generalmente minori al 5% e inferiori a 63 μm trascurabili; fanno eccezione il P02, P04 e P05 emersi con percentuali di passante 200 μm di circa il 30% e 63 μm inferiori al 5%.

Sulla base dei dati esposti e del materiale disponibile che non consentiva di avere una quantità adeguata di campione di granulometria fine, l'analisi di DDT, esaclorobenzene

e esaclorocicloesano è stata condotta soltanto sul campione P02 emerso tal quale (< 2 mm).

Nel campione analizzato non sono stati riscontrati residui dei composti considerati superiori al limite di quantificazione adottato (2,5 ng/g).

Campionamenti luglio-agosto 2009

Sono stati analizzati 8 campioni di sedimenti (tabella 51)

Tabella 51 – DDT - Sintesi dei dati

RT-03-DX tra 0 e 20 cm di profondità
RT-03-SX tra 0 e 20 cm di profondità
RT-05-DX tra 0 e 20 cm di profondità
RT-05-SX tra 20 e 30 cm di profondità
RT-06-DX tra 0 e 20 cm di profondità
RT-06-SX tra 0 e 30 cm di profondità
RT-07DX tra 0 e 20 cm di profondità
RT-07SX tra 0 e 30 cm di profondità

Le analisi del DDT isomeri e metaboliti e degli altri composti di interesse è stata effettuata sul campione tal quale (granulometria inferiore a 2mm) non effettuando quindi determinazioni specifiche sulle diverse classi granulometriche.

Nella tabella 52 sono riportati i dati ottenuti per i composti di interesse.

Tabella 52 – Sedimenti - DDT e esaclorobenzene e TOC

Sostanza	RT-03-DX 0-20 cm	RT-03-SX 0-20 cm	RT-05-DX 20-30 cm	RT-05-SX 0-30 cm	RT-06-DX 0-20 cm	RT-06-SX 0-30 cm	RT-07-DX 0-20 cm	RT-07-SX 0-30 cm
p,p' DDT (ng/g)	< 2,5	25,0	< 2,5	< 2,5	230,0	7,1	< 2,5	18,0
o,p' DDT (ng/g)	< 2,5	5,0	< 2,5	< 2,5	95,0	6,5	< 2,5	< 2,5
p,p' DDE (ng/g)	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	34,0	< 2,5	< 2,5	< 2,5
o,p' DDE (ng/g)	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	16,0	< 2,5	< 2,5	< 2,5
p,p' DDD (ng/g)	< 2,5	8,3	< 2,5	< 2,5	26,0	< 2,5	< 2,5	7,8
o,p' DDD	< 2,5	6,7	< 2,5	< 2,5	15,0	< 2,5	< 2,5	< 2,5
SOMMA DDT (isomeri e metaboliti) (ng/g)	0,0	45,0	0,0	0,0	420,2	13,6	0,0	25,8
ESACLOROBENZENE (ng/g)	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	4,2	< 2,5	< 2,5	< 2,5
TOC %	0,05	0,49	0,09	0,09	0,37	0,35	0,12	0,40

I campioni di sedimenti nei quali è stato riscontrato il DDT (isomeri e metaboliti) risultano quelli con una granulometria più fine, valutata dalle curve granulometriche messe a disposizione da Environ, e con un contenuto di TOC più alto.

VALUTAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Una visione complessiva dei dati ottenuti dallo sviluppo delle varie attività previste nel progetto consente di dare alcune risposte alle problematiche affrontate e di individuare punti che necessitano di ulteriori approfondimenti.

Un aspetto importante da tenere in considerazione è che il Toce sfocia nel lago Maggiore. In tale situazione può verificarsi la traslocazione degli inquinanti con il trasporto solido del fiume e il conseguente accumulo degli stessi nei sedimenti lacustri.

I principali risultati del progetto sono di seguito sinteticamente descritti.

- I dati del monitoraggio ordinario evidenziano che nei due anni considerati (2008-2009) non è mai stata riscontrata la presenza di DDT (isomeri e metaboliti), esaclorobenzene e esaclorocicloesano (isomeri) anche nei pochi casi in cui erano presenti solidi sospesi superiori al limite di quantificazione (10 mg/L).
- Sulla base di questi dati, considerando il limite di quantificazione (LCL) adottato per il DDT (isomeri e metaboliti) e per l'esaclorobenzene, coerente con quanto richiesto dalla direttiva 2009/90/CE (inferiore o uguale al 30% dell'SQA) e gli SQA-AA e SQA-CMA indicati dalla direttiva 2008/105/CE e dal Decreto 56/2009, lo stato chimico del corpo idrico 01SS4N829PI sul Toce risulta "Buono".
- I dati relativi agli eventi di piena con portate superiori a 400 mc/sec indicano che in due casi su tre, anche in presenza di quantità di solidi sospesi significative (circa 400 mg/L), le quantità rilevate di DDT (isomeri e metaboliti) sull'acqua tal quale, utilizzando un limite di quantificazione molto più basso di quello adottato nel monitoraggio ordinario, sono inferiori a 1 ng/L.
- Nel campionamento di aprile 2009 il DDT (isomeri e metaboliti) è stato rilevato in quantità molto più elevate (9,8 ng/L) con una netta prevalenza del pp' DDT (7,65 ng/L). In questo caso con l'approccio analitico del monitoraggio ordinario solo il p'p DDT sarebbe stato superiore al limite di quantificazione e quindi rilevabile.
- Anche considerando questi valori nel calcolo della media annuale da confrontare con l'SQA-AA, sia per il pp' DDT (0.01 µg/L pari a 10 ng/L) che per la somma degli isomeri e metaboliti del DDT (0.025 µg/L pari a 25 ng/L), lo stato chimico rimarrebbe "Buono".
- L'utilizzo dei dispositivi di campionamento posizionati per più giorni ha consentito di raccogliere quantità sufficienti di solidi trasportati per la caratterizzazione e l'analisi del DDT (isomeri e metaboliti) e degli altri composti di interesse in

condizioni idrologiche caratterizzate da bassissimo trasporto solido che con campionamenti istantanei non sarebbe possibile.

- I dati ottenuti hanno confermato che a valle del sito di Pieve Vergonte i solidi trasportati contengono DDT (isomeri e metaboliti) e in misura molto minore l'esaclorobenzene mentre nel campione sperimentale a monte del sito questi composti non sono stati riscontrati.
- Il DDT, con una generale prevalenza dell'isomero pp', è risultata la sostanza ritrovata in maggiore quantità nei solidi trasportati rispetto ai metaboliti DDD e DDE.
- Le maggiori concentrazioni di DDT sono state riscontrate, come prevedibile, nelle frazioni più fini dei solidi trasportati (< 200µm); i valori di concentrazione ricalcolati sul materiale tal quale hanno evidenziato che per i campionamenti sul fondo in riva sx, caratterizzati da granulometrie più fini dalla passerella, sono risultati più elevati di quelli effettuati nella colonna d'acqua.
- Assumendo che il contenuto di DDT nell'acqua tal quale sia determinato essenzialmente dalla quantità di solidi presenti, partendo dalle concentrazioni rilevate nei solidi trasportati è possibile, simulando varie condizioni, definire le concentrazioni attese di DDT nell'acqua tal quale.

Nella tabella 53 è proposta la simulazione utilizzando come esempio tre livelli di concentrazione di DDT (totale isomeri e metaboliti e isomero pp'): la più bassa, una intermedia e la più alta, rilevate nei solidi trasportati dalle campagne di campionamento effettuate a Candoglia.

Tabella 53 – Sedimenti - DDT e esaclorobenzene

Concentrazione sul materiale trasportato ng/g		Ipotesi di concentrazione del materiale trasportato nell'acqua mg/L	Concentrazione attesa sull'acqua tal quale ng/L	
DDT somma isomeri e metaboliti	pp' DDT		DDT somma	pp' DDT
0,23	0,18	10	0,002	0,002
0,23	0,18	50	0,012	0,009
0,23	0,18	100	0,023	0,018
0,23	0,18	250	0,058	0,045
0,23	0,18	500	0,115	0,090
0,23	0,18	1000	0,230	0,180
<hr/>				
12,03	7,21	10	0,12	0,07
12,03	7,21	50	0,60	0,36
12,03	7,21	100	1,20	0,72
12,03	7,21	250	3,01	1,80
12,03	7,21	500	6,02	3,61
12,03	7,21	1000	12,03	7,21
<hr/>				
26,16	20,86	10	0,26	0,21
26,16	20,86	50	1,31	1,04
26,16	20,86	100	2,62	2,09
26,16	20,86	250	6,54	5,22
26,16	20,86	500	13,08	10,43
26,16	20,86	1000	26,16	20,86

Dalla simulazione si può verificare che le condizioni di rischio di compromissione dello stato chimico (direttiva 2008/105/CE e Decreto 56/2009) del corpo idrico interessato dal fenomeno sul Toce sono estremamente basse.

Infatti solo la combinazione di valori di DDT maggiori di 25 ng/g nei solidi trasportati, associata a concentrazioni di solidi sospesi superiore a 500 mg/L per la maggior parte dei campionamenti effettuati nell'anno di monitoraggio (12), può portare ad una situazione di rischio di superamento degli SQA-AA per il DDT (somma isomeri e metaboliti e isomero pp').

Questa situazione appare poco realistica per il Toce, dove il trasporto solido è generalmente molto basso (solidi inferiori al limite di quantificazione di 10 mg/L) e anche nei rari casi di piene, come dimostrato dai tre campionamenti effettuati, non vengono superati i 500 mg/L.

- I dati sui sedimenti indicano che tranne in un caso, campione RT-06-DX prelevato poco a monte della confluenza nel lago, i valori, anche se molto variabili, rimangono sostanzialmente confrontabili con quelli rilevati sui solidi trasportati.

Da questa situazione si potrebbe arrivare ad una conclusione sostanzialmente tranquillizzante, considerando come riferimento la WFD, in quanto la presenza del sito

contaminato e le eventuali perdite di DDT attuali non portano ad una compromissione dello stato chimico del corpo idrico interessato sul Toce.

In realtà però la situazione del Toce dal punto di vista ambientale risulta più complessa e contraddittoria, soprattutto in relazione al fatto che il fiume sfocia nel lago Maggiore, rendendo necessari alcuni approfondimenti.

Anche se i dati del monitoraggio regionale indicano che in nessun campione di acqua del lago Maggiore nel periodo 2008-2009 è stata rilevata la presenza di DDT (isomeri e metaboliti) superiori al limite di quantificazione adottato (0.002 µg/L) con un conseguente stato chimico "Buono", il continuo apporto al lago di materiale trasportato dal fiume caratterizzato dalla presenza di DDT deve essere valutato anche in relazione alle criticità ambientali evidenziate per l'ecosistema del lago Maggiore nella seconda metà degli anni '90.

Come descritto in precedenza allo stato attuale non esistono SQA per i sedimenti applicabili alle acque interne ma solo quelli per le acque di transizione e per il mare. Adottando questi standard ai sedimenti del Lago Maggiore o ai sedimenti e ai materiali trasportati dal Toce emergerebbero criticità significative.

A livello comunitario la problematica delle sostanze lipofile persistenti, alla quale appartiene il DDT, è di attualità e in particolare si stanno affrontando gli aspetti legati ai limiti attuali nella valutazione dello stato chimico solo sulla matrice acqua anche considerando il campione totale (acqua e particolato presente).

L'approfondimento dei gruppi di lavoro europei riguarda la verifica della applicabilità, anche per le acque interne, di Standard di Qualità Ambientali per i sedimenti e i solidi trasportati nella definizione dello stato chimico per le sostanze lipofile persistenti.

Per una applicazione completa dei principi cardine della WFD nell'area Toce-lago Maggiore, in mancanza di standard di qualità per i sedimenti e i materiali trasportati, è necessario quindi un approccio integrato, non limitato alla sola verifica del superamento degli SQA nell'acqua ma che tenga conto anche della presenza di DDT nei materiali trasportati, nei sedimenti, nel biota, valutando le tendenze in atto, i fenomeni di accumulo nel lago e gli eventuali effetti sull'ecosistema fluviale e lacustre.

CONCLUSIONI

Le diverse attività sviluppate nel progetto hanno prodotto un elevato numero di dati che integrati con quelli già disponibili, hanno consentito di accrescere le conoscenze riguardo l'apporto di DDT dal Toce al lago Maggiore.

Naturalmente la complessità dei fattori che incidono sui meccanismi di trasporto del DDT sono tali da non ritenere esaustiva la conoscenza del fenomeno e degli effetti sugli ecosistemi fluviali e lacustri.

Il progetto ha comunque consentito di integrare le informazioni finora prodotte dalle ricerche CIP AIS, dalle attività pregresse dell'ARPA e nell'ambito della procedura di bonifica del sito di Pieve Vergonte.

E' stato inoltre importante valutare la problematica avendo come riferimento la direttiva 2000/60/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, e le norme europee e nazionali conseguenti, che rappresentano il riferimento principale per la tutela della risorsa e degli ecosistemi collegati.

E' stato verificato che lo stato chimico del Toce e del lago Maggiore determinato ai sensi della WFD, che prende in considerazione solo l'acqua, risulta "Buono".

Viceversa la presenza del DDT rilevata nelle frazioni più fini dei materiali trasportati raccolti durante gli eventi di piena e in condizioni idrologiche normali, anche se in quantità variabili tra i vari campionamenti, indica che tuttora vi è una traslocazione di DDT verso il lago non solo limitata agli eventi di piena.

Questa situazione porta ad affermare che una semplicistica valutazione dello stato chimico, come attualmente determinato, nel caso del sistema Toce-lago Maggiore e in relazione alle caratteristiche di persistenza e lipofilia del DDT, può non essere sufficiente per la protezione degli ecosistemi acquatici.

In questo contesto, in attesa di nuove indicazioni a livello comunitario, può essere importante mantenere, come integrazione del monitoraggio ordinario, anche la determinazione del DDT nel materiale trasportato che consente di valutare il fenomeno in modo più compiuto e formulare ipotesi sulla sua evoluzione nel tempo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI

1. U.S. Environmental Protection Agency – Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) - Method 8270D/2007
2. U.S. Environmental Protection Agency – Solid phase extraction (SPE) - Method 3535A/2007
3. U.S. Environmental Protection Agency – Pressurized fluid extraction (PFE) - Method 3545A/2007
4. Residui di prodotti fitosanitari (antiparassitari): estrazione in fase solida (SPE) e analisi gascromatografica con rivelatori selettivi - Rapporto ISTISAN 07/31
5. Prodotti fitosanitari (antiparassitari, pesticidi) Metodo 5060 APAT CNR-IRSA Manuale 29/2003 - Metodi analitici per le acque
6. Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema lago Maggiore, campagna 2006-2007 – Rapporto finale 2001-2007 – CIP AIS 2007
7. Common Implementation Strategy for the water framework directive (2000/60/EC) - Guidance Document No. 19 Guidance on surface water chemical monitoring under the water framework directive. (http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents/)
8. Influence of Cougar reservoir drawdown on sediment and DDT transport and deposition in the McKenzie river basin, Oregon, water years 2002–04 – USGS Scientific Investigations Report 2007–5164
9. Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 – GU L 327 del 22-12-2000
10. Decisione 2455/2001/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 20 novembre 2001 – GU L 331 del 15-12-2001
11. Direttiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 – GU L 348 del 24-12-2008
12. Direttiva 2009/90/CE della Commissione del 31 luglio 2009 – GU L 201 del 01-08-2009
13. Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 – Supplemento alla GU n. 88 del 14-04-2006
14. Decreto 16 giugno 2008 n. 131 – Supplemento alla GU n. 187 del 11-08-2008
15. Decreto 14 aprile 2009 n. 56 – Supplemento alla GU n. 124 del 30-05-2009

