



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI PROCESSI CHIMICI DELL'INGEGNERIA
Via Marzolo 9, 35131 PADOVA

**MONITORAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI NEI CANALI
CONSORTILI**

**RAPPORTO DELLA PRIMA FASE
(PERIODO 1995 -2000)**

**CONVENZIONE TRA L'UNIVERSITA' DI PADOVA, DIPARTIMENTO DI
PROCESSI CHIMICI DELL'INGEGNERIA E IL CONSORZIO DI BONIFICA ADIGE-
BACCHIGLIONE DEL 01.07.1996.**

ESECUTORE:

**L.A.S.A. - Laboratorio di Analisi dei Sistemi Ambientali
Dipartimento di Processi Chimici dell'Ingegneria
Via A. Marzolo, 9 35131 PADOVA**

**Responsabile scientifico:
Prof. Leo Calligaro**

Giugno 2001

INDICE

| | | |
|--|------|----|
| 1. – SOMMARIO | Pag. | 3 |
| 2. - INTRODUZIONE..... | “ | 3 |
| 3. - LOCALIZZAZIONE DELLE STAZIONI DI MONITORAGGIO | “ | 4 |
| 4. - IL CAMPIONAMENTO | “ | 6 |
| 5. - ANALISI DI LABORATORIO | “ | 7 |
| 6. - RISULTATI | | |
| a) Monitoraggio quindicinale | “ | 8 |
| b) Monitoraggio degli eventi di piena | “ | 23 |
| 7. – FIGURE SUPPLEMENTARI | “ | 26 |

1. - SOMMARIO

Il presente rapporto tecnico descrive le attività di monitoraggio svolte negli ultimi sei anni (dal 1995 al 2000) riguardanti il carico inquinante dei nutrienti azoto e fosforo e dei solidi sospesi versato nella Laguna di Venezia dal comprensorio di bonifica del Consorzio Adige-Bacchiglione. Il prelevamento dei campioni è stato effettuato in cinque stazioni opportunamente dislocate in modo da controllare anche l'entità dell'autodepurazione delle acque che avviene nella rete idrografica. L'analisi degli eventi di piena ha messo in risalto la forte variazione dei carichi inquinanti, dovuta essenzialmente all'azione di "lavaggio" dei terreni agricoli.

2. - INTRODUZIONE

Il disinquinamento della Laguna di Venezia è pianificato dalla Regione Veneto con un proprio "Piano Direttore per la prevenzione dell'inquinamento e il risanamento delle acque del bacino idrografico immediatamente versante nella Laguna di Venezia" (l'ultima versione è intitolata *Piano Direttore 2000* ed è stata approvata dal Consiglio Regionale nel Marzo 2000).

Il *Piano Direttore* è aggiornato di tanto in tanto per adeguare l'attività di disinquinamento alle nuove conoscenze sullo stato del sistema Laguna - Bacino Scolante e sulla tecnologia del disinquinamento. Il *Piano Direttore* del 1991, oltre alle azioni di prevenzione e di depurazione che interessavano tutte le fonti puntiformi (civili ed industriali) e diffuse (agricole, zootecniche ed urbane), prevedeva che si intervenisse anche sul sistema dei corpi idrici superficiali per ristabilire la loro naturale capacità di autodepurazione, progressivamente ridotta a causa di interventi di bonifica del territorio e della regimazione dei corsi d'acqua.

L'analisi dello stato trofico della Laguna e dei carichi inquinanti versati dal Bacino Scolante mostrava, allora, un eccesso di nutrienti, che neanche tutte le azioni di prevenzione e depurazione pianificate riuscivano a ridurre al di sotto della soglia di 3000 ton/anno di azoto e di

L'insieme dei dati raccolti ha consentito di valutare e caratterizzare:

- nel complesso, e per singolo sottobacino, il carico inquinante versato nella Laguna di Venezia;
- la capacità di autodepurazione attuale del Canale dei Cuori e del Canale Altipiano;
- la componente dovuta ai periodi di magra e quella associata ai periodi piovosi;

Il presente monitoraggio costituisce, inoltre, un preciso punto di riferimento per verificare, in futuro, l'efficacia delle opere realizzate.

300 ton/anno di fosforo, valori riconosciuti come limite da raggiungere per ristabilire nella Laguna

l'equilibrio trofico richiesto. Gli interventi sui fiumi e sul sistema della bonifica sono stati identificati come la sola possibilità di integrare la depurazione e ridurre il carico inquinante residuo entro i limiti richiesti.

Il *Piano Direttore* del 1991 chiedeva ai Consorzi di Bonifica del Bacino Scolante (Adige-Bacchiglione, Bacchiglione Brenta, Sinistra Medio Brenta e Dese Sile) di intervenire per ridurre il carico residuo. Questa richiesta, sempre riconfermata e ribadita anche nel *Piano Direttore 2000*, è stata ed è attualmente supportata da adeguati finanziamenti che hanno permesso la realizzazione di un sostanziale aggiornamento del sistema della bonifica nel Bacino Scolante e hanno spinto i Consorzi di Bonifica a farsi carico della qualità dell'acqua e del suo uso razionale.

Il Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione ha intrapreso per primo questa nuova fase della bonifica e sta realizzando per stralci successivi la ristrutturazione dei collettori primari e secondari dei propri manufatti e idrovore in modo da aumentare il tempo di residenza delle acque nella rete opportunamente adeguata per favorire i fenomeni di autodepurazione.

Per valutare l'efficacia delle opere progettate ed il carico inquinante versato nella Laguna dal proprio comprensorio di bonifica, il Consorzio Adige-Bacchiglione ha previsto in ogni suo progetto un sistema di monitoraggio della qualità delle acque. Tale monitoraggio prevede la valutazione dello stato di qualità prima, durante e dopo la realizzazione delle opere in alcuni nodi principali della rete drenante.

Come suggerito dal *Piano Direttore 2000*, il monitoraggio concentra la propria attenzione sui nutrienti e sui solidi sospesi ritenuti responsabili del degrado trofico della Laguna di Venezia. Il monitoraggio trascura i microinquinanti organici ed inorganici per i costi e le difficoltà tecniche connesse con la loro rilevabilità e per il fatto che la stima dell'efficacia di sedimentazione fornisce indirettamente un'indicazione, seppur rozza, della loro potenziale riduzione, dal momento che essi sono per lo più veicolati in forma sospesa.

Il presente rapporto tecnico descrive le attività di monitoraggio intraprese per sei anni prima e

durante la realizzazione del primo progetto che interessa i Canali Altipiano e dei Cuori. I risultati del monitoraggio costituiscono un punto di riferimento per i successivi confronti con la qualità delle acque ottenute grazie alle opere di risanamento intraprese.

Il monitoraggio è stato realizzato dai tecnici del Consorzio, in collaborazione con il Laboratorio di Analisi dei Sistemi Ambientali (L.A.S.A.) del Dipartimento di Processi Chimici dell'Ingegneria dell'Università di Padova. Per certi aspetti, esso continua ed integra precedenti campagne di misura realizzate da:

- Unione delle Bonifiche
- Consorzio Venezia Nuova
- progetto DRAIN del Magistrato delle Acque di Venezia

ed anticipa le attività previste dal *Piano Direttore 2000* per il controllo della qualità delle acque nel Bacino Scolante che l'ARPAV sta realizzando.

3. - LOCALIZZAZIONE DELLE STAZIONI DI MONITORAGGIO

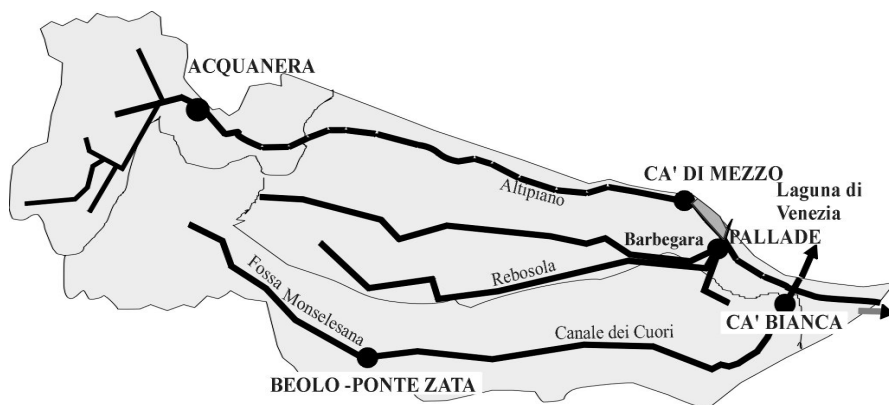


Figura 1. Localizzazione dei punti di monitoraggio lungo i principali canali del comprensorio del Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione.

La rete idrografica del comprensorio del Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione può essere suddivisa in tre sistemi principali afferenti:

- a sud al Canale dei Cuori;
- a nord al Canale Altipiano;

- la parte centrale afferisce allo Scarico Barbegara.

Lungo le aste principali di questi sistemi sono stati posizionati i punti di monitoraggio mostrati nella figura 1.

La stazione di Acquanera è posizionata a monte lungo il Canale Altipiano alla chiusura dei bacini dei Colli Euganei. In questa stazione si è analizzata la qualità dell'acqua che può essere estromessa dal Bacino Scolante verso il Bacchiglione per mezzo dell'idrovora di Acquanera, opportunamente ristrutturata ed adeguata.

La stazione di Ca' di Mezzo è situata alla chiusura del bacino nord afferente al Canale Altipiano e rappresenta il punto di controllo per qualità e quantità di questo sistema. Essa rappresenta anche la qualità delle acque immesse nell'area umida ricostruita di Ca' di Mezzo, prevista nel progetto, immediatamente a valle della stazione di misura.

La stazione di Pallade è posizionata alla chiusura dello Scarico Generale Barbegara, che convoglia le acque dei tre bacini afferenti alle idrovore di Barbegara, Rebosola e S. Silvestro.

La stazione di Ca' Bianca è posizionata alla chiusura del Bacino Sud del Canale dei Cuori e rappresenta la qualità e la quantità dell'acqua versata nella Laguna dal Bacino Sud.

Infine la stazione di Beolo-Ponte Zata è situata alla chiusura dei bacini di monte afferenti alla Fossa Monselesana, che versa le proprie acque nel Canale dei Cuori. Essa rappresenta la qualità delle acque potenzialmente estromettibili dalla Laguna mediante l'idrovora di Beolo prevista dal progetto. Inoltre, detta qualità e quantità è la stessa di quella entrante nel Canale dei Cuori da monte. Queste acque, assieme ad altre immissioni dalle idrovore minori afferenti allo stesso Canale, costituiscono il carico inquinante da trattare per mezzo delle aree

di fitodepurazione ricostruite lungo le golene del Canale dei Cuori.

Il monitoraggio fornisce indicazioni sulle concentrazioni di azoto, fosforo e solidi sospesi.

I carichi sono stati calcolati per le stazioni di Beolo-Ponte Zata e Ca' Bianca, dal momento che in tali stazioni è stato possibile effettuare anche la misura della portata idraulica.

Per quanto riguarda il canale Altipiano i carichi sono stati stimati utilizzando un modello idraulico (Bixio, comunicazione personale) che fornisce i volumi decadici scaricati dal bacino a partire da valori decadici di piovosità. Tale stima rappresenta per il momento l'unica possibilità di valutazione, in attesa dell'installazione di misuratori di portata previsti dal progetto.

Con il calcolo dei carichi del canale Altipiano e del Canale dei Cuori è possibile inoltre stimare il valore totale del carico dei nutrienti e solidi sospesi scaricati dal Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione nella Laguna di Venezia.

Le analisi effettuate sui campioni prelevati nei punti di monitoraggio, hanno consentito di valutare e caratterizzare:

- nel complesso, e per singolo sottobacino, il carico inquinante versato nella Laguna di Venezia;
- le capacità di autodepurazione attuale del Canale dei Cuori e del Canale Altipiano;
- la componente dovuta ai periodi di magra, e quindi prevalentemente puntiforme, e quella associata ai periodi piovosi, e quindi prevalentemente dovuta a fonti diffuse.

4. - IL CAMPIONAMENTO

Il monitoraggio previsto dalla Convenzione è stato diviso in due fasi operative:

1 - monitoraggio quindicinale, con prelievi manuali effettuati contestualmente a misure elettrochimiche in campo, da operatori del Consorzio nelle stazioni indicate nella Figura 1;

2 - monitoraggio degli eventi di piena, con prelievi manuali molto frequenti, nella stazione di Beolo-Ponte Zata e con l'utilizzo di campio-

natori automatici per i prelievi nella stazione di Ca' Bianca.

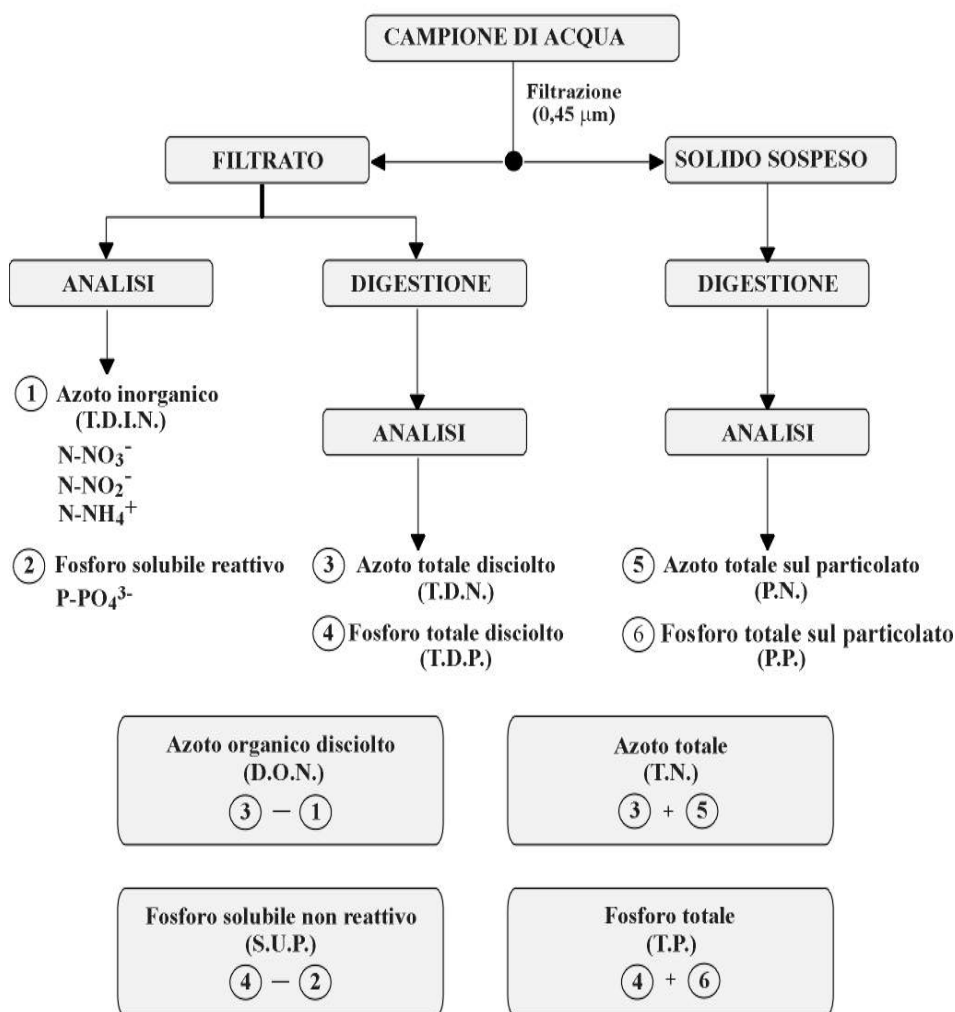
Al momento del prelievo previsto dal monitoraggio quindicinale sono state effettuate, da parte degli operatori del Consorzio, delle misure in loco di

temperatura dell'acqua e dell'aria, del pH e della Conducibilità Elettrica e un prelievo di un'aliquota di un litro di campione tal quale. I campioni così prelevati e trattati vengono conservati a 4 °C in apposito contenitore frigorifero fino alla consegna, entro 12 ore, al laboratorio L.A.S.A. dell'Università di Padova.

Per quanto riguarda il monitoraggio degli eventi di piena, nella stazione di Ca' Bianca i campioni d'acqua sono stati prelevati automaticamente ogni 2-4-6 ore, in funzione della variazione di portata, per seguire i picchi degli eventi, che solitamente

Nella stazione di Beolo-Ponte Zata, in attesa dell'installazione dei campionatori automatici previsti dal progetto, si è provveduto, durante i periodi di piena, a prelievi manuali di campioni d'acqua tal quale, congelandoli nell'attesa del trasferimento al laboratorio L.A.S.A

SCHEMA DI ANALISI DI AZOTO E FOSFORO



durano 24-48 ore.

Figura 2. Procedura di trattamento dei campioni d'acqua prelevati e di analisi dei parametri chimici.

5. - ANALISI DI LABORATORIO

Le analisi chimiche di laboratorio sui campioni provenienti dal monitoraggio quindicinale sono state solitamente completate nella giornata in cui sono stati eseguiti i prelievi.

Le metodiche utilizzate per le analisi sono quelle previste dalla normativa vigente (*“Metodi Analitici per le Acque”*, CNR-IRSA, 1994; *“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”*, APHA-AWWA-WEF, 1992)

La procedura di trattamento dei campioni prelevati e di analisi dei parametri chimici riguardanti l’azoto e il fosforo sono illustrati in figura 2.

La figura 3 mostra lo schema che consente di valutare le specie chimiche di azoto e fosforo presenti nei campioni analizzati; le specie calcolate (cioè non analizzate direttamente) sono state poste in cornice.

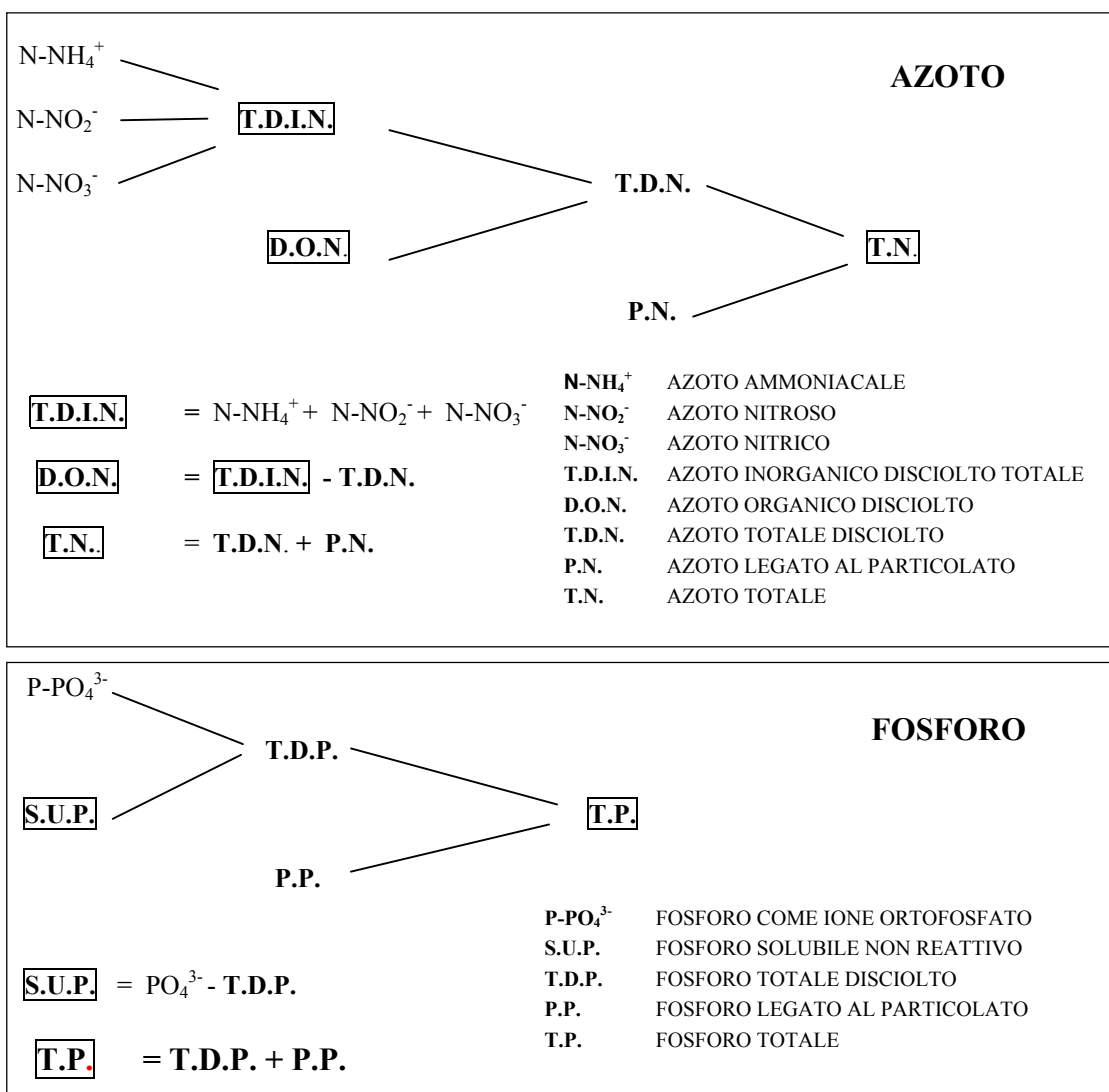


Figura 3. Schema di calcolo delle varie specie di azoto e fosforo analizzate nei campioni d’acqua prelevati.

6. - RISULTATI

6 a) Monitoraggio quindicinale

Le figure 4, 5 e 6 riassumono rispettivamente per azoto, fosforo e solidi sospesi il monitoraggio delle concentrazioni nel periodo 1995–2000 come illustrato nella legenda delle figure.

Per quanto riguarda le forme di azoto rilasciate dal sistema afferente al Canale Altipiano monitorato ad Acquanera e a Ca' di Mezzo, la concentrazione media delle forme ossidate (N-NO_x) è circa un ordine di grandezza superiore a quella della forma ridotta (N-NH₄) e 5 volte superiore a quella della forma organica (D.O.N.). Le concentrazioni del fosforo disciolto (P-PO₄) presentano valori pari a circa un terzo di quella del fosforo totale (T.P.). I solidi sospesi totali (S.S.) non presentano variazioni sostanziali delle concentrazioni tra monte e valle e il loro valore medio è di circa 30 mg/l.

A Ca' di Mezzo le concentrazioni di questi parametri sono leggermente inferiori a quelle riscontrate a monte nella stazione di Acquanera (eccezione fatta per i Solidi Sospesi), a dimostrazione della ridottissima capacità di auto-depurazione riscontrabile in canali tradizionali di bonifica, con sponde ripide e poco vegetate, come il Canale Altipiano.

Il sistema del Canale dei Cuori, nelle stazioni di Ponte Zata e Ca' Bianca, mostra concentrazioni leggermente superiori a quelle riscontrate nel bacino nord dell'Altipiano e un andamento tra monte e valle analogo al precedente, con un effetto di rimozione, soprattutto per i solidi sospesi ed il fosforo totale più pronunciato di quelli osservati nel Canale Altipiano.

Ciò mette in evidenza la capacità di rimozione esistente nel Canale dei Cuori già prima della realizzazione delle opere in progetto. Essa è legata soprattutto all'ampia sezione dell'alveo e delle golene e alle piante palustri presenti sulle sponde ed ai lunghi tempi di residenza delle acque in quel sistema.

L'analisi statistica mostra una chiara tendenza alla distribuzione lognormale delle concentrazioni dei nutrienti caratteristica dei corpi idrici superficiali e già descritta ampiamente in letteratura.

La figura 7 mostra il confronto nei sei anni dei carichi inquinanti versati nella Laguna di Venezia e

la loro provenienza. I carichi giornalieri sono stati calcolati, per ogni parametro, con la seguente formula:

$$L_{ij} = C_{ji} V_i$$

dove:

- L_{ij} è il carico al giorno i -esimo per l'inquinante j -esimo;
- C_{ji} è la concentrazione dell'inquinante j -esimo nel giorno i -esimo posta uguale alla concentrazione rilevata nell'ultimo campione d'acqua analizzato prima del giorno i -esimo;
- V_i è il volume d'acqua scaricata nel giorno i -esimo, misurato all'idrovora per la stazione di Ca' Bianca, o stimato per intervalli di 10 giorni con un modello ad afflussi deflussi per la stazione di Ca' di Mezzo.

I carichi giornalieri sono stati sommati per ottenere i valori totali scaricati nella Laguna. Nella figura 7 si nota una sostanziale differenza tra i primi due anni di monitoraggio e i successivi. In termini di deflussi, nei primi due anni si sono riscontrati valori circa doppi; anche la loro ripartizione nei due sistemi è nettamente diversa. Il Canale Altipiano ha scaricato globalmente di più del Canale dei Cuori, ad eccezione del secondo e dell'ultimo anno, ma le quantità scaricate globalmente dai due sistemi sono sostanzialmente comparabili. La grande variabilità del carico idraulico, registrata negli anni, è funzione delle precipitazioni e della successione in cui esse avvengono.

E' evidente l'importanza che la distribuzione spaziale delle precipitazioni riveste nel determinare la quantità di acqua defluita dai vari sistemi e la variazione del carico da un anno all'altro. I fenomeni idrologici finiscono così per influenzare in modo determinante il tipo di inquinante e la forma chimica in cui questo viene rilasciato. A tale proposito merita considerare che i carichi annui di azoto totale, prevalentemente rilasciati in forma

solubile, sono strettamente e linearmente correlati ai volumi defluiti ($R^2 = 0,97$) (figura 8).

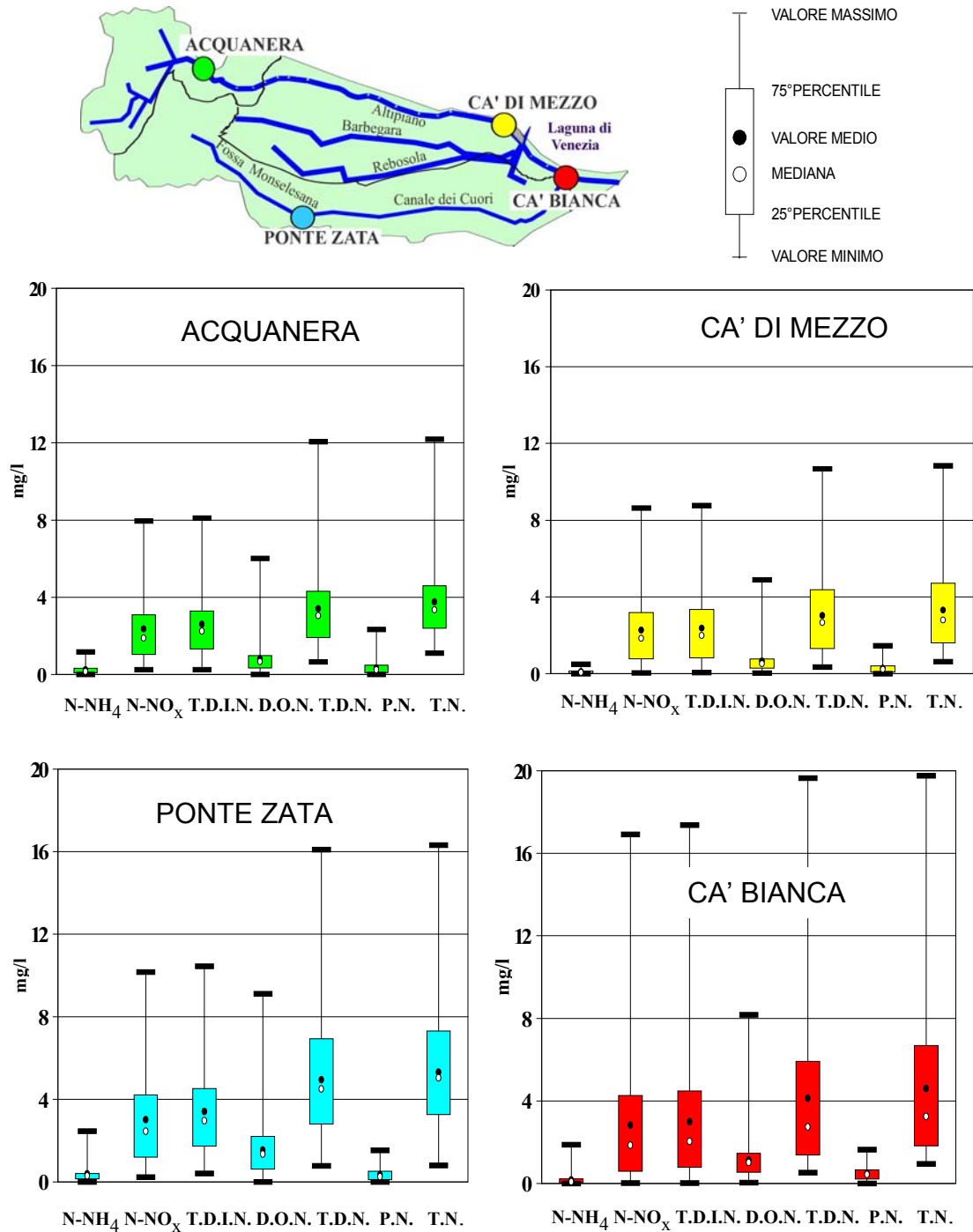


Figura 4. Analisi statistica delle varie forme di azoto nelle stazioni monitorate. Periodo 1995-2000.

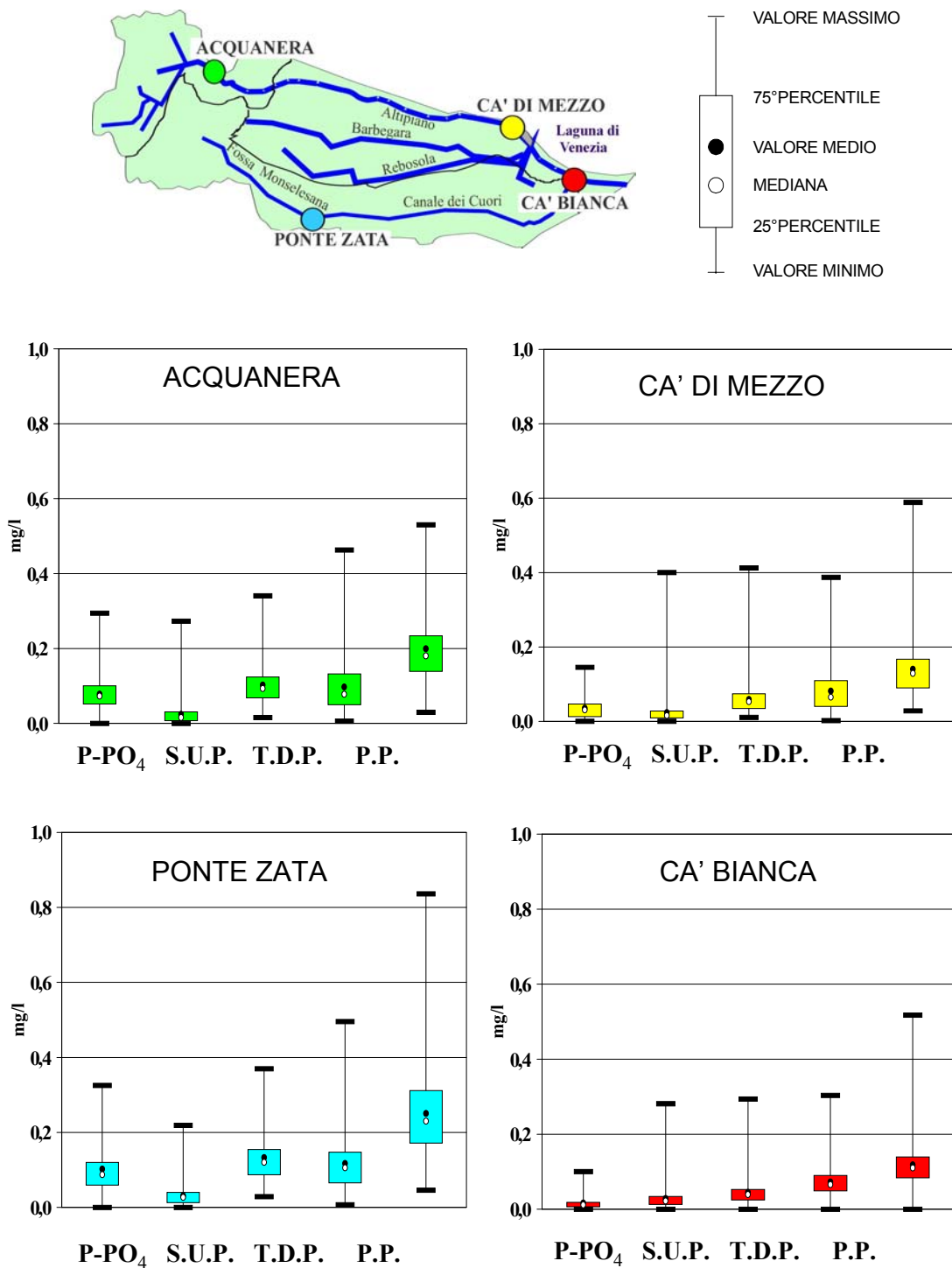


Figura 5. Analisi statistica delle varie forme di fosforo nelle stazioni monitorate. Periodo 1995-2000.

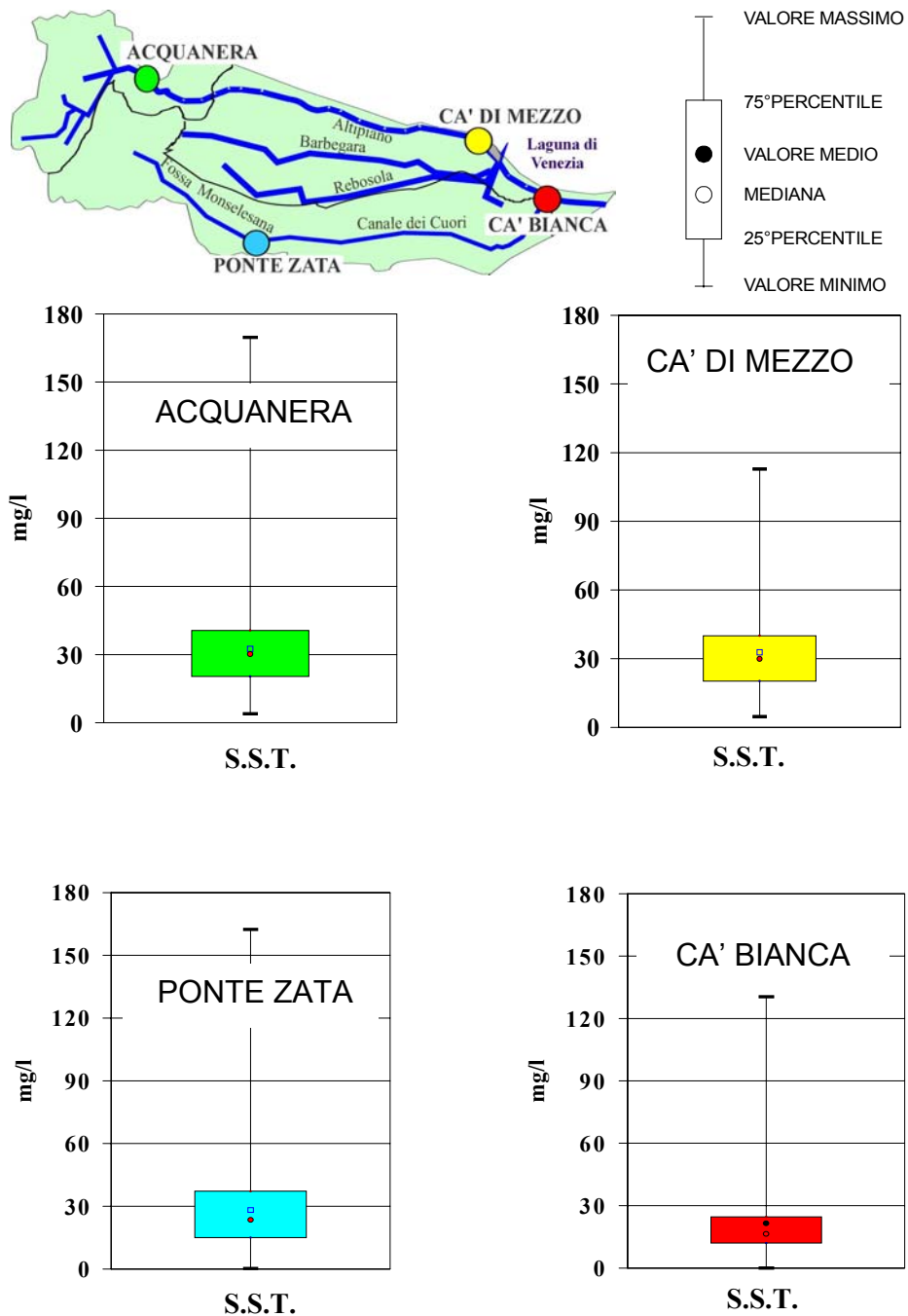
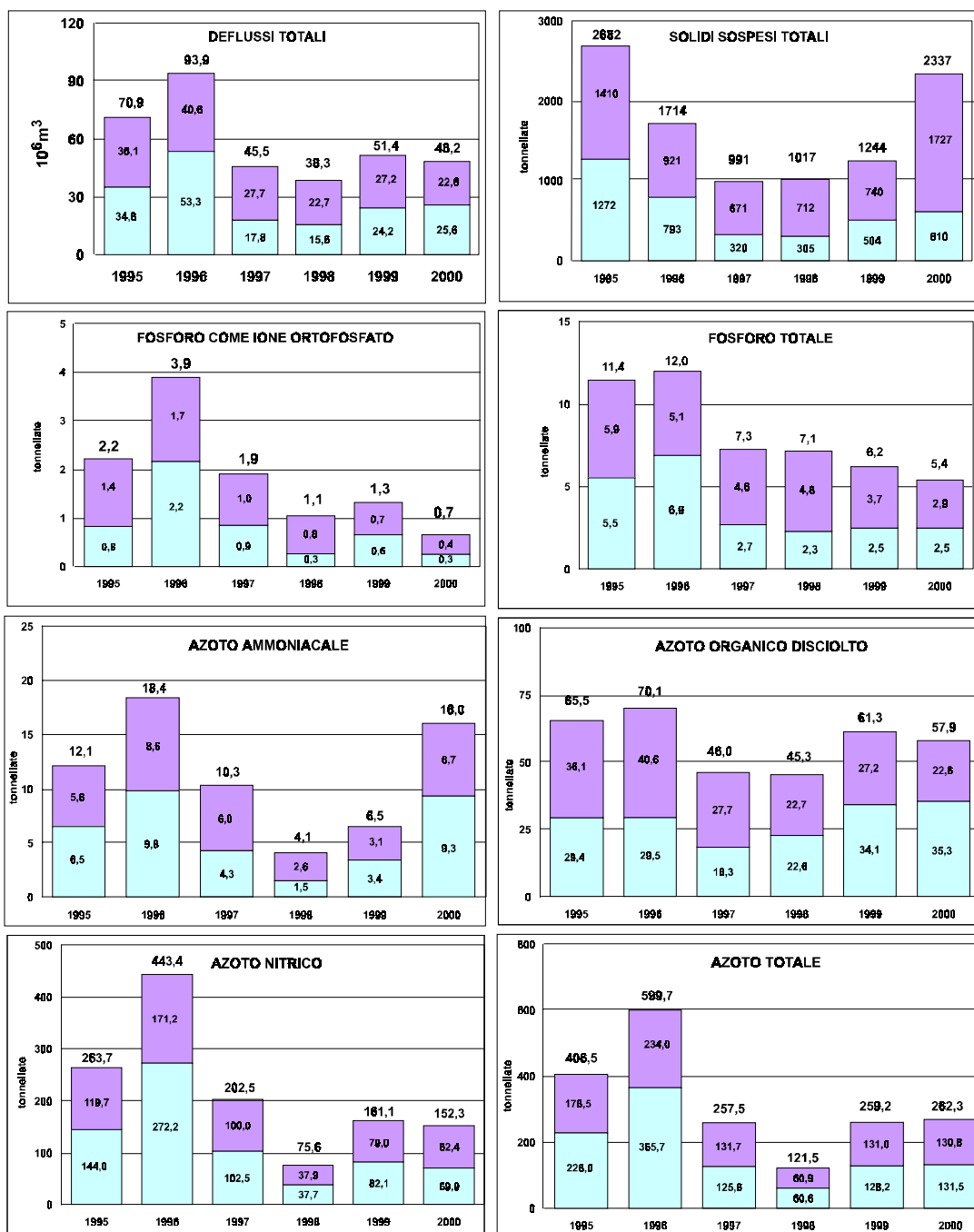


Figura 6. Analisi statistica per i solidi sospesi nelle stazioni monitorate. Periodo 1995-2000.



■ CANALE ALTIPIANO ■ CANALE DEI CUORI

Figura 7. Deflussi (m³) e carichi (ton) versati nella Laguna di Venezia nel periodo 1995 - 2000.

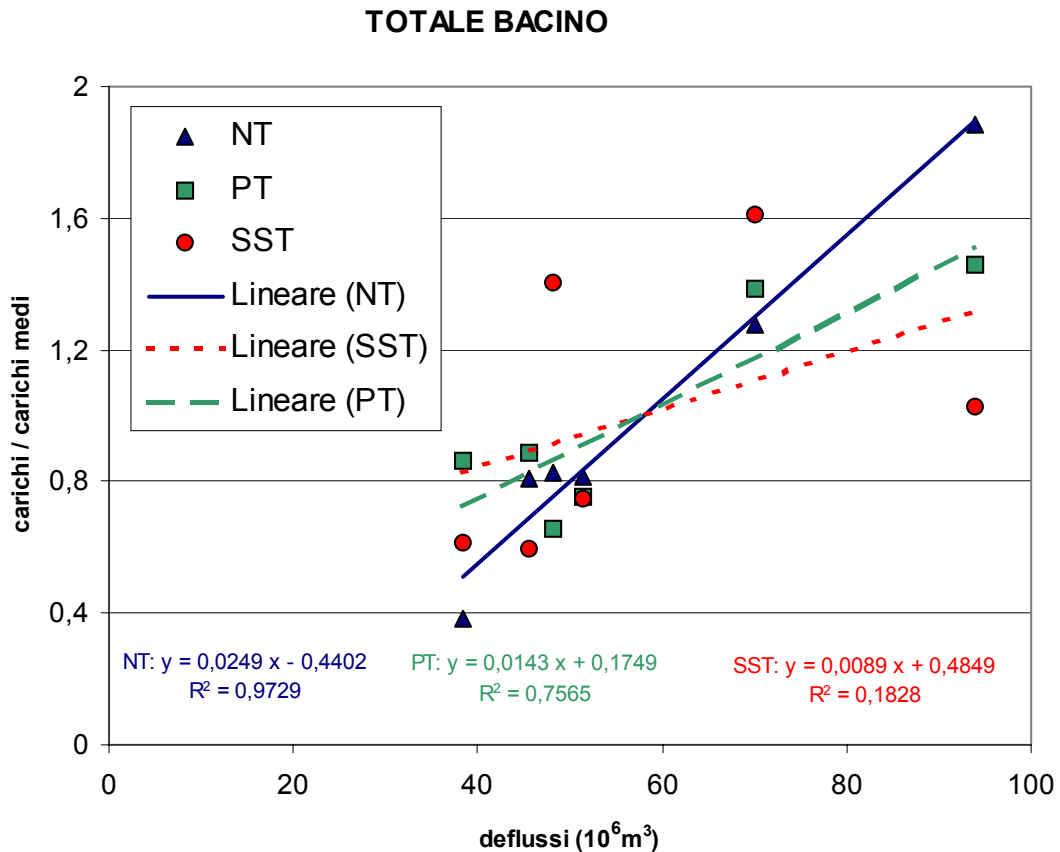


Figura 8. Correlazione tra i volumi annuali defluiti e i carichi annuali normalizzati al valore medio di azoto totale (NT), fosforo totale (PT) e solidi sospesi (SST) nel periodo 1995-2000.

I singoli eventi intensi di precipitazione condizionano il processo di distacco delle particelle di suolo e di sospensione nelle acque di deflusso, pertanto i Solidi Sospesi Totali non risultano molto correlati al deflusso annuo ($R^2 = 0,18$) (figura 8).

Il Fosforo Totale, come pure quello in forma disciolta, assumono una posizione intermedia, per quanto riguarda la dipendenza dal deflusso ($R^2 = 0,76$) (figura 8).

In particolare, negli anni meno piovosi i deflussi specifici del Canale dei Cuori sono circa la metà di quelli del sistema del Canale Altipiano.

Questa notevole variabilità dei carichi e la dipendenza dal regime idrologico evidenziano la

necessità di non attribuire valore assoluto ai dati di monitoraggio di breve periodo e tanto meno di basare su dati raccolti per brevi periodi deduzioni e stime di carichi rilasciati dai bacini idrografici. Ciò giustifica lo sforzo di monitoraggio continuativo della qualità delle acque per valutare gli effetti degli interventi di risanamento dell'ecosistema lagunare.

L'analisi dei carichi totali provenienti dai bacini può ulteriormente essere effettuata calcolando i carichi specifici per ettaro di superficie dei bacini tributari alle sezioni di chiusura del Canale dei Cuori ed Altipiano (figure 9a e 9b); in particolare al Canale dei Cuori è stata attribuita la superficie di

25.000 ha, al Canale Altipiano la superficie di 21.500 ha.

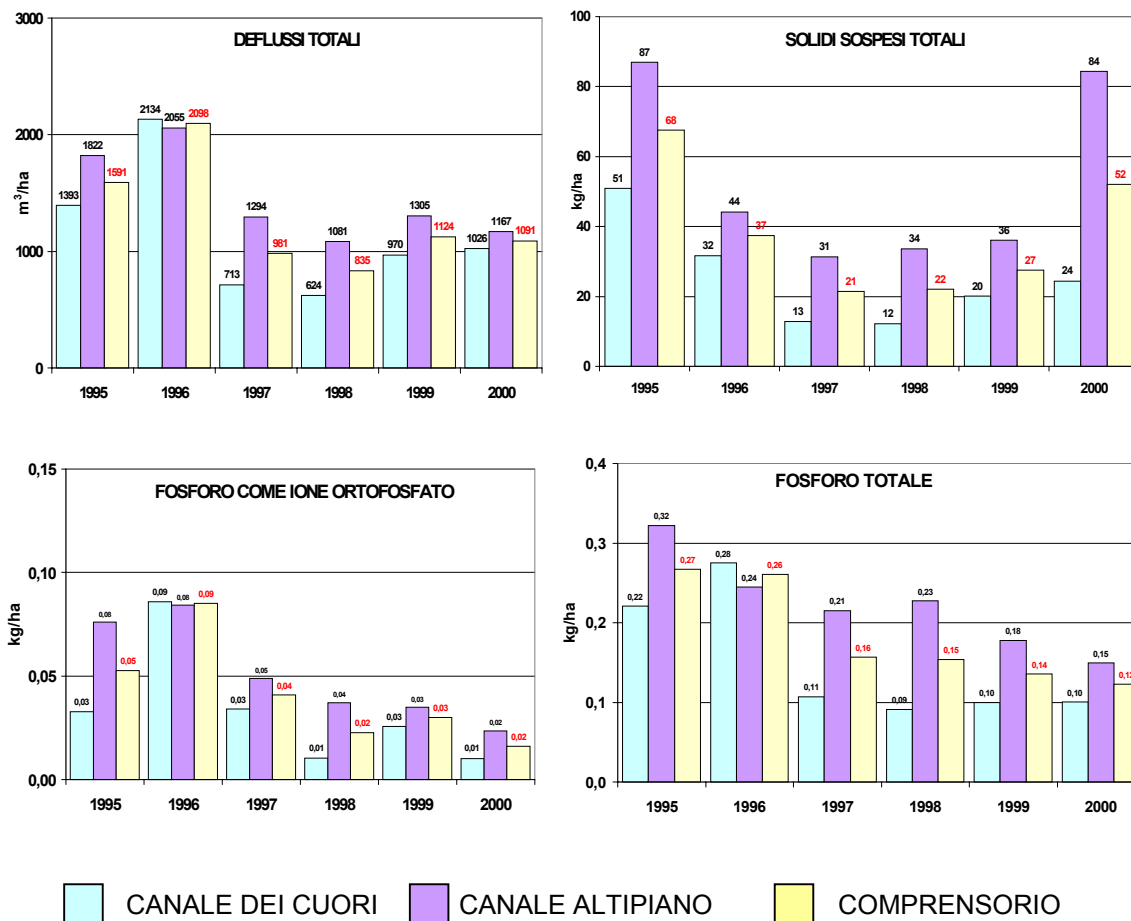


Figura 9a. Deflussi specifici (m³/ha), solidi sospesi specifici (kg/ha) e carichi specifici di fosforo (kg/ha) dei singoli bacini e dell'intero comprensorio versati nella Laguna di Venezia nel periodo 1995 - 2000.

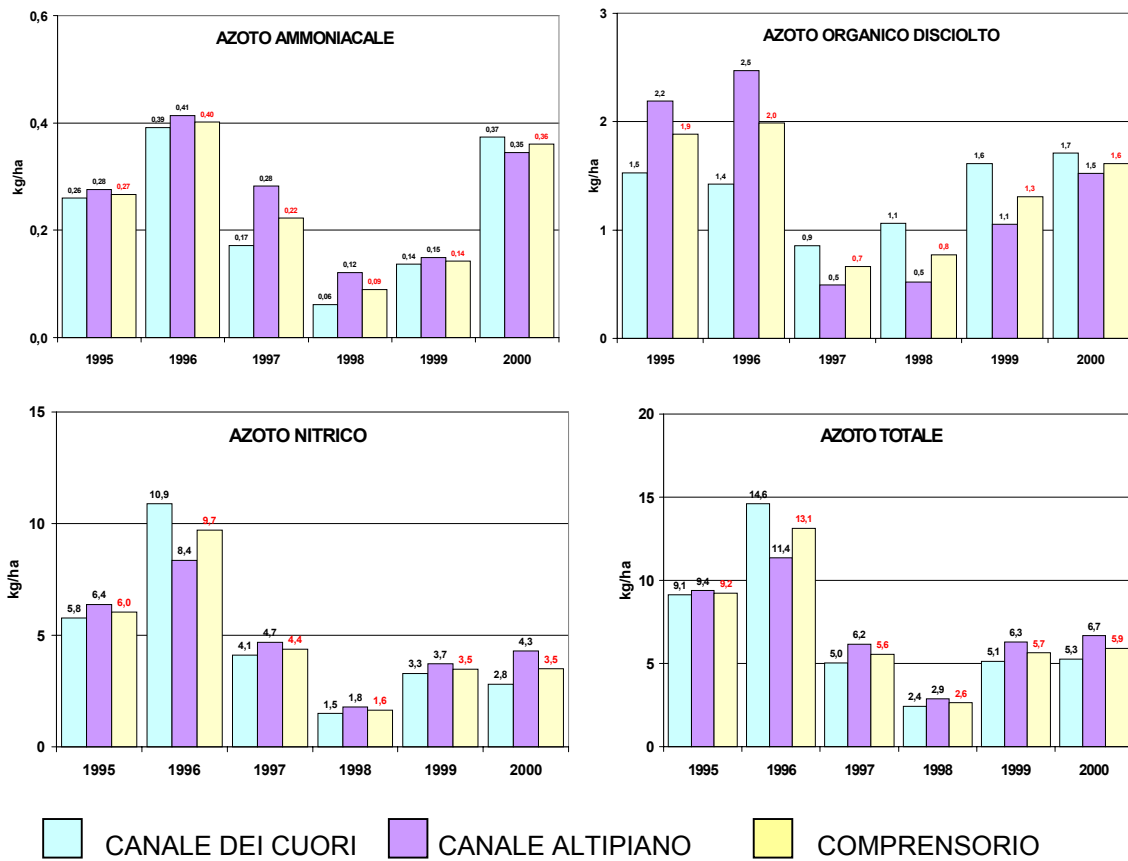


Figura 9b. Carichi specifici delle varie forme di azoto (kg/ha) dei singoli bacini e dell'intero comprensorio versati nella Laguna di Venezia

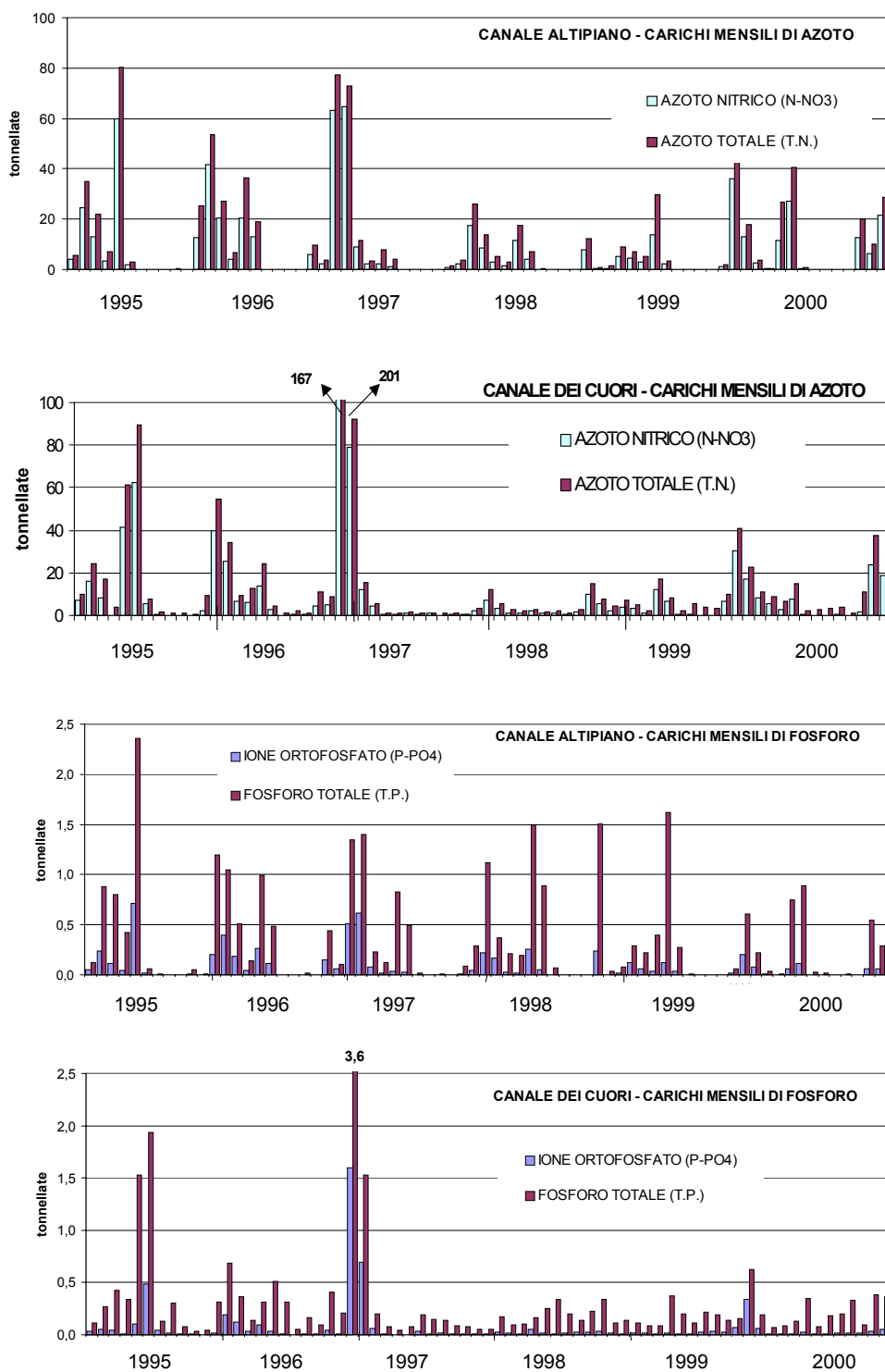


Figura 10. Carichi mensili (ton) di azoto totale, azoto nitrico, fosforo totale e fosforo come ione ortofosfato scaricati dal Canale dei Cuori e dal Canale Altipiano nel periodo 1995 - 2000.

Come si nota nella figura 7, confrontandola con la figura 9, i deflussi specifici del bacino dell'Altipiano sono ancora superiori rispetto a quelli specifici del Canale dei Cuori, a dimostrazione che territori a prevalente deflusso naturale rilasciano quantità d'acqua molto maggiori di territori a deflusso meccanico. Analogamente si può dire per i carichi specifici: per essi l'evidenza diventa ancora maggiore per i solidi sospesi, ma anche per azoto e fosforo. Ciò giustifica la scelta progettuale di costruire opere finalizzate all'aumento dei tempi di ritenzione come prodromo alla gestione ambientalmente orientata dei deflussi dai territori di bonifica.

La figura 10 mostra la distribuzione, nei mesi, del carico di nutrienti alle sezioni di chiusura del Canale dei Cuori ed Altipiano. E' facile notare, anche con questo dettaglio temporale, la sostanziale differenza verificatasi nei primi due anni rispetto ai successivi. Inoltre si nota come i carichi siano prevalentemente concentrati nella stagione autunnale ed invernale.

La variabilità del carico mensile emerge chiaramente: a fronte di mesi con carico pressoché nullo, vi sono mesi che veicolano decine di tonnellate di azoto e centinaia di chilogrammi di fosforo. La riduzione estiva del carico è la naturale conseguenza della riduzione dei deflussi nella stagione irrigua e di un totale utilizzo delle acque nel comprensorio di bonifica. I grandi deflussi della stagione piovosa veicolano grandi quantità di nutrienti. L'azoto, disponibile nel terreno grazie alla mineralizzazione della sostanza organica, non è utilizzato dalle colture e viene facilmente dilavato dai terreni agricoli.

Il fosforo viene trasportato adesso alle particelle di suolo, da suoli nudi nelle acque superficiali e la concentrazione della frazione solubile rappresenta l'equilibrio che si instaura tra fase adsorbita e fase solubile nel terreno saturo.

L'analisi dei carichi mensili mette in luce l'importanza della sorgente diffusa, principalmente di quella agricola. Nei periodi di siccità il carico inquinante va attribuito alle sole sorgenti puntiformi civili, industriali e zootecniche, la cui entità, in questo comprensorio, è molto limitata. I lunghi tempi di residenza delle acque attribuibili alle sole sorgenti puntiformi consentono una buona autodepurazione nella rete dei canali superficiali.

Entrambe queste ragioni giustificano la scarsa influenza delle sorgenti puntiformi sul carico totale scaricato nella Laguna Sud.

Sulla base dei dati mensili, è stata calcolata la ripartizione del fosforo fra la specie disciolta e la specie particolata. Le regressioni lineari sui dati sono state condotte sperimentalmente per il bacino afferente al Canale Altipiano e per il bacino afferente al Canale dei Cuori. Le correlazioni mostrano che circa l'80% del fosforo alla stazione di Ca' di Mezzo viene scaricato in forma particellata mentre alla stazione di Ca' Bianca la percentuale si riduce al 57%.

La differenza, già mostrata in figura 6, va attribuita alla più elevata capacità di sedimentazione che offre il Canale dei Cuori (figura 11).

Gli stessi dati mensili dei carichi specifici di azoto totale, fosforo totale e dei solidi sospesi sono stati elaborati e confrontati con i deflussi specifici per le stazioni di Ca' Bianca e Ca' di Mezzo rispettivamente alla chiusura dei bacini afferenti al Canale dei Cuori e al Canale Altipiano. (figura 12)

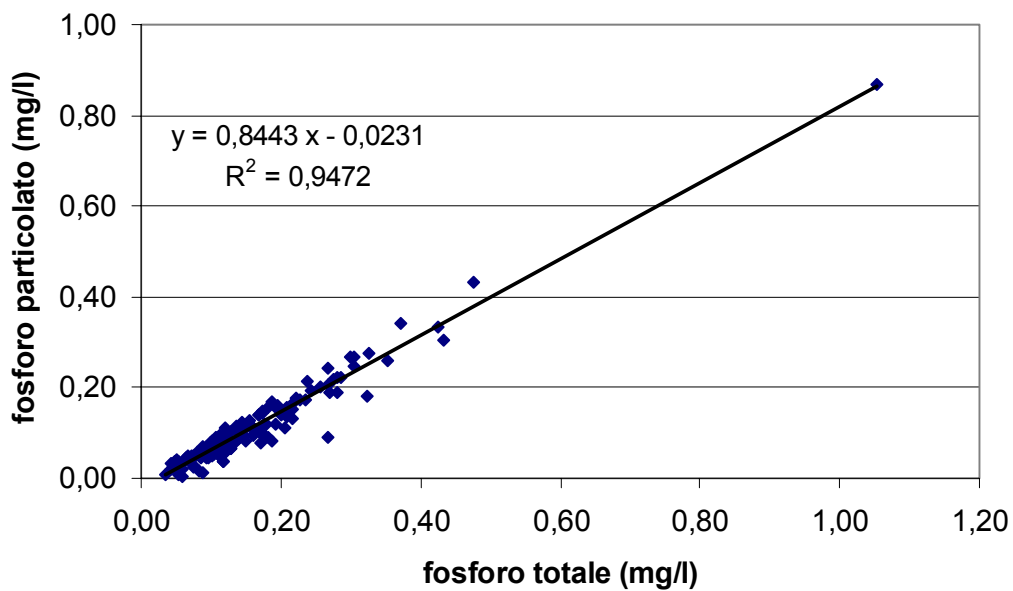
Le curve di regressione tra portata e carico utilizzate corrispondono a due diverse tipologie di corsi d'acqua. La relazione lineare si utilizza normalmente per fiumi con portate più consistenti e concentrazioni di inquinanti più elevate.

La relazione parabolica si utilizza normalmente per fiumi minori con regimi idraulici più dinamici e non fortemente inquinati. Il termine quadratico della relazione tiene conto degli eventi di ruscellamento; il termine lineare tiene conto dei deflussi di base e quello costante del carico puntiforme. Nei casi esaminati la correlazione è di poco ma sempre più elevata nella regressione parabolica.

La stazione di Ca' Bianca mostra una migliore correlazione dei carichi specifici contro i deflussi (per tutti e tre gli inquinanti l' R^2 è superiore a 0.9). Alla stazione di Ca' di Mezzo la dispersione dei dati è maggiore che a Ca' Bianca: la correlazione per il fosforo totale e azoto totale è soddisfacente (rispettivamente $R^2_{PT} = 0,89$ e $R^2_{NT} = 0,81$) e per i solidi sospesi la correlazione lineare mostra un R^2 pari a 0,58 (figura 12).

Le relazioni mostrano l'opportunità di laminare le portate più elevate in modo da ottenere un effetto di riduzione anche dei carichi.

CANALE ALTIPIANO



CANALE DEI CUORI

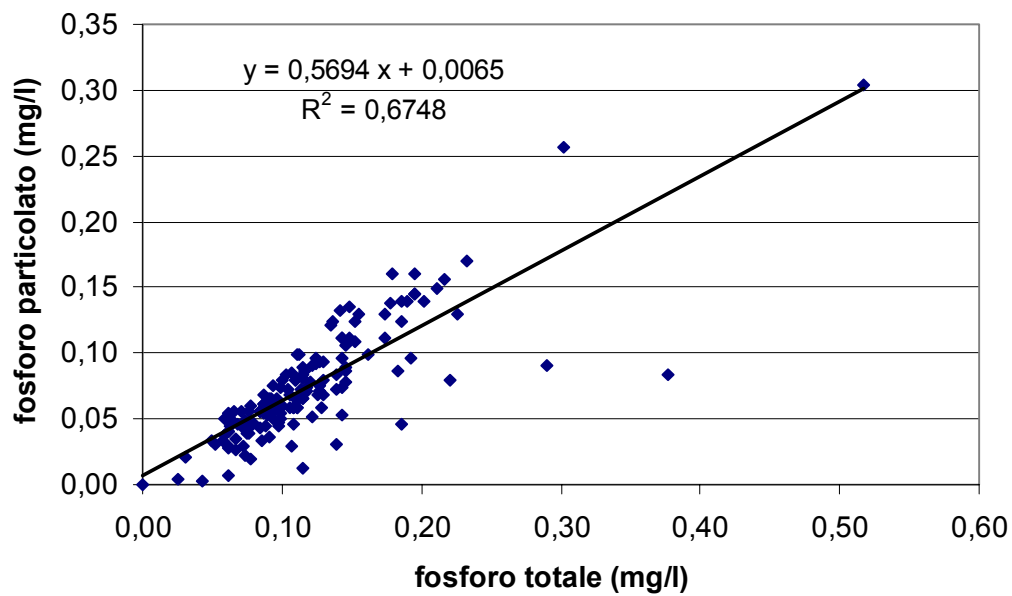
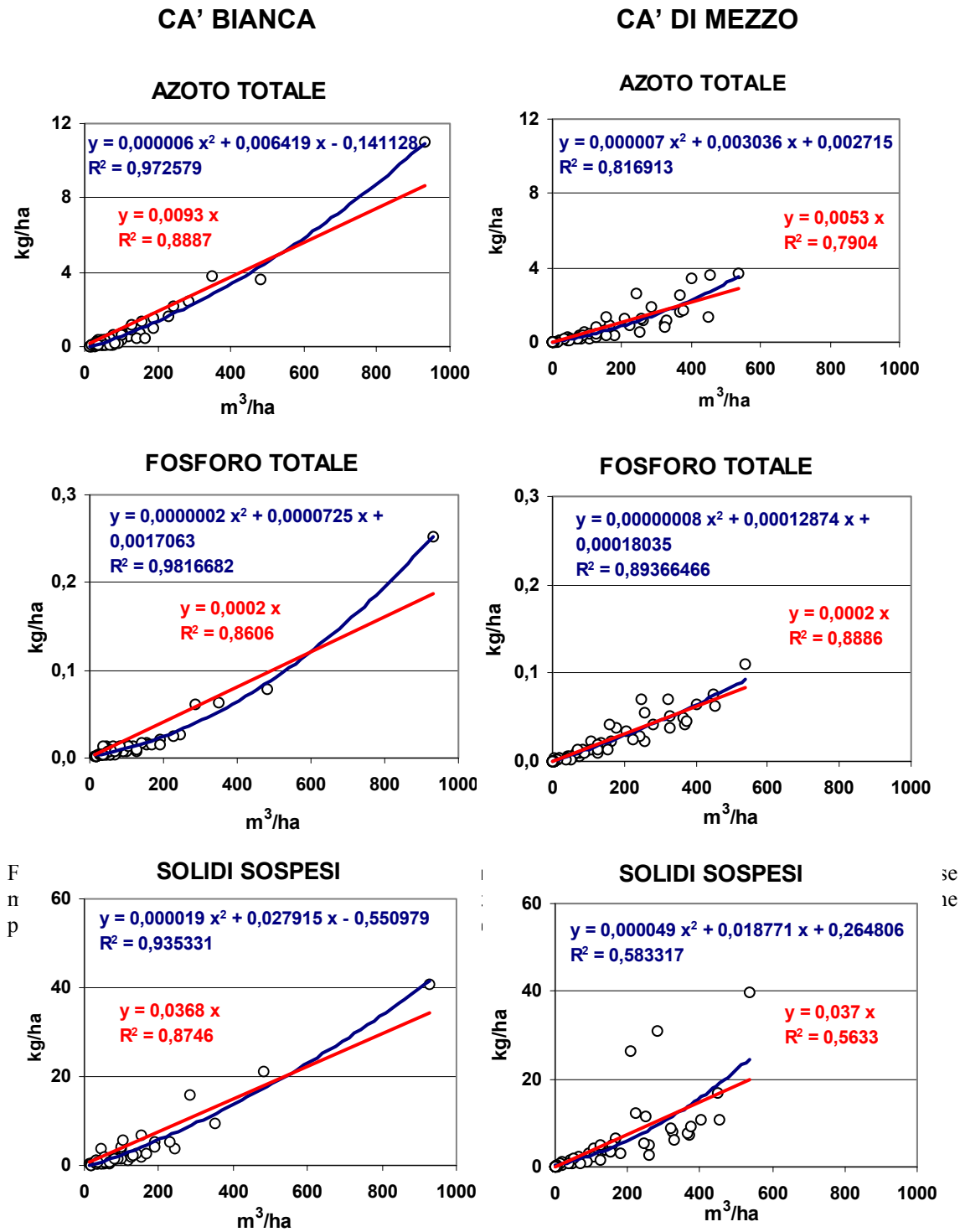


Figura 11. Ripartizione del fosforo tra specie particolata e disciolta nel Canale Altipiano e nel Canale dei Cuori. Periodo 1995-2000.



L'analisi delle forme chimiche che compongono il carico di nutrienti alla stazione di Ca' Bianca nel periodo 1995–2000 è mostrata nelle figure 13a e 13b; da esse si deducono:

- la prevalenza (60-80%) della frazioni nitrica sulle altre forme dell'azoto;
- l'assenza quasi totale (1–3%) della frazione ammoniacale e nitrosa, che dimostra il buono stato di ossigenazione delle acque scaricate;
- l'influenza limitata della frazione sospesa prevalentemente organica (circa 10% dell'azoto);
- la limitata influenza della frazione organica dell'azoto, prevalentemente associata alla biomassa del fitoplancton che si sviluppa nelle acque superficiali;
- la prevalenza della forma sospesa del fosforo, adsorbita sulle particelle di suolo (circa 50-70%), sulla forma di ortofosfato (10-30%).

Ciò indica chiaramente che l'obiettivo di ridurre le concentrazioni di azoto e fosforo può essere perseguito promuovendo i processi di denitrificazione, che agiscono sulla forma nitrica, e di sedimentazione, che agiscono sulla forma particellata. Entrambi questi processi di rimozione sono tipici delle aree umide, che vanno quindi protette, restaurate e ricostruite per favorirli.

In termini di carico, ancor più che per le concentrazioni, è evidente l'effetto di sedimentazione effettuato dal Canale dei Cuori. Esso agisce da bacino di laminazione delle piene e di sedimentazione dei solidi sospesi e del fosforo, anche quando i tempi di residenza delle acque sono brevi. Gli stessi tempi di residenza brevi, invece, non possono assicurare un'efficace rimozione dell'azoto, e così, negli anni piovosi, il dilavamento dei terreni trasferisce questo nutriente in soluzione dai campi ai canali, e dai canali alla

Laguna. E' naturale quindi pensare ad interventi di riduzione dei carichi che mirino:

- alla riduzione dei deflussi e alla laminazione delle piene;
- alla riduzione delle concentrazioni dei nutrienti nelle acque scaricate.

Questi interventi sono l'oggetto dei progetti ambientali del Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione, che:

- attraverso le diversioni di Acquanera nel Bacchiglione e Beolo nel Gorzone mira a ridurre lo scarico in Laguna;
- attraverso le interconnessioni dei bacini mira a riutilizzare le acque in eccesso in un bacino scaricandole in altri;
- attraverso l'aumento delle capacità di invaso mira a trattenere più a lungo possibile le acque per dare loro il tempo di autodepurarsi, sia nella rete minore dei canali di Bonifica, sia nelle apposite aree di fitodepurazione di Cà di Mezzo e del Canale dei Cuori, in modo da ridurre le concentrazioni di nutrienti scaricate.

Nelle figure supplementari S1 a,b,c,d,e e S2 a,b,c,d,e è stata confrontata la qualità delle acque tra i punti di campionamento a monte e a valle dei due principali bacini. Il monitoraggio effettuato in un periodo così ampio permetterà il confronto con i successivi periodi e quindi una stima più reale dell'efficacia degli interventi previsti.

La stazione di Pallade è stata esclusa dal confronto, perché la qualità delle acque è risultata molto simile a quella di Ca' di Mezzo. Ciò sembra dovuto alla commistione delle acque del Canale Morto (recettore delle acque che transitano alla sezione di Ca' di Mezzo) con quelle dello scarico generale Barbegara, che confluiscono in prossimità della stazione di Pallade.

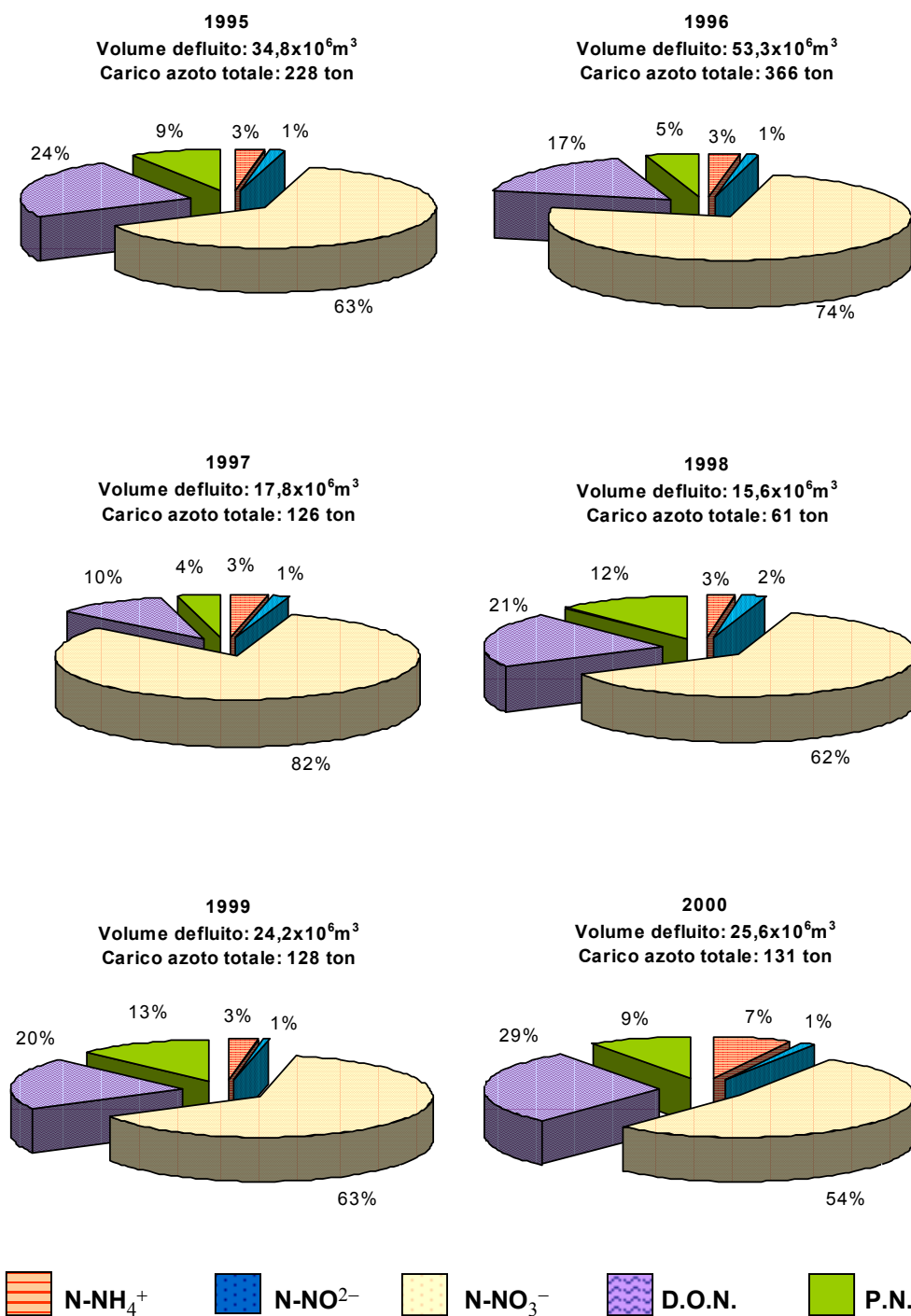


Figura 13 a. Stazione di Cà Bianca. Ripartizione percentuale del carico tra le varie forme di azoto negli anni 1995-2000. Per ogni anno sono indicati anche il carico totale di azoto e i volumi d'acqua defluiti.

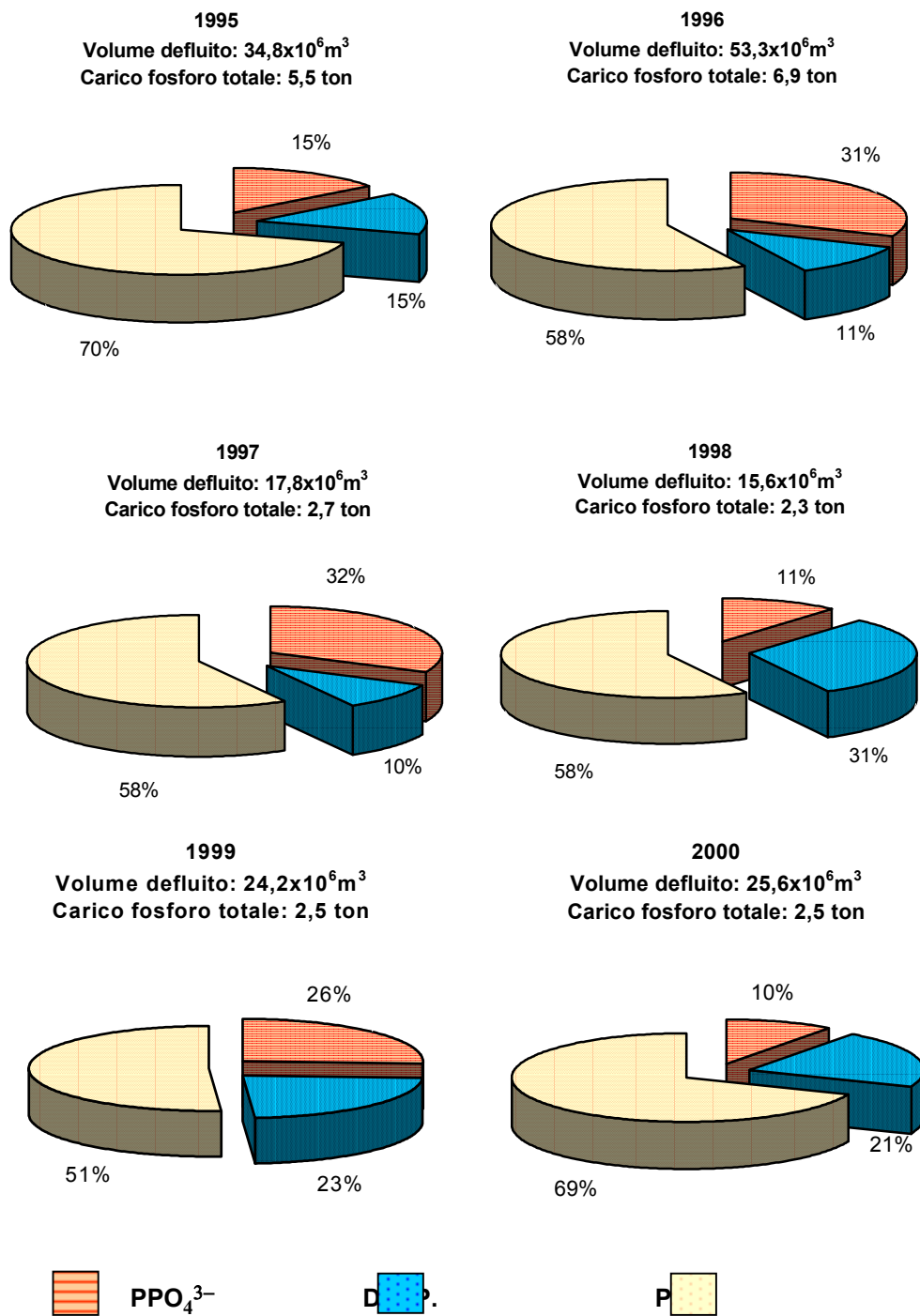


Figura 13 b. Stazione di Cà Bianca. Ripartizione percentuale del carico tra le varie forme del fosforo negli anni 1995-2000. Per ogni anno sono indicati anche il carico totale di fosforo e i volumi d'acqua defluiti.

6 b) Monitoraggio degli eventi di piena

In bacini come quelli considerati in questo monitoraggio gli eventi di piena costituiscono un transitorio del regime idrologico molto breve. Anche se i tempi di corrivazione in questi bacini sono falsati rispetto al naturale deflusso da una serie di manufatti di regolazione e pompe, essi rimangono brevi ed i deflussi conseguenti ad importanti precipitazioni sul bacino sono intensi. Dal punto di vista idraulico, nei bacini considerati, l'aumento dei volumi defluiti o delle portate esitate non dovrebbero destare preoccupazioni e generare casi di esondazioni considerevoli.

Una gestione ambientalmente corretta dei deflussi, che tenda a prolungare i tempi di residenza delle acque nel sistema drenante, potrebbe generare maggiori portate di picco nelle sezioni di controllo del sistema. A questa possibilità si è posto rimedio con il progetto adeguando la capacità di pompaggio degli impianti idrovori ed i volumi invasabili in modo da minimizzare il rischio di esondazioni. Dal punto di vista della qualità delle acque e dei carichi inquinanti consegnati alla Laguna durante questi eventi di piena, poco si sapeva, se non che in tali periodi grandi quantità di nutrienti venivano versati. Infatti è molto impegnativo monitorare i carichi e la qualità degli scarichi in questi momenti, a causa della breve durata e della frequenza di campio-namento che è necessario adottare, se si vuole cogliere totalmente l'evento nella sua evoluzione.

Nel corso di questa campagna di monitoraggio si sono selezionati alcuni eventi di una certa importanza, che sono stati previsti con qualche ora di anticipo grazie alle previsioni del Centro Agrometeorologico dell'ARPAV. La figura 14 mostra ad esempio l'evento del Dicembre 1996 monitorato all'idrovora di Ca'Bianca, confrontato con i dati quindicinali.

La durata dei tre picchi di deflusso è stata di circa 3-4 giorni ciascuno. Il deflusso nel suo complesso ha seguito la curva dei volumi mostrata in figura 14, con un picco di $2,53 \cdot 10^6$ m³ al giorno e di due picchi di circa $1,5 \cdot 10^6$ m³ al giorno. Durante questi eventi le concentrazioni degli inquinanti sono variate consistentemente. In particolare, l'azoto totale ha raggiunto un valore di circa 25 mg/l, 6 volte superiore alla media delle concentrazioni registrate a Ca' Bianca. Il picco di concentrazione si è verificato qualche giorno dopo il primo evento

importante di pioggia o deflusso, evidenziando il noto fenomeno di isteresi che si manifesta nei suoli agricoli per i traccianti solubili, dovuto al rilascio ritardato delle acque di deflusso subsuperficiali. Il fosforo e i solidi sospesi hanno raggiunto il picco quasi contemporaneamente a quello del primo evento di deflusso. Il loro rilascio dai suoli agricoli avviene per ruscellamento delle acque superficiali e quindi non risentono del fenomeno di isteresi valido per le sostanze solubili. La concentrazione di picco del fosforo totale è di circa 5 volte superiore alla media, mentre per i solidi sospesi è di circa 6 volte superiore alla media.

Dopo il primo evento di deflusso intenso del Dicembre 1996, le concentrazioni di azoto totale, fosforo totale, solidi sospesi, si riducono consistentemente anche se per azoto totale, fosforo totale rimangono su livelli pari almeno al doppio della media. Una pioggia intensa genera sul sistema dei suoli agricoli un fenomeno di "lavaggio" del terreno, così che piogge successive, anche se intense, non danno esiti paragonabili alla prima, in termini di concentrazioni. Il calcolo dei carichi consente di mostrare gli andamenti con picchi molto pronunciati (figura 15).

Nel periodo piovoso tra il 9/12/1996 e il 3/01/1997 sono stati scaricati $24,6 \cdot 10^6$ m³ di acqua, e circa il 70% degli inquinanti rilasciati nell'anno.

L'importanza dell'evento, al pari di altri analoghi verificatisi durante il periodo di monitoraggio, impone una considerazione sulla gestione di questi transitori. E' chiaro che con situazioni di deflusso così importanti la priorità è assegnata alla gestione dei puri deflussi, con l'obiettivo di non generare situazioni di rischio idraulico. Per ridurre questi carichi si può solo cercare di ottimizzare e minimizzare i volumi invasati facendo ricorso a tutte le strutture idrauliche previste dal progetto, quali ad esempio le estromissioni di Beolo e Acquanera e le interconnessioni tra bacini limitrofi che consentano di aumentare i volumi invasati.

Alla luce di queste osservazioni si può concludere che il protocollo di gestione dell'intero progetto dovrà essere mirato alla gestione delle magre e delle morbide, mentre nei momenti di piena si ridurrà, per forza di cose, al solo obiettivo di scaricare il meno possibile invasando il più possibile.

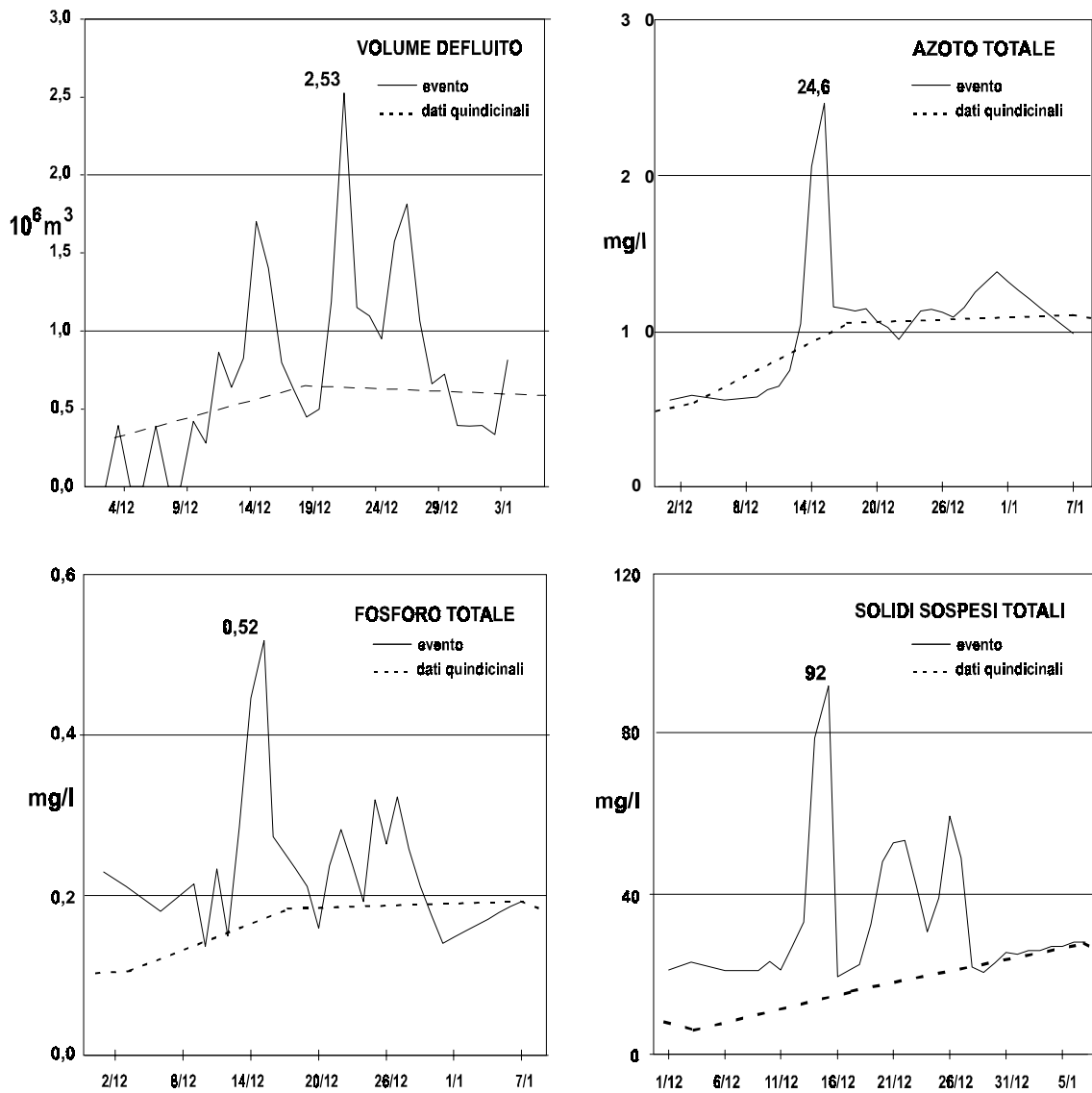


Figura 14. Periodo piovoso del Dicembre 1996 monitorato all'idrovora di Ca' Bianca. Confronto tra i dati dell'evento e i dati del monitoraggio quindicinale.

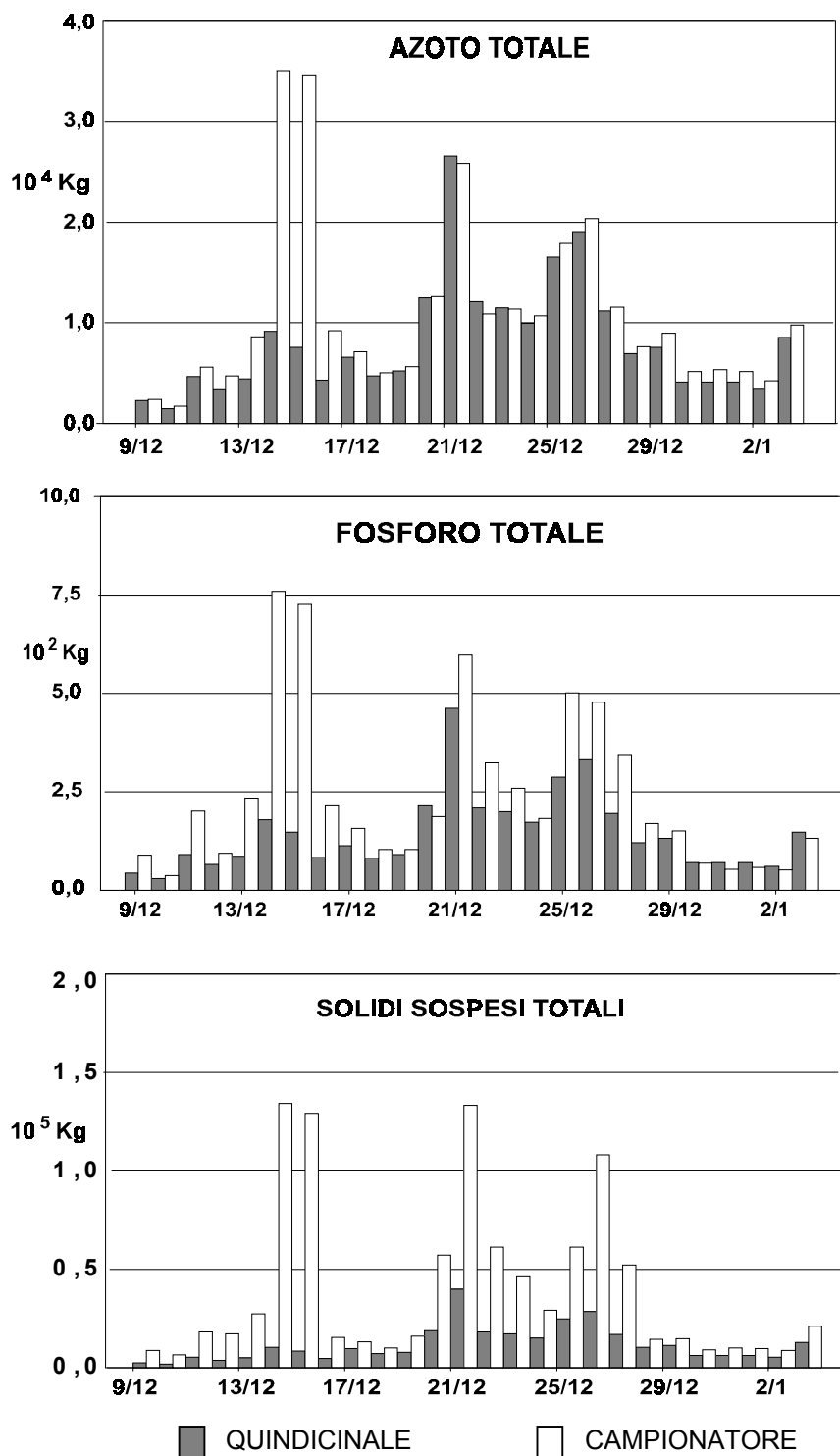


Figura 15. Carichi di nutrienti nel periodo piovoso del Dicembre 1996. Confronto tra i dati dell'evento e i dati del monitoraggio quindicinale.

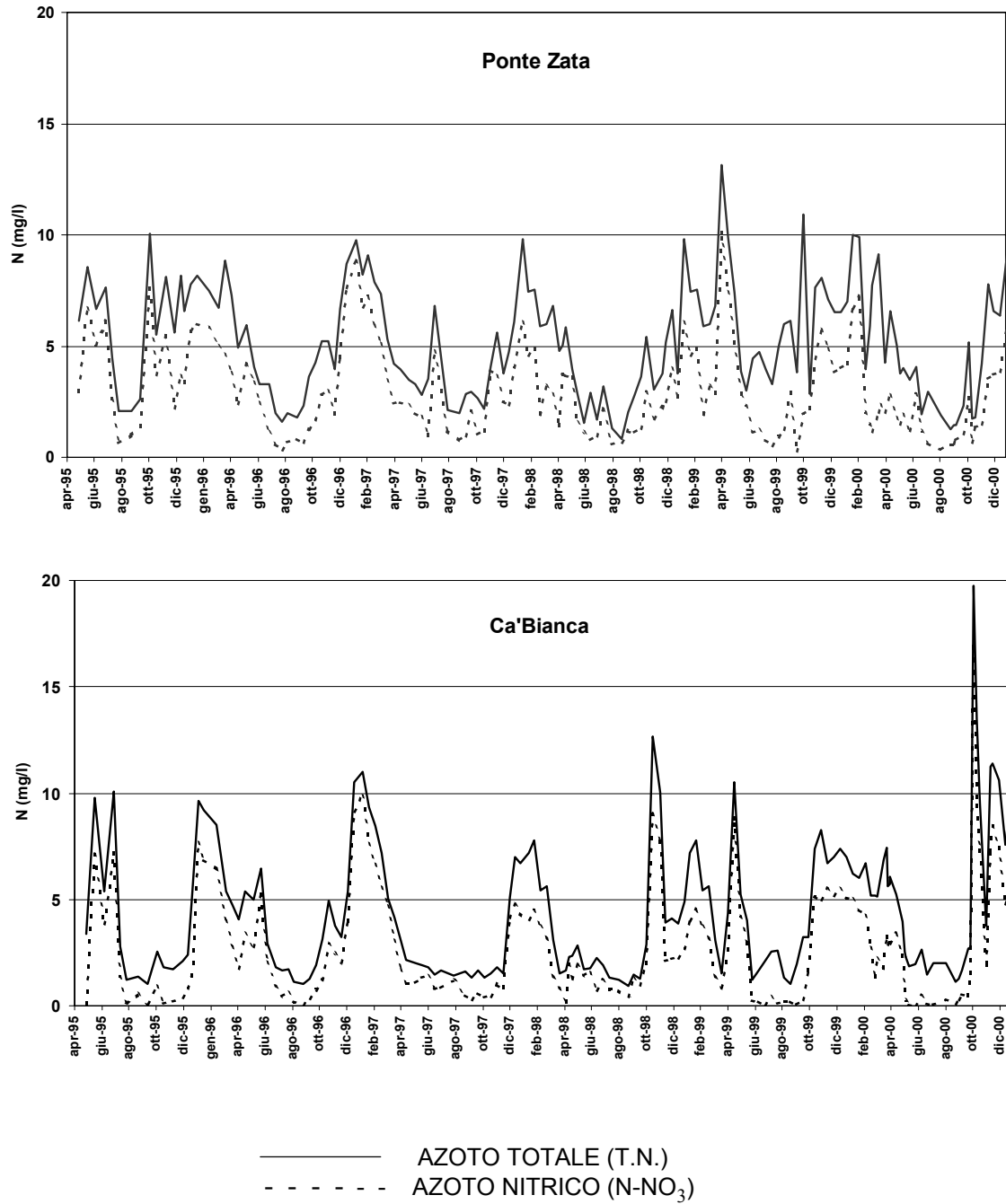


Figura S1 a. Confronto tra Ponte Zata e Ca' Bianca dell'azoto totale e dell'azoto nitrico. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.

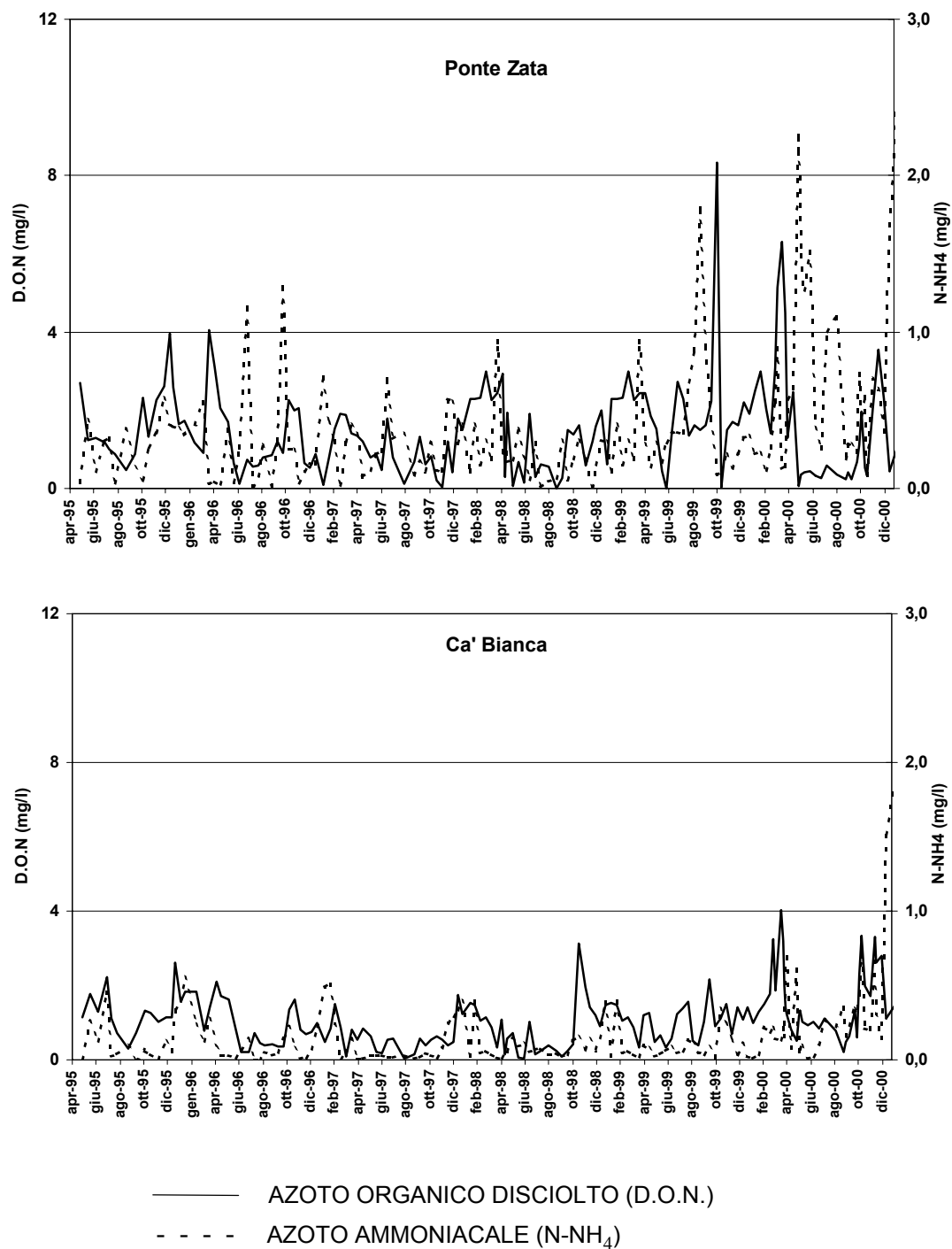
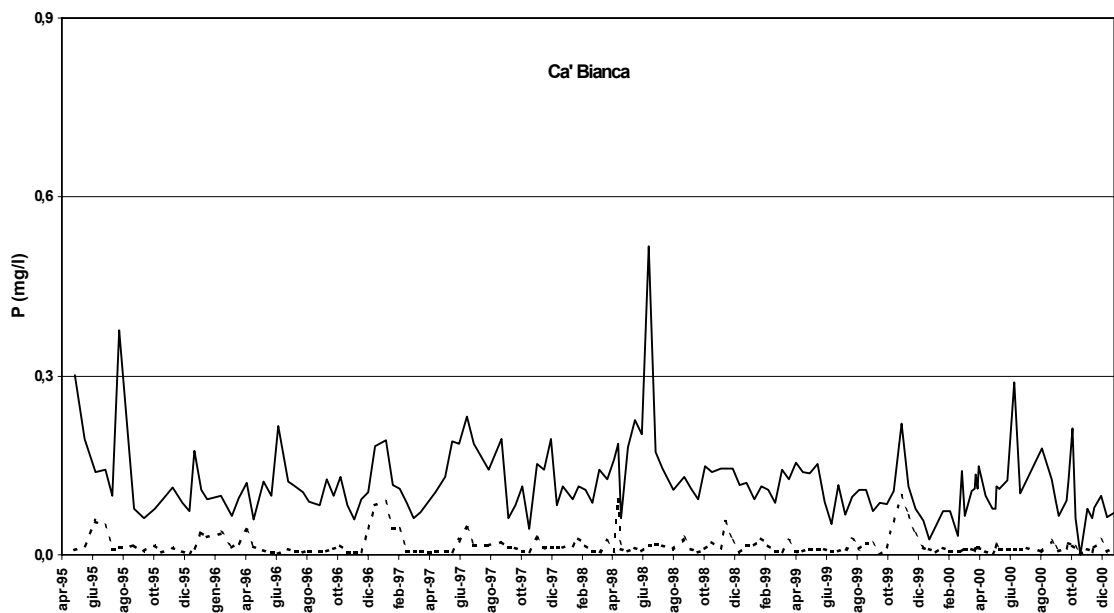
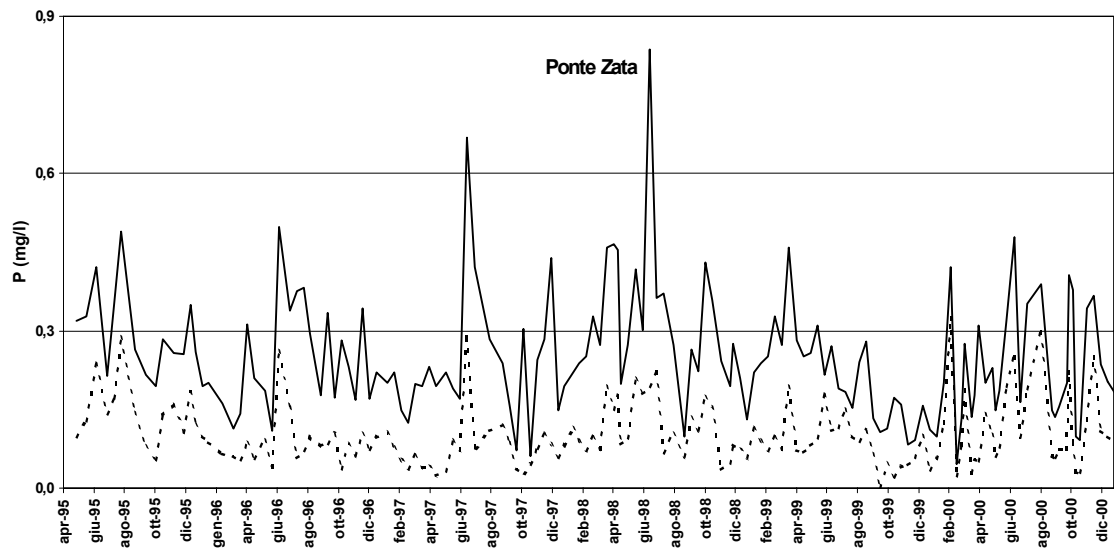


Figura S1 b. Confronto tra Ponte Zata e Ca' Bianca dell'azoto organico disciolto e dell'azoto ammoniacale. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.



— FOSFORO TOTALE (T.P.)
 - - - IONE ORTOFOSFATO (P-PO₄)

Figura S1 c. Confronto tra Ponte Zata e Ca' Bianca del fosforo totale e dello ione ortofosfato. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.

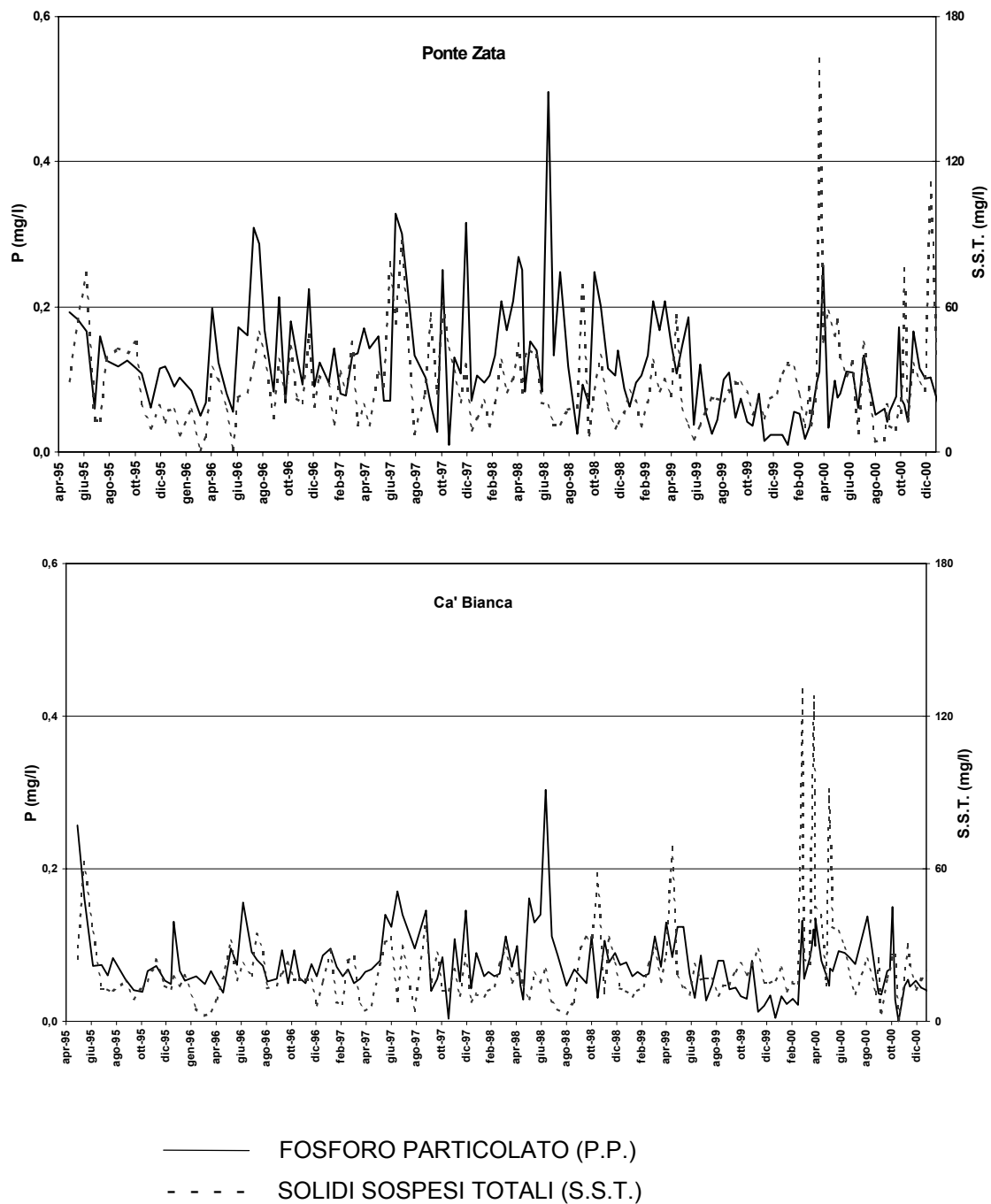


Figura S1 d. Confronto tra Ponte Zata e Ca' Bianca del fosforo particolato e dei solidi sospesi totali. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.

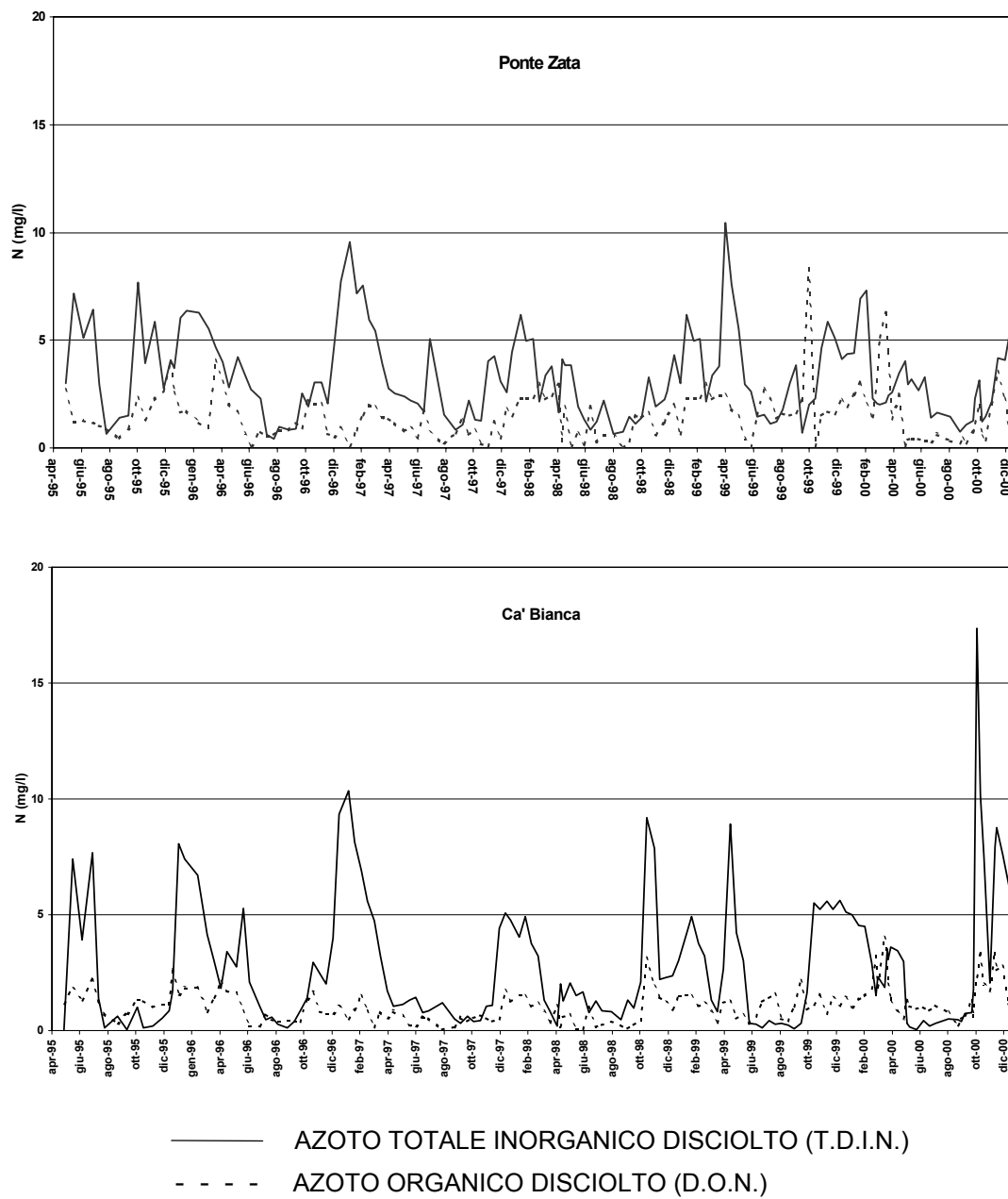
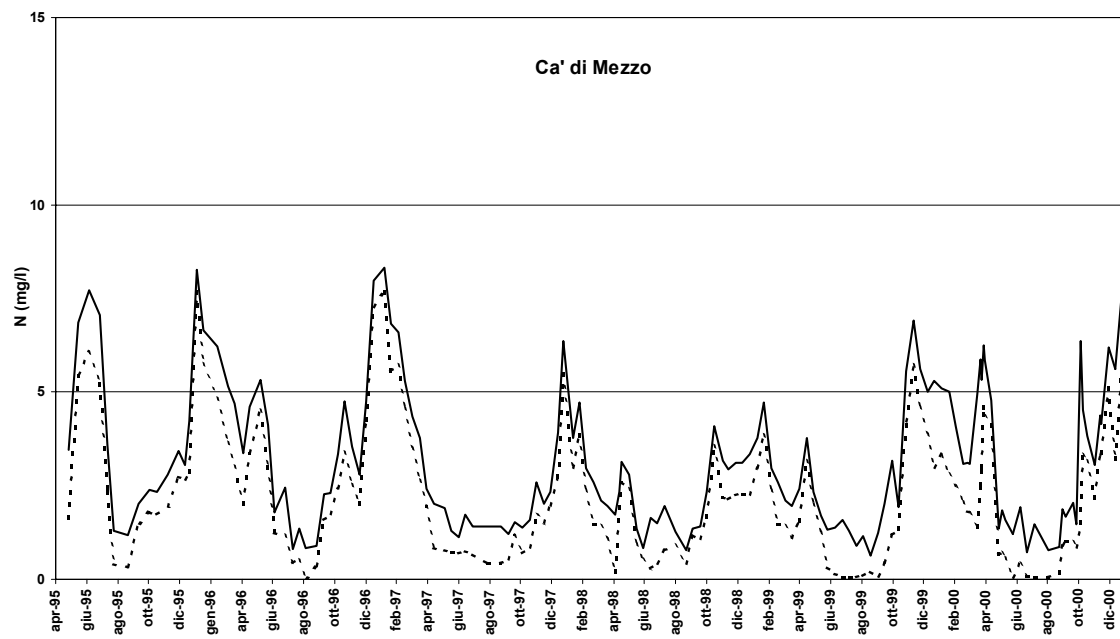
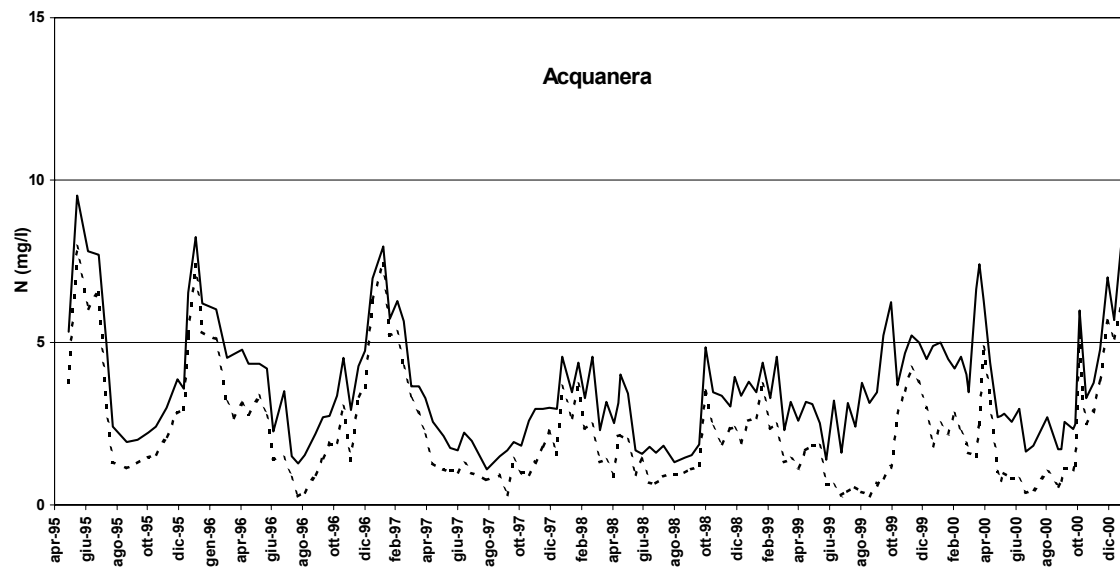


Figura S1 e. Confronto tra Ponte Zata e Ca' Bianca dell'azoto totale inorganico disciolto e dell'azoto organico disciolto. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.



——— AZOTO TOTALE (T.N.)
 - - - - - AZOTO NITRICO (N-NO₃)

Figura S2 a. Confronto tra Acquanera e Ca' di Mezzo dell'azoto totale e dell'azoto nitrico. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.

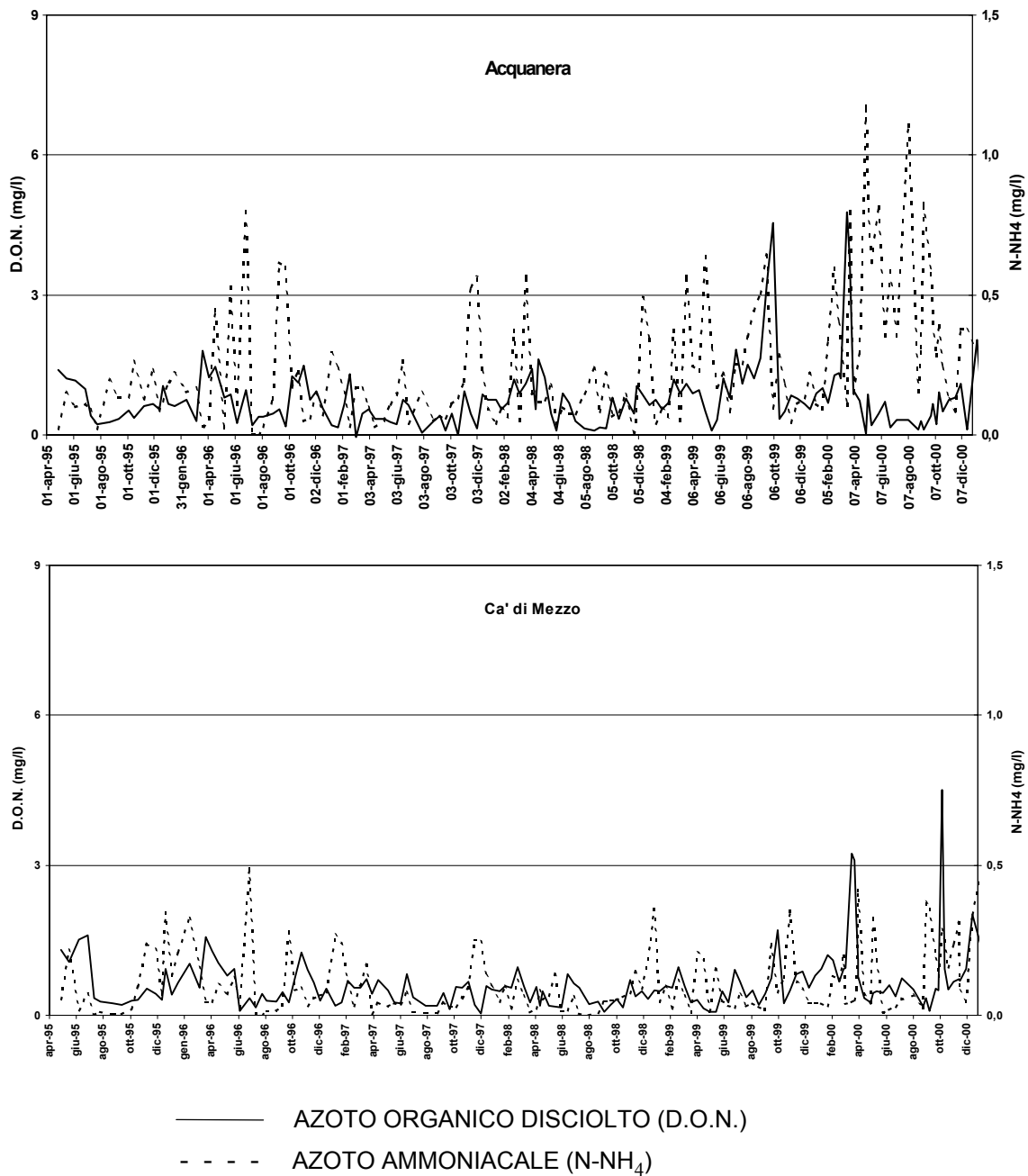


Figura S2 b. Confronto tra Acquanera e Ca' di Mezzo dell'azoto organico disciolto e dell'azoto ammoniacale. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.

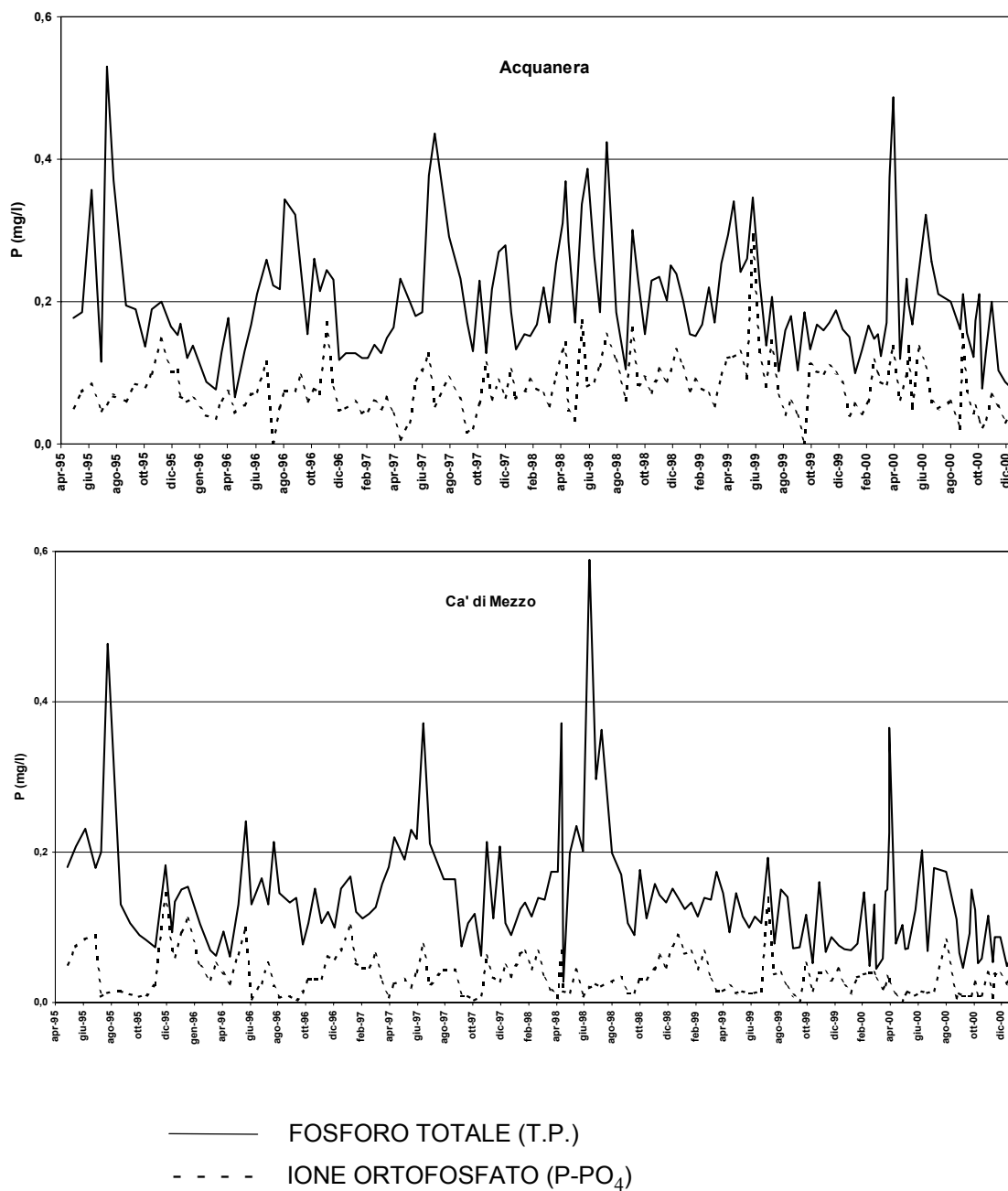


Figura S2 c. Confronto tra Acquanera e Ca' di Mezzo del fosforo totale e dello ione ortofosfato. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.

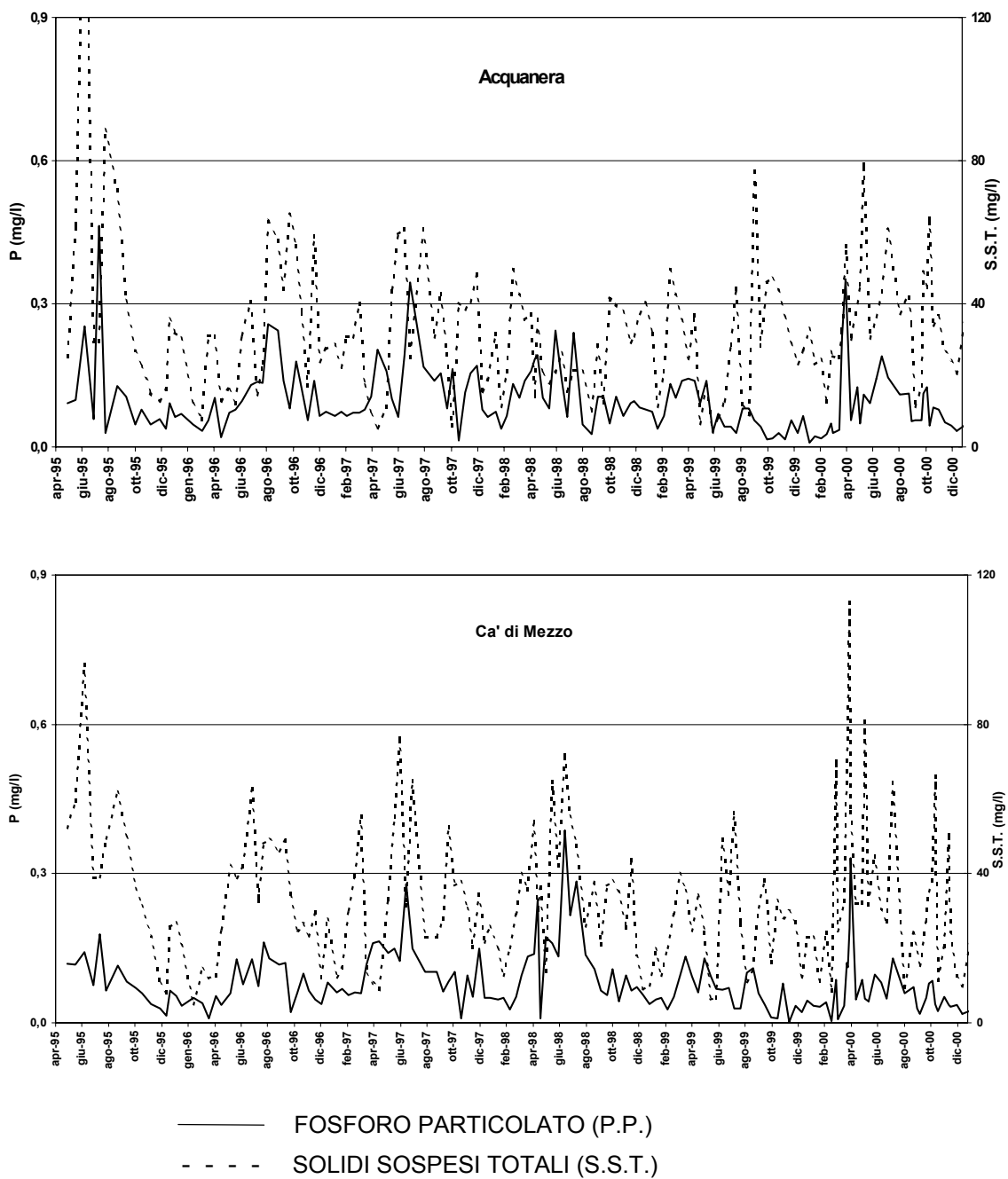


Figura S2 d. Confronto tra Acquanera e Ca' di Mezzo del fosforo particolato e dei solidi sospesi totali. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.

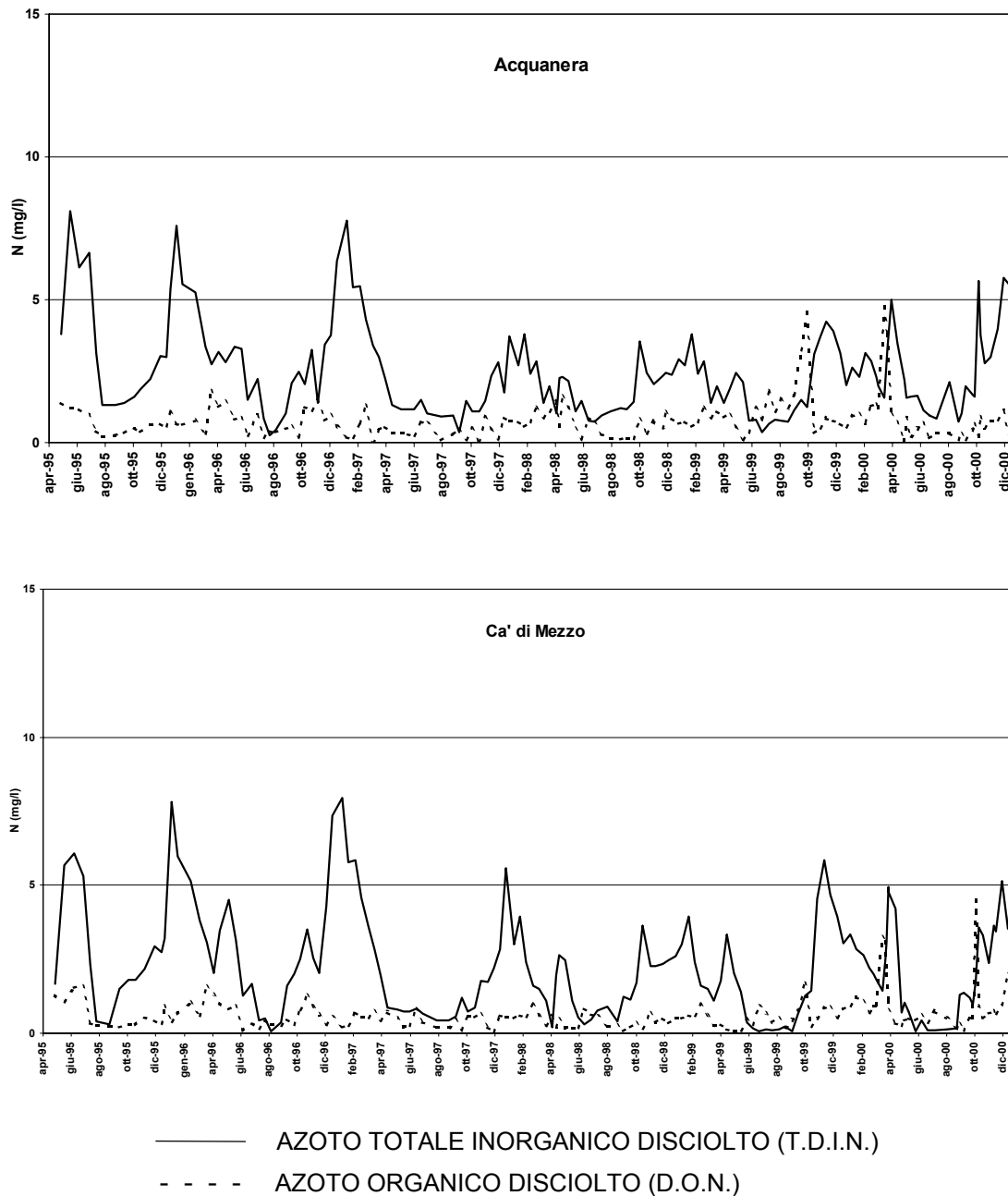


Figura S2 e. Confronto tra Acquanera e Ca' di Mezzo dell'azoto totale inorganico disciolto e dell'azoto organico disciolto. Periodo Aprile 1995 - Dicembre 2000.