

## 2. CONTAMINANTI NELLO ZOOPLANCTON

*Roberta Bettinetti, Carlo Dossi, Università dell'Insubria, Como*  
*Roberta Piscia, Marina Manca, CNR-ISE, Verbania Pallanza*

A partire dal 2009 fino al gennaio 2016 è stata analizzata la componente zooplanctonica della zona pelagica del Lago Maggiore. Da aprile 2009 a gennaio 2013 i campioni sono stati raccolti ed analizzati nelle stazioni di Baveno, Lesa e Ghiffa, poi a partire da maggio 2013, poiché le analisi condotte sullo zooplancton hanno evidenziato che non esistevano differenze significative tra le diverse stazioni di campionamento, si è scelto di campionarlo nella sola stazione di Ghiffa, rappresentativa quindi, oltre che per i parametri chimico-fisici e biologici, anche per la contaminazione da DDT e PCB della zona centro-settentrionale del bacino. A partire dallo stesso campionamento lo zooplancton è stato raccolto suddividendolo e analizzandolo in tre frazioni dimensionali.

Dal 2009 a gennaio 2013 lo zooplancton è stato raccolto (nelle tre stazioni) utilizzando un retino con rete in nylon da 450  $\mu\text{m}$  di luce nello strato 0-50 m; quando poi si è operato sulle frazioni dimensionali, ad ogni campionamento sono stati raccolti tre campioni con retini da zooplancton a bocca larga (diametro pari a 58 cm) armati rispettivamente con rete in nylon da 450  $\mu\text{m}$  di luce e da 850  $\mu\text{m}$  di luce entro lo strato 0-50 m (fraz.  $\geq 450 \mu\text{m}$ , fraz. 450  $\mu\text{m}$  - 850  $\mu\text{m}$ , fraz.  $\geq 850 \mu\text{m}$ ).

Nel presente rapporto vengono analizzati in dettaglio i dati relativi all'ultimo anno di campionamento e analisi (maggio 2015 - gennaio 2016) e vengono riportati i dati disponibili per tutte le analisi effettuate sullo zooplancton per operare un confronto temporale a partire dal 2009. In particolare la serie temporale più completa è quella relativa alla stazione di campionamento di Ghiffa di frazione dimensionale  $\geq 450 \mu\text{m}$ .

Ad ogni campionamento una parte del campione è stata filtrata su filtri in microfibra di vetro con pori di 1,2  $\mu\text{m}$  (GF/C, diametro 4,7 cm), congelata a -20 °C e successivamente liofilizzata per la determinazione analitica dei pesticidi clorurati e dei PCB; l'altra parte (pari a circa un terzo del volume totale campionato) è stata fissata in alcool per la classificazione tassonomica.

I composti prioritari analizzati sono stati: il pp'DDT e i due metaboliti pp'DDE e pp'DDD e i rispettivi isomeri op' e 14 congeneri di policlorodifenili (PCB) (10 congeneri dal 2009 al 2013). Gli esaclorocicloesani e l'esaclorobenzene sono stati analizzati fino al 2011 e poi le analisi non sono state più effettuate perché i livelli erano sempre vicini al limite di rilevabilità dello strumento.

Per tutti i composti il limite di rilevabilità analitica è pari a 0,1 ng g<sup>-1</sup> di peso secco.

I campioni, dopo liofilizzazione, sono stati pesati per la determinazione del peso secco e sottoposti ad estrazione mediante estrattore Soxhlet utilizzando una miscela di acetone-*n*-esano (1:1 v/v) in un ditale di microfibra di vetro (19x9x90 mm, Whatman, England). L'estratto concentrato di ciascun campione è stato purificato ed analizzato in GC con ECD utilizzando per la quantificazione uno standard esterno preparato a partire dai singoli composti in isoottano.

La misura della frazione lipidica è stata effettuata mediante determinazione gravimetrica sul campione estratto, essiccato sotto flusso di azoto e portato a peso costante.

Le percentuali lipidiche dello zooplancton delle due frazioni dimensionali nelle diverse stagioni del 2015/16 sono riportate nella tabella 2.1.

Tab. 2.1. Percentuale lipidica delle tre frazioni dimensionali dello zooplancton campionato a Ghiffa per i quattro campionamenti stagionali e media annuale, espressa sul peso secco.

	2015			2016
	maggio	agosto	novembre	gennaio
<b>fraz. <math>\geq 450 \mu\text{m}</math></b>	11,4	12,1	16,5	13,9
<b>fraz. 450 - 850 <math>\mu\text{m}</math></b>	11,6	19,4	18,5	7,7
<b>fraz. <math>\geq 850 \mu\text{m}</math></b>	11,4	8,2	8,3	7,9

Nell'arco dell'anno mediamente la frazione che ha maggiore contenuto lipidico è quella intermedia, seguita da quella  $\geq 450 \mu\text{m}$  e da quella  $\geq 850 \mu\text{m}$ . La frazione di dimensioni maggiori ( $\geq 850 \mu\text{m}$ ) presenta una percentuale lipidica pressoché costante da agosto in poi, mentre le altre due frazioni considerate sembrano mostrare una stagionalità. La frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  aumenta gradualmente fino all'autunno calando di nuovo in inverno, mentre la frazione intermedia aumenta notevolmente già in estate, si mantiene quasi uguale in autunno e decresce in modo rilevante in inverno.

Nella figura 2.1 sono riportate le percentuali lipidiche medie dello zooplancton (esprese sul peso secco) raccolto a Ghiffa con retino a maglie di luce pari a  $450 \mu\text{m}$  a partire dal 2009. Viene anche riportata la deviazione standard (ad eccezione del 2016 in cui è stato effettuato un solo campionamento) che mette in luce come i valori medi siano in un intervallo compreso tra il 13 % circa nel 2013 e 19 % nell'anno precedente; dai valori dei limiti di confidenza viene anche evidenziata una discreta variabilità annuale delle misure verosimilmente in relazione a variazioni nella struttura in età, nella composizione tassonomica e nelle condizioni fisiologiche degli organismi componenti il popolamento zooplanctonico nei diversi momenti dell'anno (e.g. Bjorkman & Shapiro 1986; Wetzel 2012).

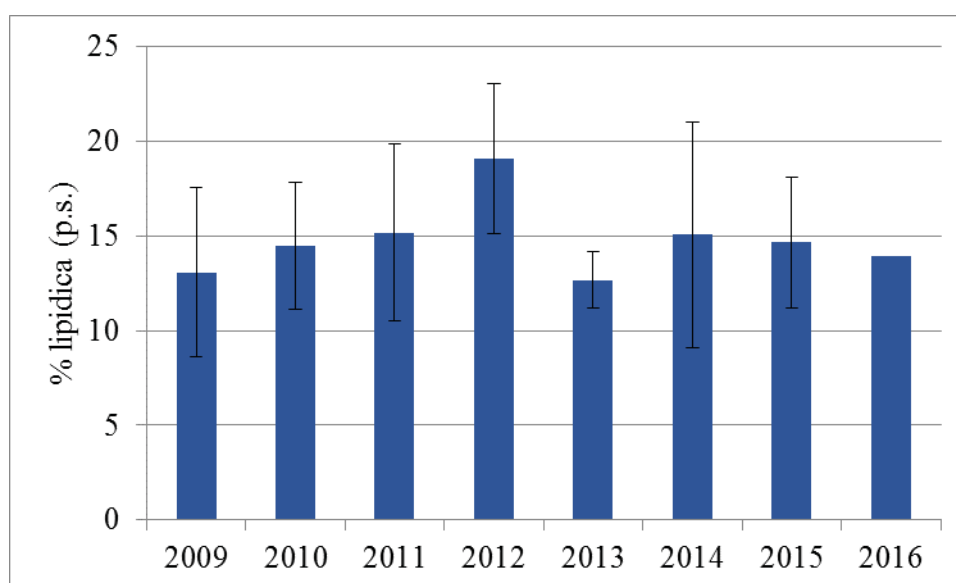


Fig. 2.1. Percentuale lipidica media annuale (4 date di campionamento) della frazione dimensionale  $\geq 450 \mu\text{m}$  dello zooplancton campionato a Ghiffa a partire dal 2009. Per ogni anno viene riportata la deviazione standard.

Nelle figure 2.2 e 2.3 sono riportati i contenuti percentuali lipidici medi dello zooplancton (espressi sul peso secco) raccolto a Ghiffa rispettivamente della frazione intermedia 450-850  $\mu\text{m}$  e  $\geq 850 \mu\text{m}$  a partire dal 2014 nel primo caso e dal 2013 nel secondo. Viene anche riportata la deviazione standard (ad eccezione del 2016 in cui è stato effettuato un solo campionamento). I valori medi della frazione intermedia sono intorno al 15% circa (non considerando il 2016 in cui è stato effettuato un solo campionamento invernale), simile quindi alla frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ , mentre la frazione  $\geq 850 \mu\text{m}$  ha un contenuto lipidico costante e mediamente inferiore, intorno al 10%.

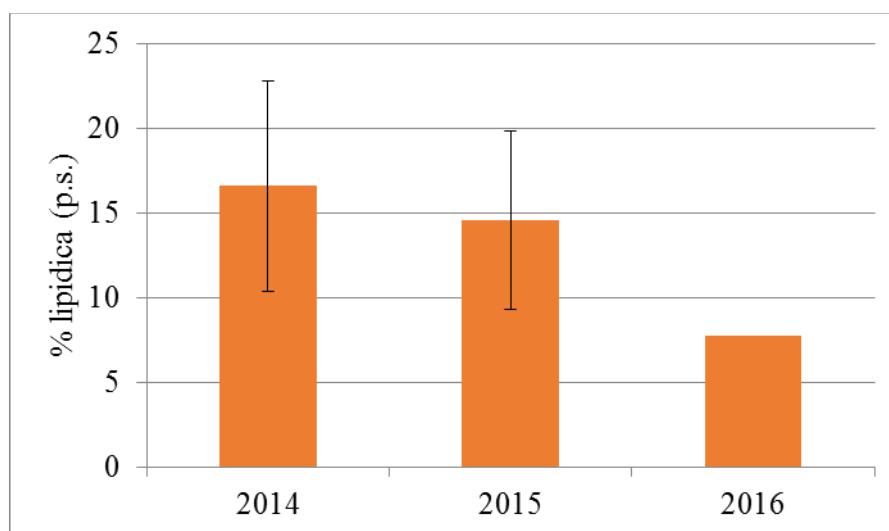


Fig. 2.2. Percentuale lipidica media annuale (4 date di campionamento per anno) della frazione dimensionale compresa tra 450  $\mu\text{m}$  e 850  $\mu\text{m}$  dello zooplancton campionato a Ghiffa. Per ogni anno viene riportata la deviazione standard.

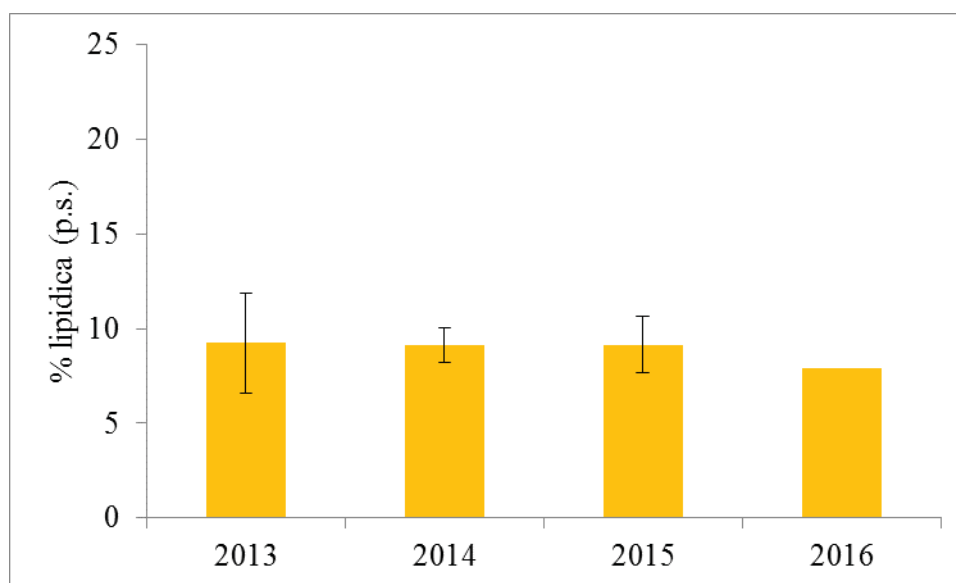


Fig. 2.3. Percentuale lipidica media annuale (4 date di campionamento per anno) della frazione dimensionale  $\geq 850 \mu\text{m}$  dello zooplancton campionato a Ghiffa. Per ogni anno viene riportata la deviazione standard.

Per quanto riguarda l'ultimo anno di analisi (maggio 2015-gennaio 2016) nella figure 2.4, 2.5 e 2.6 vengono riportati i risultati relativi alla concentrazione di DDT totali (somma dei pp' e degli op') nelle diverse tre frazioni dimensionali dello zooplancton.

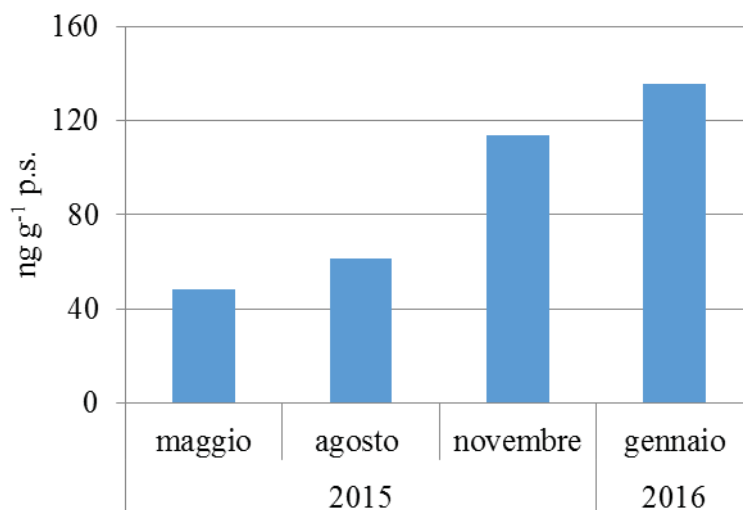


Fig. 2.4. DDT totali nello zooplancton, frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ . Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

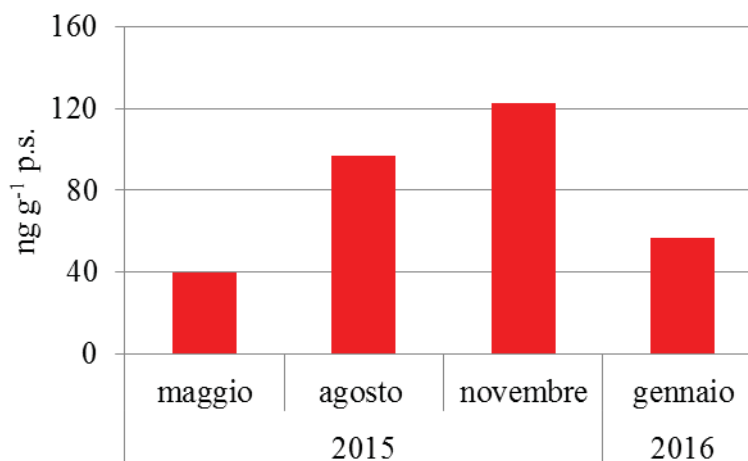


Fig. 2.5. DDT totali nello zooplancton, frazione  $450 \mu\text{m} - 850 \mu\text{m}$ . Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

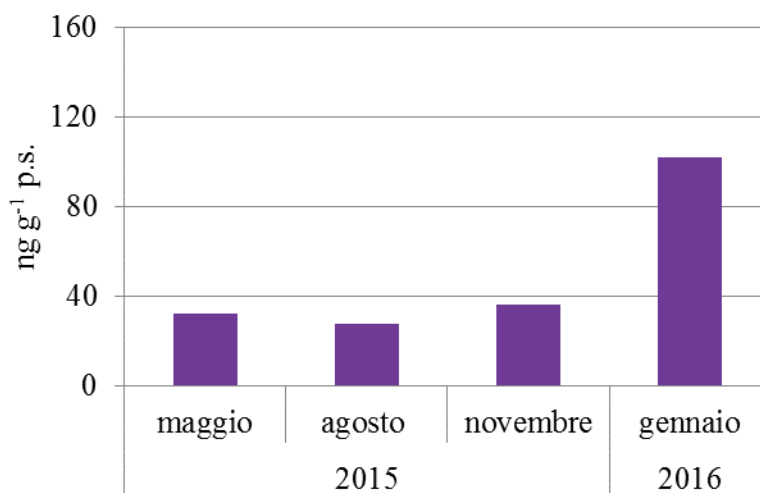


Fig. 2.6. DDT totali nello zooplancton, frazione  $\geq 850 \mu\text{m}$ . Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

Sia nella frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  sia in quella  $\geq 850 \mu\text{m}$  la concentrazione massima è stata misurata a gennaio 2015, mentre nella frazione intermedia è stata registrata a novembre 2015. La concentrazione massima raggiunta nella frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  è superiore a quella delle altre due frazioni considerate. In termini di concentrazioni medie annuali, i DDT totali sono risultati essere più elevati nella frazione dimensionale  $\geq 450 \mu\text{m}$  ( $89,8 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.s.}$ ), di poco superiore a quella misurata nella frazione intermedia ( $79,2 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.s.}$ ); la concentrazione media dei DDT nella frazione di dimensioni maggiori è circa la metà ( $49,4 \text{ ng g}^{-1} \text{ p.s.}$ ) di quella misurata nella frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ .

I risultati relativi alla determinazione del *op'*-DDD, *pp'*-DDD, *op'*-DDE, *pp'*-DDE, *op'*-DDT e *pp'*-DDT riferiti al peso secco dei campioni sono riportati nella figura 2.7, 2.8 e 2.9, rispettivamente per la frazione dimensionale  $\geq 450 \mu\text{m}$ , per quella  $450 \mu\text{m} - 850 \mu\text{m}$  e per quella  $\geq 850 \mu\text{m}$ .

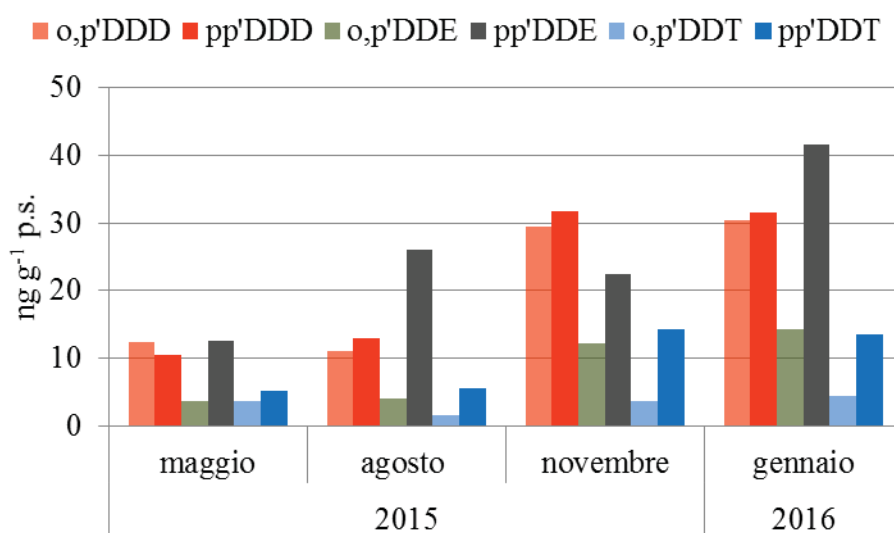


Fig. 2.7. *pp'*-DDT, suoi metaboliti e isomeri nello zooplancton (frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ ) nella stazione di Ghiffa nel 2015/16. I dati sono espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

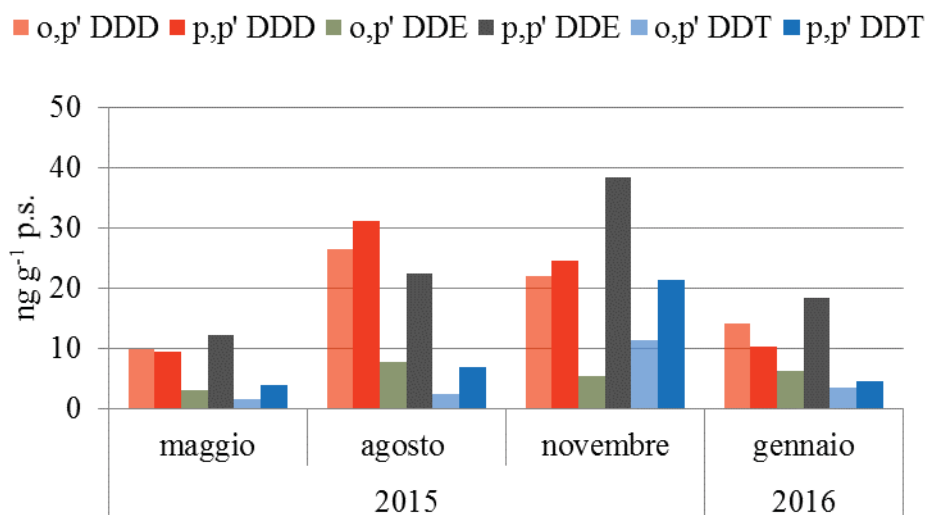


Fig. 2.8. pp'-DDT, suoi metaboliti e isomeri nello zooplancton (frazione 450 µm – 850 µm) nella stazione di Ghiffa nel 2015/16. I dati sono espressi in ng g<sup>-1</sup> di peso secco.

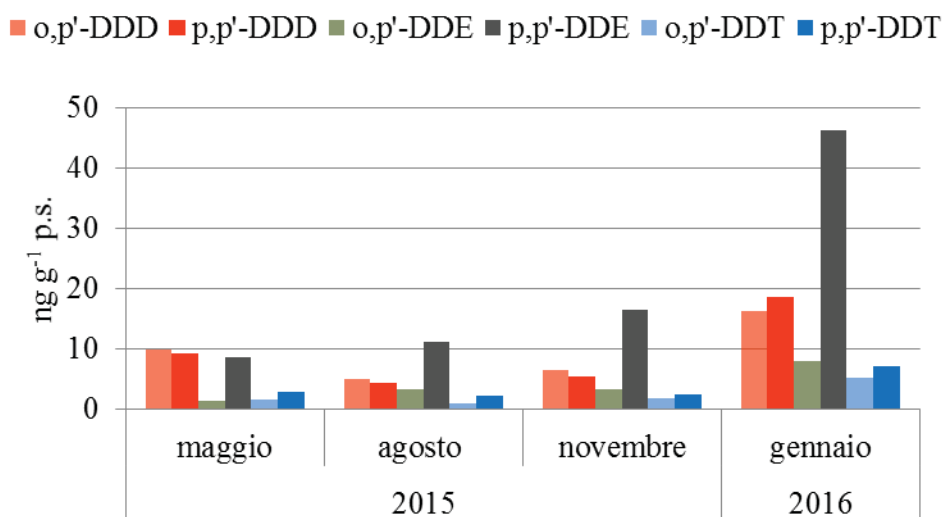


Fig. 2.9. pp'-DDT, suoi metaboliti e isomeri nello zooplancton (frazione ≥ 850 µm) nella stazione di Ghiffa nel 2015/16. I dati sono espressi in ng g<sup>-1</sup> di peso secco.

Tra i metaboliti del pp'-DDT, il pp'-DDE risulta essere prevalente nella frazione ≥450 µm in tutti mesi tranne a novembre 2015, nella frazione intermedia questo si osserva ad agosto e nella frazione ≥850 µm il pp'-DDE ha concentrazioni simili al pp'-DDD in maggio per poi essere il metabolita prevalente nelle altre stagioni. In termini di valori medi annuali le concentrazioni di pp'-DDE sono simili nelle tre diverse frazioni dimensionali, in un intervallo compreso tra 20,7 ng g<sup>-1</sup> p.s. (frazione ≥850 µm) e 25,7 ng g<sup>-1</sup> p.s. (frazione ≥450 µm).

Considerando solo gli isomeri, quello sempre prevalente è l'op'-DDD in tutte le frazioni di zooplancton e raggiunge la massima concentrazione nello zooplancton ≥450 µm a novembre 2015 e gennaio 2016.

Tra tutti i composti anche se il pp'-DDE risulta il prevalente, vale la pena sottolineare come l'op'-DDD e il pp'-DDD siano presenti con concentrazioni considerevoli, talvolta superando il pp'-DDE (come nel caso della frazione ≥450 µm a novembre e nella frazione intermedia ad agosto). La presenza dell'op'-DDD conferma ancora una volta l'origine industriale della contaminazione. La produzione di pp'-DDT prevede anche quella

dell'isomero op'-DDT (in misura del 15-25%), che viene convertito nel suolo e nei sedimenti nei metaboliti op'-DDD e op'-DDE.

La contaminazione media annuale dei DDT totali (come somma di pp'-DDD, pp'-DDE, pp'-DDT di cui si dispongono i dati per tutti gli anni) a partire dal 2009 nello zooplancton (frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ ) prelevato a Ghiffa è riportata nella figura 2.10.

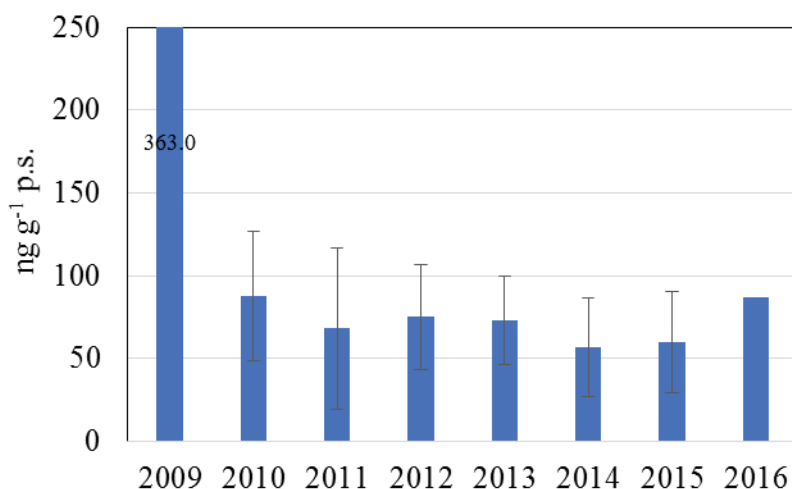


Fig. 2.10. Concentrazione media annuale del DDT totale nello zooplancton (frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ ) nella stazione di Ghiffa dal 2009 a gennaio 2016. I dati sono espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

Se si esclude il 2009 in cui è stato registrato un picco di concentrazione perlopiù ascrivibile al pp'-DDE (Fig. 2.11), si può osservare come le concentrazioni siano rimaste simili negli anni. In tutti gli anni il pp'-DDE risulta essere il metabolita prevalente ad eccezione di ottobre 2010, gennaio e agosto 2012, novembre 2015 dove la concentrazione maggiore è del pp'-DDD; ad agosto 2013 inaspettatamente il composto parentale pp'-DDT prevale, anche se di poco, sui suoi metaboliti.

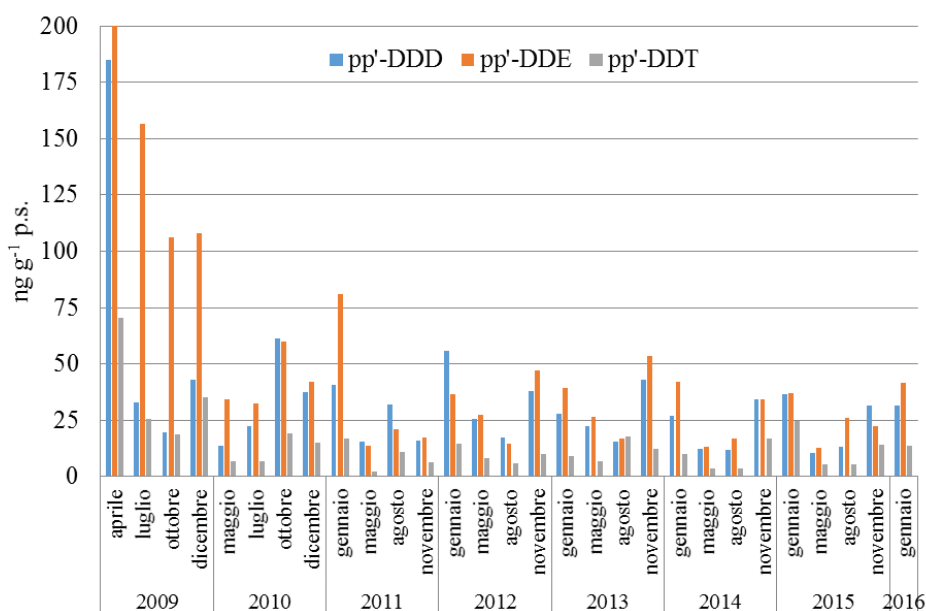


Fig. 2.11. pp'-DDD, pp'-DDE e pp'-DDT nello zooplancton (frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ ) nella stazione di Ghiffa a partire dal 2009. I dati sono espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

L'andamento dei PCB totali (10 congeneri misurati sempre in tutti i campioni nella stazione di Ghiffa) e dei valori medi dell'anno (media delle concentrazioni di PCB totali misurati nelle quattro stagioni) a partire dal 2009 è riportato nella figura 2.20.

E' possibile osservare che il massimo della concentrazione di PCB totali è stato registrato nel 2011; le concentrazioni mediamente rimangono pressoché costanti negli anni osservati, in un intervallo compreso tra 41,5 e 89,1 ng g<sup>-1</sup> p.s. e non sembrano subire ampie oscillazioni stagionali, come si evince dalla deviazione standard. I PCB totali misurati nel corso del 2015/16 nelle tre frazioni dimensionali sono riportati nelle figure 2.12, 2.13 e 2.14. Le concentrazioni di PCB aumentano nel periodo più freddo in modo continuo, fino a raggiungere il massimo della concentrazione a gennaio.

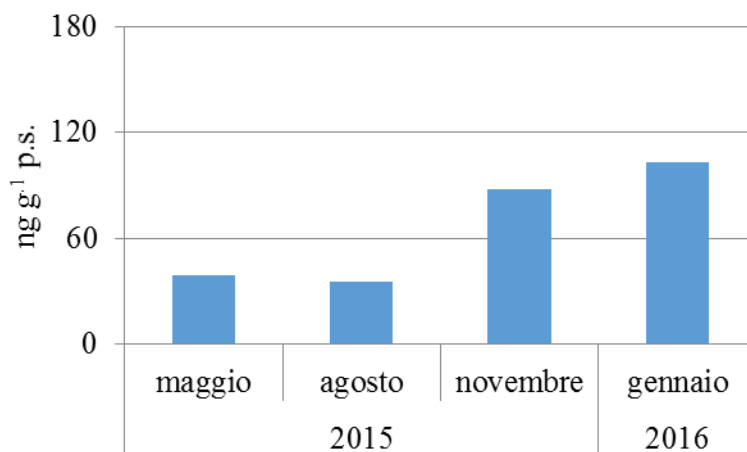


Fig. 2.12. PCB totali nella frazione di zooplancton  $\geq 450 \mu\text{m}$  nel 2015/16. Dati espressi in ng g<sup>-1</sup> di peso secco.

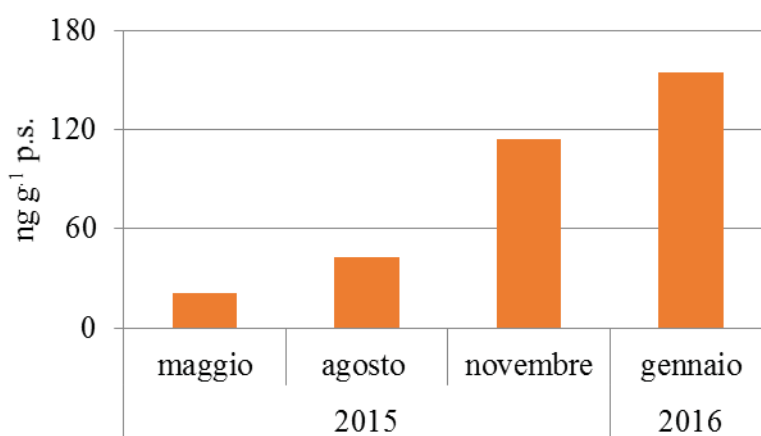


Fig. 2.13. PCB totali nella frazione di zooplancton compresa tra 450  $\mu\text{m}$  e 850  $\mu\text{m}$  nel 2015/16. Dati espressi in ng g<sup>-1</sup> di peso secco.



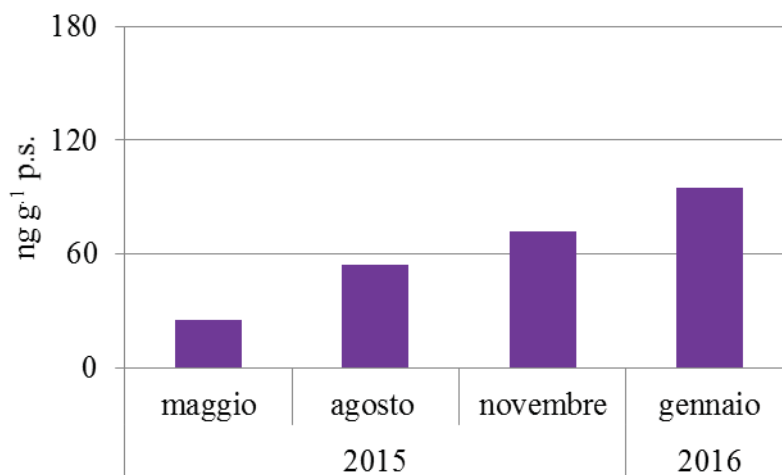


Fig. 2.14. PCB totali nella frazione di zooplancton  $\geq 850 \mu\text{m}$  nel 2015/16. Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

Dal confronto tra le concentrazioni di PCB nello zooplancton (Fig. 2.15) emerge che la frazione di dimensioni intermedie è la più contaminata in novembre 2015 e gennaio 2016, seguita in questi due mesi dalla frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ . In maggio questa frazione è quella più contaminata, mentre ad agosto è quella  $\geq 850 \mu\text{m}$  a presentare la più alta concentrazione di PCB totali.

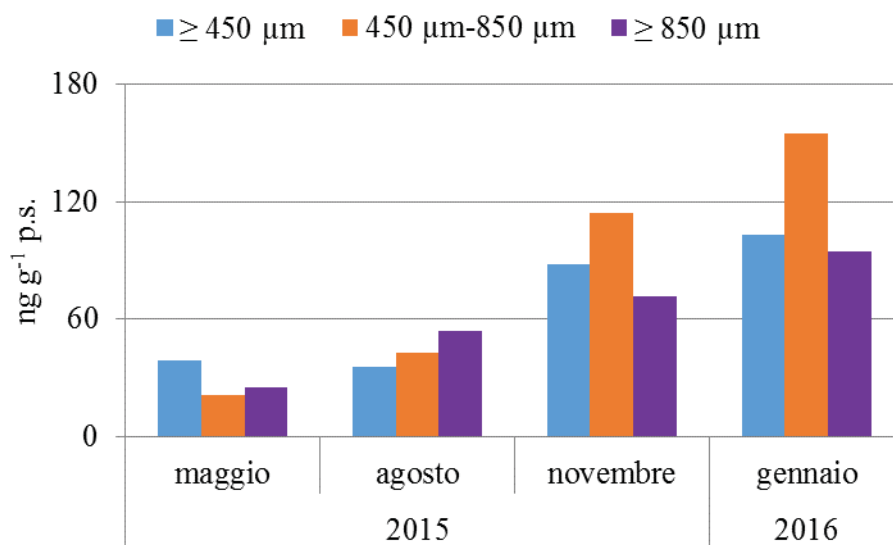


Fig. 2.15. Concentrazioni di PCB totali nelle diverse frazioni di zooplancton nel 2015/16. Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

I profili dei congeneri (Fig. 2.16, 2.17 e Fig. 2.18) evidenziano in tutti i periodi di campionamento la prevalenza di PCB 153, PCB 138 e di PCB 180, seguito dal PCB 149 e PCB 170. I profili dei PCB sono simili nel tempo (Fig. 2.19).

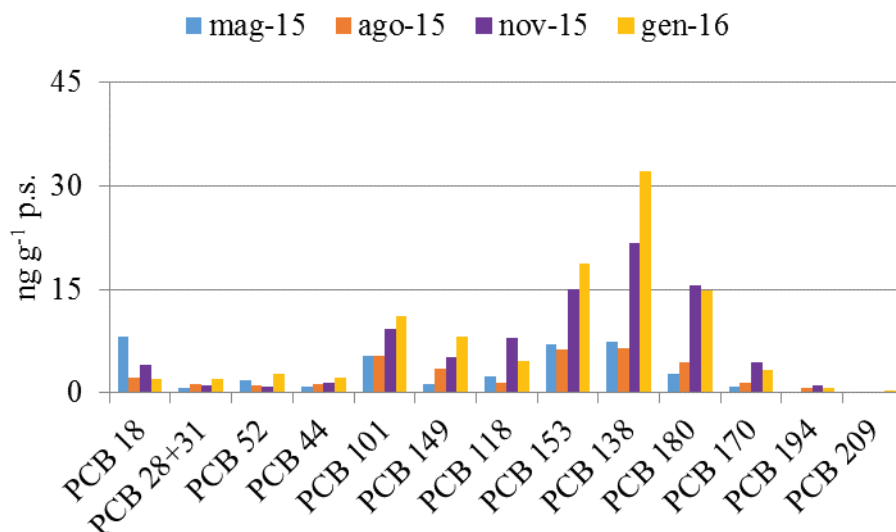


Fig. 2.16. Singoli congeneri di PCB nello zooplancton della frazione dimensionale  $\geq 450 \mu\text{m}$  nelle diverse stagioni. Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

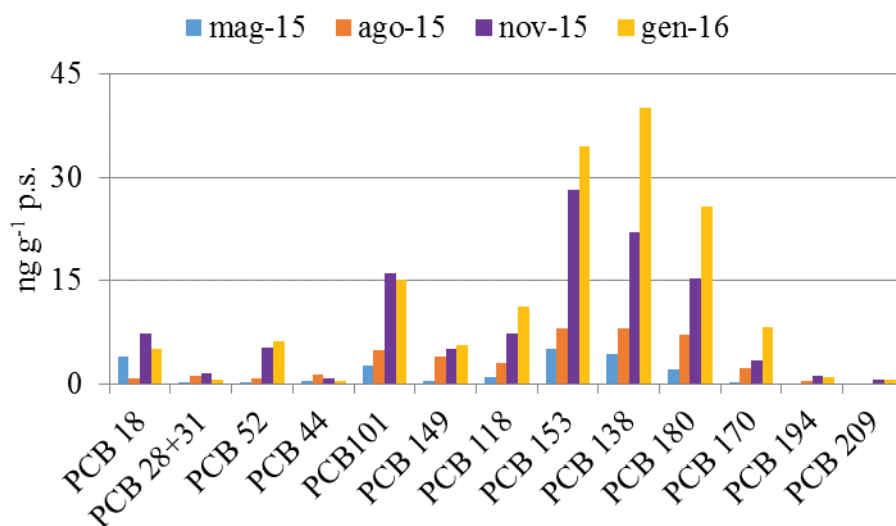


Fig. 2.17. Singoli congeneri di PCB nello zooplancton della frazione dimensionale compresa tra  $450 \mu\text{m}$  e  $850 \mu\text{m}$  nel 2015/16 nelle diverse stagioni. Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

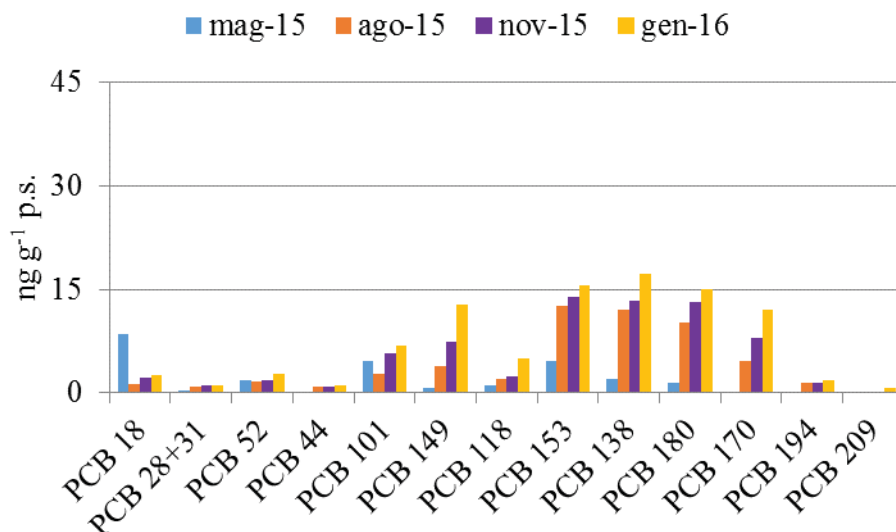


Fig. 2.18. Singoli congeneri di PCB nello zooplancton della frazione dimensionale  $\geq 850 \mu\text{m}$  nel 2015/16 nelle diverse stagioni. Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

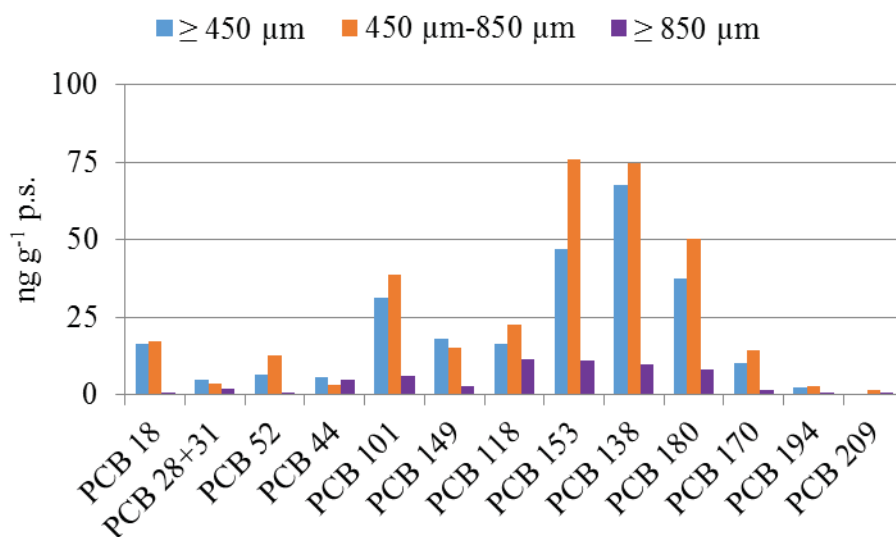


Fig. 2.19. Concentrazioni totali annuali dei diversi congeneri di PCB nelle diverse frazioni di zooplancton nel 2015/16. Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

La frazione di zooplancton intermedia è la più contaminata, ad eccezione del PCB 28+31, PCB 44 e PCB 149. Il valore più alto in assoluto è stato registrato per i PCB 153 e PCB 138. La frazione meno contaminata da PCB è sempre quella di dimensioni maggiori (Fig. 2.19).

L'andamento dei PCB totali (10 congeneri misurati sempre in tutti i campioni nella stazione di Ghiffa) e dei valori medi dell'anno (media delle concentrazioni di PCB totali misurati nelle quattro stagioni) a partire dal 2009 è riportato nella figura 2.20.

E' possibile osservare che il massimo della concentrazione di PCB totali è stato registrato nel 2011; le concentrazioni mediamente rimangono pressoché costanti negli anni osservati, in un intervallo compreso tra 41,5 e 89,1 ng g<sup>-1</sup> p.s. e non sembrano subire ampie oscillazioni stagionali, come si evince dalla deviazione standard.

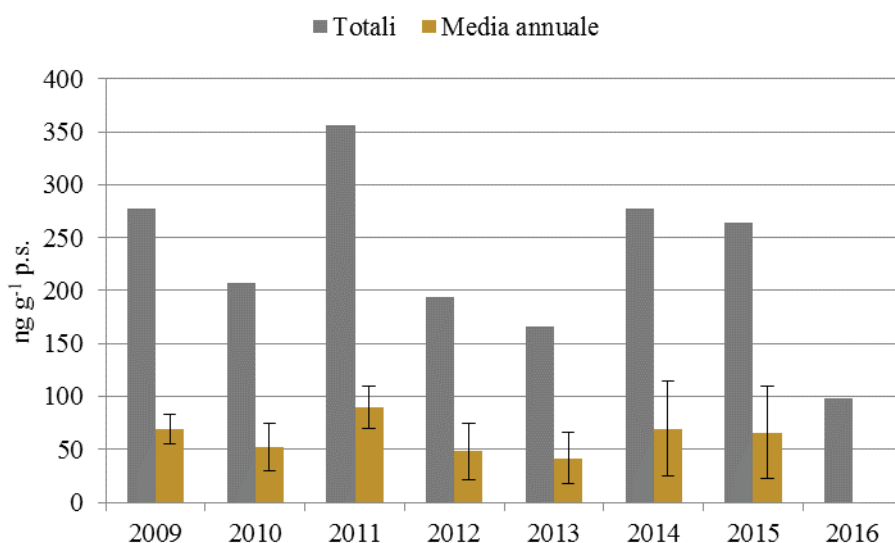


Fig. 2.20. Concentrazioni totali annuali e medie annuali (con deviazione standard) dei PCB nelle frazione  $\geq 450$   $\mu\text{m}$ . Dati espressi in ng g<sup>-1</sup> di peso secco.

Considerando i singoli congeneri, i profili negli anni sono simili; la concentrazione maggiore è del PCB 138, seguito dal PCB 153, PCB180 e dal PCB 101 (Fig. 2.21).

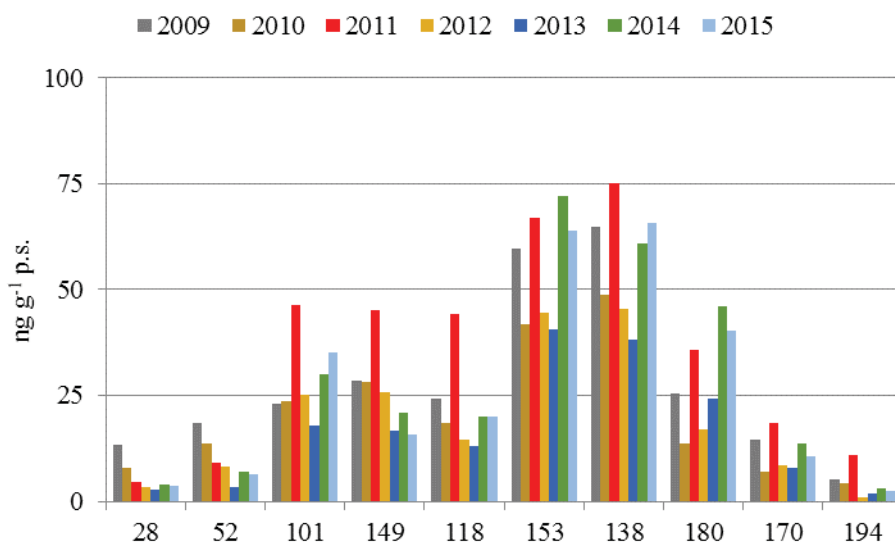


Fig. 2.21. Somma totale annuale dei singoli congeneri di PCB nello zooplancton della frazione dimensionale  $\geq 450 \mu\text{m}$  a partire dal 2009. Dati espressi in  $\text{ng g}^{-1}$  di peso secco.

L'analisi della dinamica stagionale della biomassa della frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  (Fig. 2.22) anche nel 2015 ha evidenziato l'atteso picco primaverile ( $113 \text{ mg m}^{-3}$ ), mentre nelle altre stagioni la biomassa è stata piuttosto contenuta con valori compresi tra  $5 \text{ mg p.s. m}^{-3}$ , in inverno, e  $20 \text{ mg p.s. m}^{-3}$  in autunno. Anche la frazione intermedia ( $450 \mu\text{m} - 850 \mu\text{m}$ ) ha mostrato variazioni stagionali simili sebbene la biomassa totale in primavera sia risultata circa 4 volte inferiore ( $28 \text{ mg p.s. m}^{-3}$ ), con una composizione leggermente diversa rispetto allo zooplancton di rete relativo alla frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  (Fig. 2.23). Infatti, sebbene il contributo percentuale alla biomassa del cladocero *Daphnia* sia pressoché identico nelle due frazioni ( $\geq 450 \mu\text{m} = 66\%$ ,  $450 \mu\text{m} - 850 \mu\text{m} = 61\%$ ) appaiono evidenti sia il diverso apporto dei diaptomidi, quasi doppio nella frazione intermedia (34%) che l'assenza di ciclopidi nella frazione compresa tra  $450$  e  $850 \mu\text{m}$ . In estate, i valori di biomassa totale sono risultati del tutto comparabili nelle frazioni  $\geq 450 \mu\text{m}$  e  $450 \mu\text{m} - 850 \mu\text{m}$  ( $12 \text{ mg p.s. m}^{-3}$  e  $9 \text{ mg p.s. m}^{-3}$ , rispettivamente), mentre diverso è stato il contributo relativo dei singoli taxa. Infatti, nella frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  *Daphnia*, i ciclopidi e i diaptomidi hanno contribuito pariteticamente per circa un terzo ciascuno, mentre nella frazione compresa tra  $450$  e  $850 \mu\text{m}$  a dominare sono stati sia *Daphnia* che i ciclopidi in egual misura. Infine, sia in autunno che in inverno, l'apporto dei singoli taxa è stato del tutto simile sia nella frazione  $450 \mu\text{m}$  che nella frazione  $450 \mu\text{m} - 850 \mu\text{m}$  con la dominanza dei diaptomidi a scapito di *Daphnia* in autunno, e viceversa la dominanza di *Daphnia* a scapito dei diaptomidi in inverno.

Molto diversi sono i risultati ottenuti dall'analisi microscopica del campione relativo alla frazione  $\geq 850 \mu\text{m}$  (Fig. 2.22 e 2.23). Infatti, sono stati osservati due picchi simili, in termini di valori assoluti di biomassa, in primavera ( $4,5 \text{ mg p.s. m}^{-3}$ ) e in estate ( $5,1 \text{ mg p.s. m}^{-3}$ ). Tuttavia, mentre in primavera il contributo percentuale alla biomassa riflette il picco di densità di popolazione di *Daphnia* (92%), in estate, rispecchia il picco di densità di popolazione dei due grossi cladoceri predatori (*Bythotrephes* e *Leptodora*), caratteristico di questo periodo dell'anno.

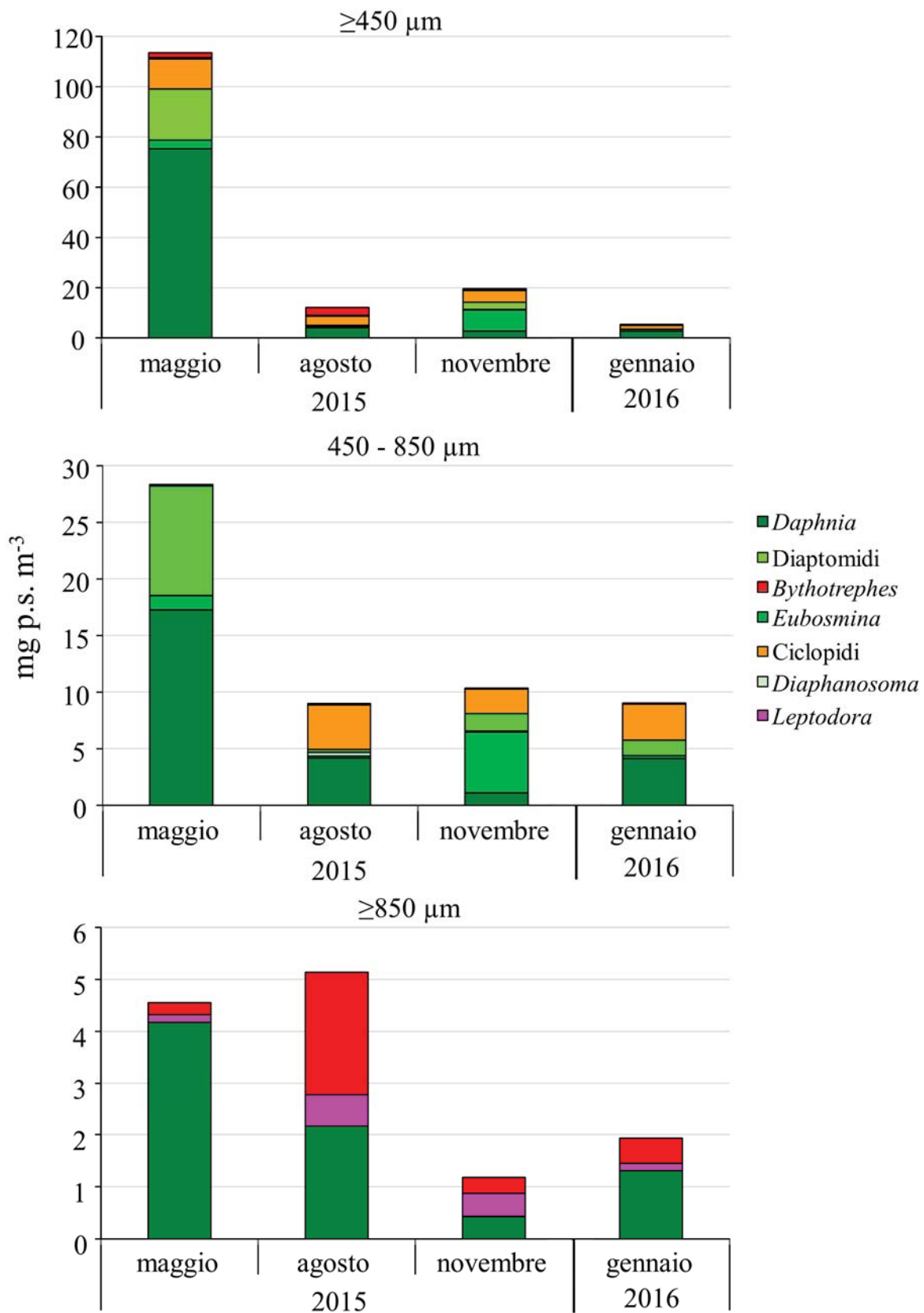


Fig. 2.22. Biomassa dei taxa zooplanctonici del Lago Maggiore nelle tre frazioni dimensionali nei quattro momenti stagionali.

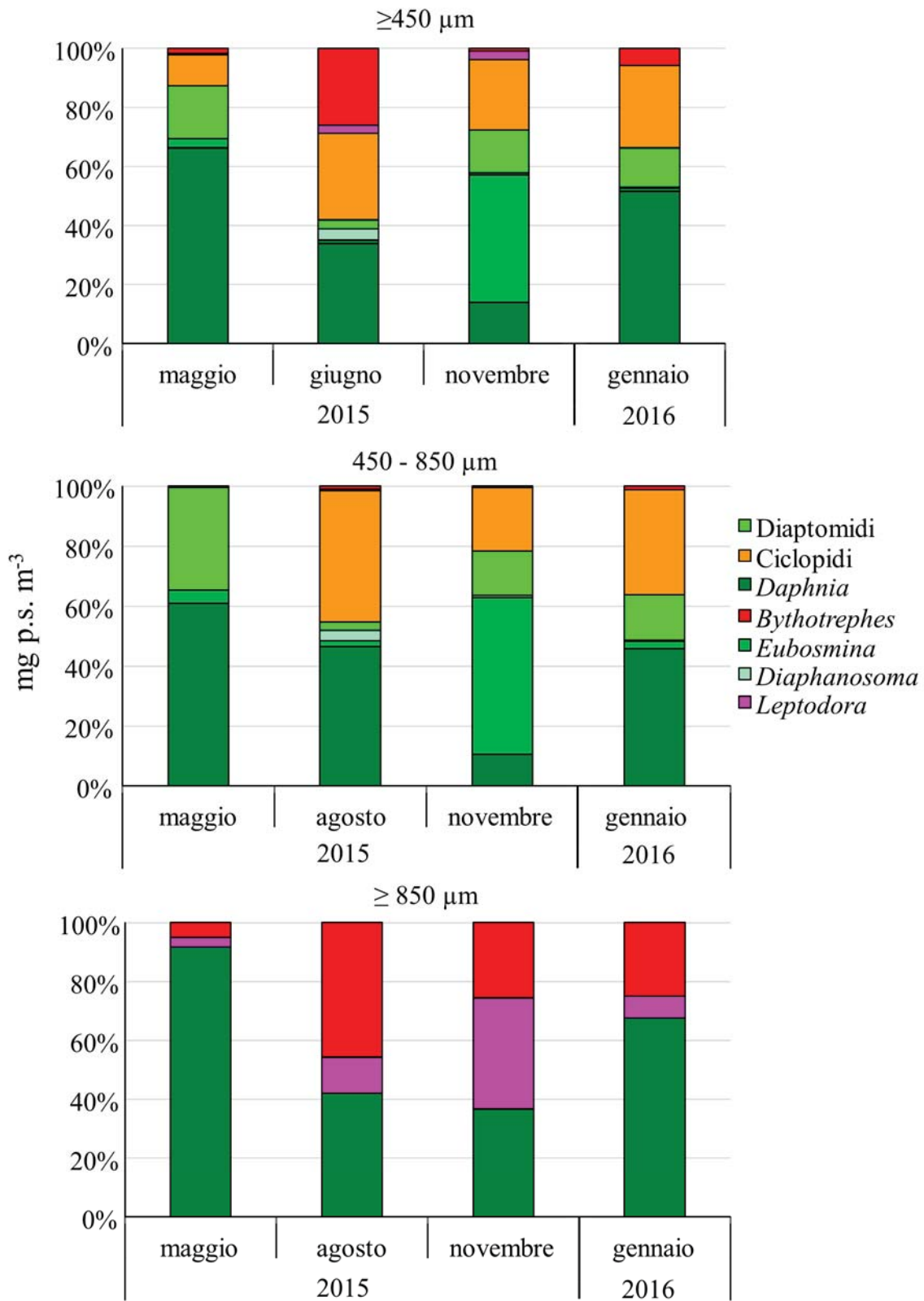


Fig. 2.23. Contributo percentuale alla biomassa dei taxa zooplanctonici del Lago Maggiore nelle tre frazioni dimensionali nei quattro momenti stagionali.

L'analisi dell'insieme dei dati finora raccolti ha permesso di sottolineare alcuni aspetti che si ripetono negli anni nelle singole frazioni dimensionali (Fig. 2.24).

La frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  è stata quella analizzata fin dal 2009, anno di inizio dell'attività di monitoraggio dei POPs (Persistent Organic Pollutants) nello zooplancton del Lago Maggiore. L'analisi dei dati ha evidenziato la presenza dei picchi primaverili, caratterizzati dalla predominanza del contributo relativo di *Daphnia*, con valori simili compresi tra 40-50 mg p.s.  $\text{m}^{-3}$ , ad eccezione della primavera del 2011 e del 2015 quando il valore di biomassa totale è risultato insolitamente alto, circa 2-3 volte il valore osservato nel resto degli anni. A partire dalla primavera del 2013 è stata introdotta anche l'analisi della frazione dimensionale  $\geq 850 \mu\text{m}$  che ha evidenziato la costante dominanza dei cladoceri predatori durante il periodo estivo. Infine, negli ultimi due anni è stata analizzata anche la frazione compresa tra 450 e 850  $\mu\text{m}$ , la quale eccetto che per l'assenza di *Bythotrephes* e *Leptodora*, sembra ricalcare i risultati relativi alla frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$ .

Anche quest'anno i risultati dell'analisi degli isotopi stabili hanno evidenziato il pattern stagionale osservato negli scorsi anni, ovvero la tendenza dei diversi pool delle frazioni dimensionali ad avere un *fingerprint* isotopico del carbonio ( $\delta^{13}\text{C}\%$ ) meno impoverito nel periodo estivo, e ad essere più arricchiti nell'isotopo pesante dell'azoto ( $\delta^{15}\text{N}\%$ ) nel periodo autunno-inverno. Inoltre, avendo ormai a disposizione una sufficiente quantità di dati è stato possibile elaborare la relazione tra concentrazione totale di DDT e PCB con il  $\delta^{15}\text{N}\%$  dei pool delle frazioni dimensionali analizzate. I risultati, riportati in figura 2.25, mostrano la correlazione lineare tra il contenuto dell'isotopo pesante dell'azoto e la concentrazione di inquinante, nelle tre frazioni dimensionali considerate. Le regressioni sono risultate tutte statisticamente significative, eccetto che per quella relativa al contenuto di  $\text{DDT}_{\text{tot}}$  nella frazione compresa tra 450 e 850  $\mu\text{m}$ , probabilmente a causa di un numero di dati a disposizione non sufficiente. A differenza di quanto è riportato in letteratura (Hobson et al. 2002; Fisk et al. 2001, 2003), dove la relazione tra  $\delta^{15}\text{N}\%$  e la concentrazione di un dato inquinante risulta essere la fotografia istantanea della catena alimentare, a partire dai livelli trofici più bassi fino a quelli più alti, noi abbiamo registrato l'evoluzione di una piccola porzione della catena alimentare del pelago lacustre nel tempo. Dato che, la relazione tra  $\delta^{15}\text{N}\%$  e inquinante si può concretizzare solo nel caso di input circa costante di inquinante in lago, abbiamo deciso di non inserire nell'elaborazione dei dati quelli relativi al contenuto di  $\text{DDT}_{\text{tot}}$  nella frazione  $\geq 450 \mu\text{m}$  del 2009, in quanto ritenuto anno anomalo (Fig. 2.10). I risultati delle regressioni dimostrano che anche all'interno di una piccola porzione della catena alimentare del pelago lacustre, quale è il popolamento zooplanctonico, sussiste biomagnificazione, quest'ultima evidenziata dalla maggior concentrazione di inquinante nei campioni autunnali-invernali (simboli in grigio) più arricchiti nell'isotopo pesante dell'azoto.



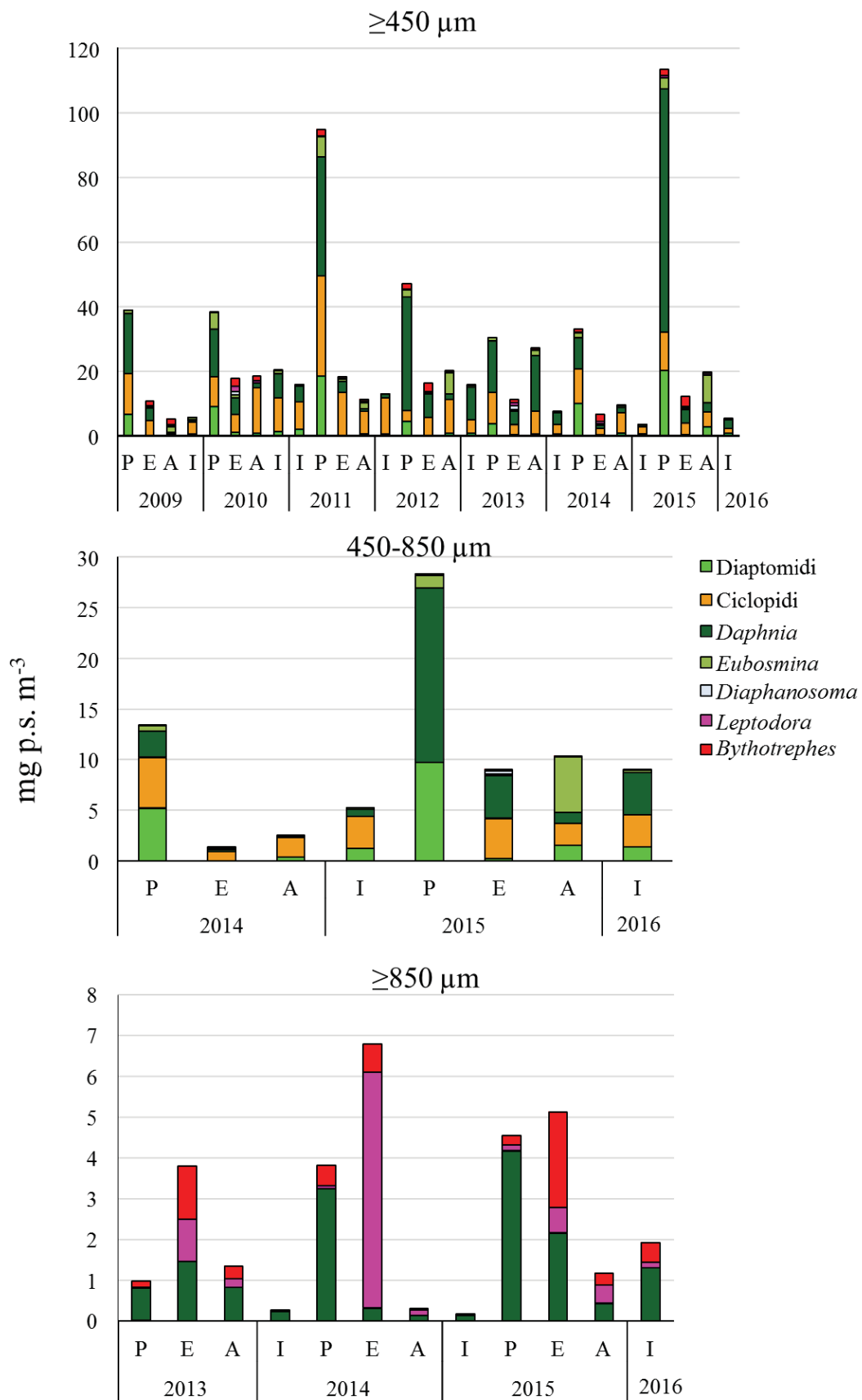


Fig. 2.24. Variazioni stagionali della biomassa dei taxa zooplanctonici del Lago Maggiore nelle tre frazioni dimensionali.

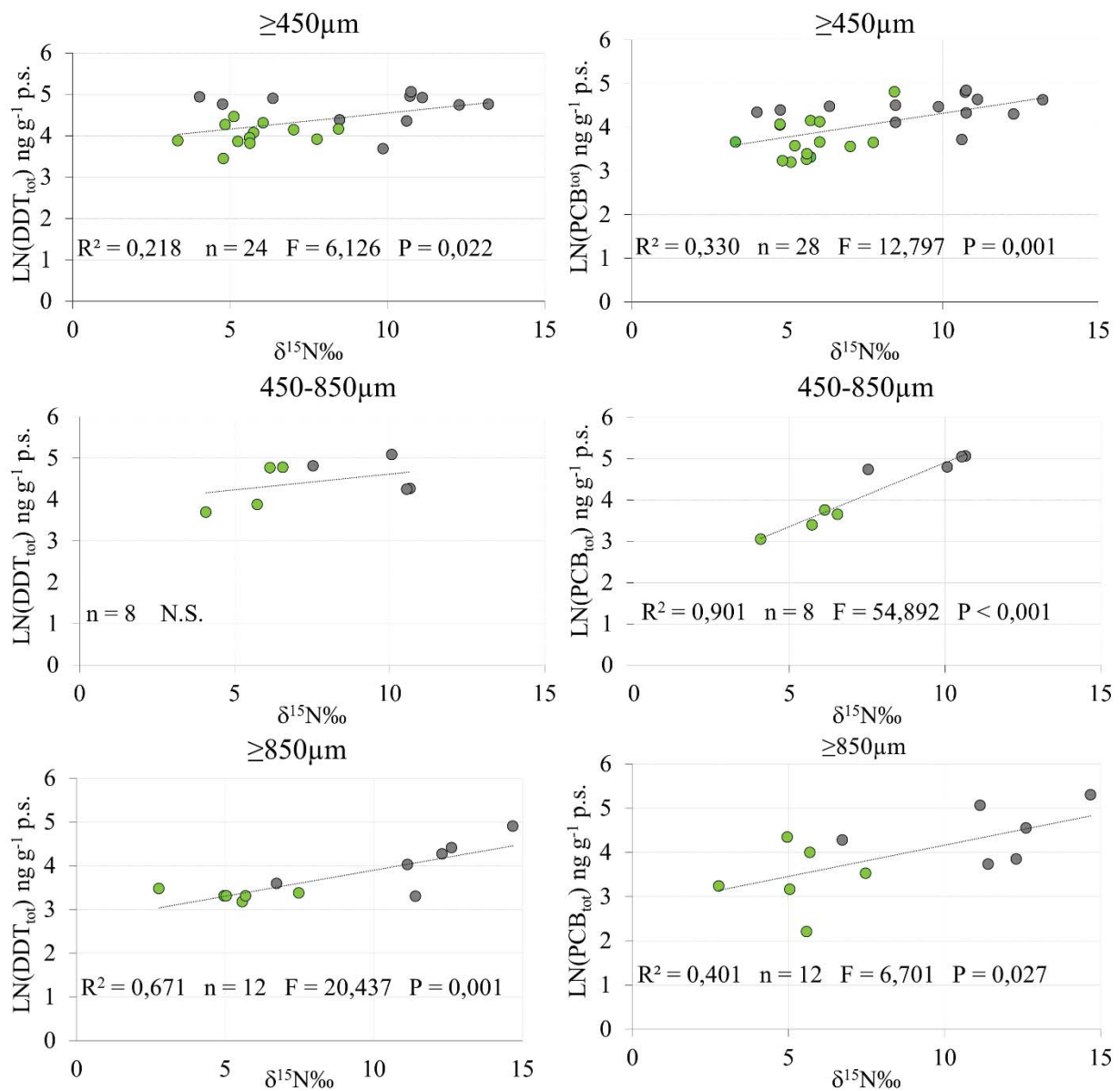


Fig. 2.25. Regressioni lineari tra concentrazione di inquinante, espressa come logaritmo naturale e  $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$  nelle tre frazioni dimensionali. I simboli in grigio rappresentano i campioni prelevati in autunno e in inverno, mentre quelli verdi i campioni primaverili ed estivi. Nei singoli grafici è anche riportata la significatività statistica della regressione lineare.

### Bibliografia

- Bjorkman, B., & Shapiro, J. (1986). Measurement of the lipid ovary index on stored zooplankton samples. *Limnology and Oceanography*, 31: 1138-1139.
- Fisk, A. T., Hobson, K. A., & Norstrom, R. J. (2001). Influence of chemical and biological factors on trophic transfer of persistent organic pollutants in the Northwater Polynya marine food web. *Environmental Science & Technology*, 35: 732-738.
- Fisk, A. T., Hoekstra, P. F., Gagnon, J. M., Duffe, J., Norstrom, R. J., Hobson, K. A., Kwan M., & Muir, D. C. (2003). Influence of habitat, trophic ecology and lipids on, and spatial trends of, organochlorine contaminants in Arctic marine invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 262: 201-214.
- Hobson, K. A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J. M., & Fortier, M. (2002). A stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49: 5131-5150.
- Wetzel, R. G. (2012). Lipids in freshwater ecosystems. M. T. Arts, & B. C. Wainmann (Eds.). Springer Science & Business Media, 338 pp.