

Dipartimento di Scienze Ambientali “G. Sarfatti”

Università degli Studi di Siena



***STUDIO DEL FENOMENO DI FORMAZIONE DI  
SCHIUME NELLE ACQUE DI MARE ANTISTANTE  
IL TRATTO DI COSTA COMPRESO NEL  
TERRITORIO COMUNALE DI ROSIGNANO  
MARITTIMO***

**Responsabile Scientifico:  
Prof. Silvano Focardi**

**Risultati Conseguiti**

# Problematiche alla base del progetto

- Il fenomeno dell'insorgenza periodica delle schiume dense e persistenti, particolarmente evidenti durante il periodo estivo, è stato oggetto di interesse da parte dell'Amministrazione comunale di Rosignano Marittimo.
- Studi di ricerca condotti da parte dell'Università degli Studi di Firenze (2000) e di agenzie regionali (ARPAT, 2004) hanno fornito risultati importanti tuttavia restano ancora aperte alcune problematiche.
- La presenza consistente di carbonato di calcio, lipidi e surfattanti riscontrata in questi studi, non sembra di una portata sufficiente da determinare il fenomeno nelle intensità riscontrate.
- Una possibile concausa individuata è stata messa in relazione alla crescita di batteri filamentosi, in particolare actinomiceti. Anche in questo caso, tuttavia, i livelli riscontrati non hanno permesso un'evidente correlazione con il fenomeno.

## ■ PREMESSA

- Il Comune di Rosignano Marittimo da anni è interessato dall'insorgere periodico di schiume dense e persistenti lungo la fascia costiera di sua competenza, ricorrenza particolarmente evidente durante il periodo estivo con conseguenti ripercussioni negative sull'economia locale.
- Nel corso degli anni sono stati condotti, anche da parte di enti di ricerca (Università degli Studi di Firenze) e di agenzie regionali (ARPAT) analisi e studi mirati alla comprensione del fenomeno allo scopo di realizzare interventi gestionali finalizzati al contenimento dello stesso. Nell'ambito di questi studi sono stati presi in considerazione campioni d'acqua prelevati dalle formazioni schiumose presenti all'interno del canale di comunicazione delle acque reflue dell'impianto con quelle marine, *Fosso Bianco*. I risultati ottenuti dall'Università di Firenze hanno evidenziato la presenza consistente di carbonato di calcio, lipidi e surfattanti in concentrazioni che, sebbene significative, non sembravano tali da determinare il fenomeno nelle intensità riscontrate. Una possibile concausa individuata nello studio era relazionata alla crescita di batteri filamentosi, in particolare batteri attinomiceti. Anche in questo caso, tuttavia, i livelli riscontrati non hanno permesso un'evidente correlazione con il fenomeno.

# Progetto sviluppato- Gruppo di ricerca

L'attività è stata svolta nell'ambito di una convenzione per le attività di ricerca congiunta tra il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'università degli Studi di Siena ed il Polo Universitario Grossetano (Centro ricerche ecologia acquacoltura e pesca, Ecolab).

- **GRUPPO DI RICERCA CONGIUNTO:**
- Dr. Monia Renzi, *PhD* ricercatore, coordinatore di progetto;
- Dr. Milva Pepi, *PhD* ricercatore, responsabile del settore microbiologico;
- Dr. Guido Perra, *PhD*, responsabile ricerca Aree Marine Protette;
- Dr. Arianna Lobianco, *PhD*, microbiologia;
- Dr. Andrea Giovani, *PhD* student, contaminazione di sistemi costieri e macrofite;
- Dr. Elena Mari, contrattista, chimica acque;
- Dr. Marcella Ruta, *PhD*, microbiologia;
- Dr. Valerio Volpi, *PhD*, assegnista, GIS e telerilevamento;
- Dr. Cristiana Guerranti, *PhD*, assegnista, contaminazione del biota;
- Dr. Michela Mariottini, *PhD*, tecnico strutturato;
- Sig.ra Marzia Quaglia, tecnico strutturato;
- Sig.ra Francesca Cossu, segreteria.

Il presente progetto è frutto di un approccio multidisciplinare che ha previsto l'integrazione di competenze e dati provenienti dai maggiori enti locali



I risultati presentati sono stati precedentemente discussi e condivisi con i seguenti *partner*:

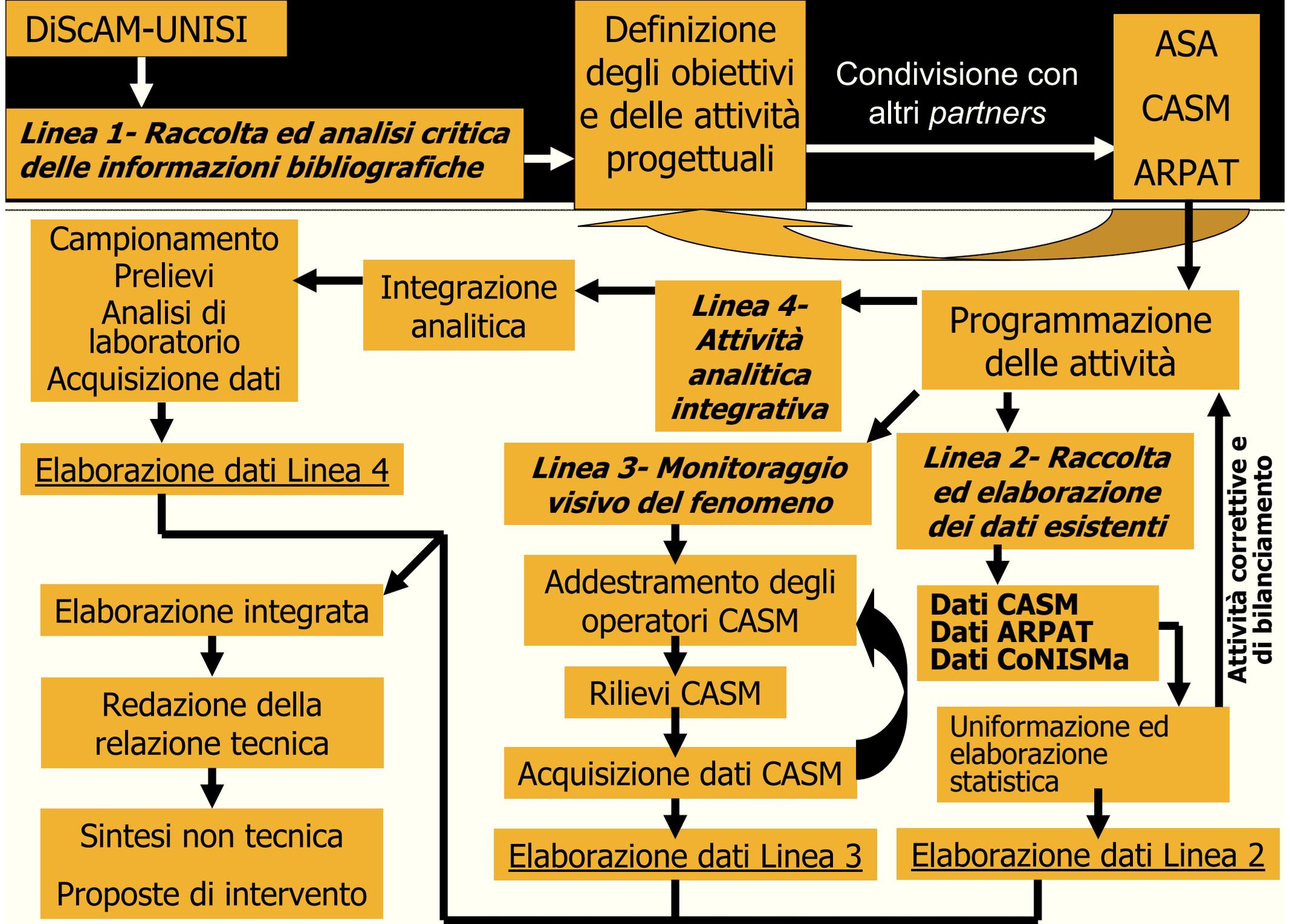
- 1) Agenzia Servizi Ambientali SpA di Livorno – Gestione impianti di depurazione (ASA);
- 2) Agenzia Regionale Protezione Ambiente Toscana (ARPAT), Dipartimento provinciale di Livorno ed Area Mare;
- 3) Consorzio Nazionale Interuniversitario delle Scienze Applicate al mare (CoNISMa).

Le attività di campionamento e prelievo schiume sono state effettuate dai volontari del Centro di Assistenza Soccorso in Mare (CASM) di Rosignano.



# Articolazione del gruppo di lavoro

- È stata creata una piattaforma operativa che coinvolgesse i rappresentanti delle strutture suddette in attività di progettazione allo scopo di sviluppare una sinergia volta a consentire la costruzione di un percorso conoscitivo condiviso con procedure concordate ed a favorire lo scambio, l'integrazione e la rielaborazione critica di dati attuali e pregressi di proprietà di ogni singolo *partner*.
- Le attività condotte dal DiScAm sono state svolte in collaborazione con l'Agenzia Servizi Ambientali SpA di Livorno – Gestione impianti di depurazione (ASA), l'Agenzia Regionale Protezione Ambiente Toscana, Dipartimento provinciale di Livorno ed ARPAT Area Mare (ovvero Area per la Tutela dell'ambiente Marino, Lagunare, Lacustre, Costiero e dell'ittiofauna), i volontari del Centro di Assistenza Soccorso in Mare (CASM) di Rosignano. Al progetto hanno preso parte in forma di collaborazione occasionale anche altri *partners* (Conisma, Diving ecc).
- Nella diapositiva a seguire è riassunto schematicamente il gruppo di lavoro e le interconnessioni occorse tra *partners* nelle varie fasi delle attività



DiScAM-UNISI

**Linea 1- Raccolta ed analisi critica delle informazioni bibliografiche**

Definizione degli obiettivi e delle attività progettuali

Condivisione con altri partners

ASA  
CASM  
ARPAT

Campionamento  
Prelievi  
Analisi di laboratorio  
Acquisizione dati

Integrazione analitica

**Linea 4- Attività analitica integrativa**

Programmazione delle attività

Elaborazione dati Linea 4

**Linea 3- Monitoraggio visivo del fenomeno**

**Linea 2- Raccolta ed elaborazione dei dati esistenti**

Elaborazione integrata

Addestramento degli operatori CASM

Dati CASM  
Dati ARPAT  
Dati CoNISMa

Attività correttive e di bilanciamento

Redazione della relazione tecnica

Rilievi CASM

Uniformazione ed elaborazione statistica

Sintesi non tecnica  
Proposte di intervento

Acquisizione dati CASM

Elaborazione dati Linea 3

Elaborazione dati Linea 2

# Obiettivi del progetto

- **1-Individuazione delle possibili cause**, con particolare riguardo alla loro origine (*i.e.* antropica, naturale, mista); alla presenza di fattori sinergici; alla interferenza di dinamiche globali e/o esterne al sistema di studio.
- **2-Valutazione dell'eventuale impatto dello scarico proveniente dal *Fosso Bianco*** sulla qualità delle acque marino-costiere con particolare riferimento all'insorgenza delle schiume.
- **3- Individuazione di possibili interventi mirati al contenimento del fenomeno.**

# Contaminazione degli ecosistemi acquatici

Le dinamiche che regolano la dispersione dei contaminanti in ecosistemi acquatici sono basate su fenomeni occorrenti a diversi livelli di scala geografica:

- **locale**
- **di bacino**
- **globale**

Per analizzare le cause del fenomeno in atto nell'area di studio, il progetto è stato articolato su quattro diverse linee di ricerca.

# Articolazione delle linee di ricerca

- Linea 1- Raccolta ed analisi critica delle informazioni bibliografiche;
- Linea 2- Raccolta ed elaborazione dei dati esistenti;
- Linea 3- Monitoraggio visivo del fenomeno;
- Linea 4- Attività analitica integrativa.

# Dettaglio attività linea 1

- ***Linea 1- Raccolta ed analisi critica delle informazioni bibliografiche.***

La principale difficoltà nelle attività di ricerca in ambiente marino-costiero è rappresentata dal fatto che le dinamiche coinvolte nella manifestazione di un fenomeno ecologico sono spesso complesse ed implicano diversi comparti ambientali in grado di autodeterminarsi reciprocamente. La comprensione di questi processi non può esulare dalla conoscenza delle molteplici relazioni reciproche che governano l'area in esame in un approccio quanto più possibile multidisciplinare e sistemico. Questo implica la necessità di acquisire dati disponibili riguardo le specifiche dinamiche del sistema di studio. In questo senso, la ricerca bibliografica condotta è stata finalizzata all'acquisizione, valutazione ed analisi di lavori pregressi disponibili in rete e nelle banche dati bibliotecarie allo scopo di ottenere un primo quadro conoscitivo quanto più completo possibile che consentisse lo sviluppo di programmi di lavoro ed ipotesi sperimentali idonee alla realtà specifica. Le informazioni ricercate hanno riguardato in sintesi: -le dinamiche connesse alla specifica problematica del sistema marino costiero mediterraneo ed in particolare del sistema marino da Livorno a Scarlino; -le principali caratteristiche correntometriche, morfologiche, sedimentologiche, meteorologiche, idrometriche del bacino; -le relazioni con i bacini imbriferi terrestri ed i principali corpi fluviali; -le biocenosi e le associazioni presenti, -l'uso prevalente del territorio le principali fonti di impatto antropico presenti, lo sfruttamento delle risorse dell'area di studio; -i dati relativi ai livelli di contaminazione ambientale; -gli indici di qualità delle acque.

Queste informazioni di cui si riporta un riepilogo sintetico hanno consentito di individuare zone critiche e zone di controllo, strategie sperimentali e di monitoraggio agevolando l'interpretazione critica dei risultati.

# Dettaglio attività linea 2

- **Linea 2- Raccolta ed elaborazione dei dati esistenti.**

Dal confronto tra i membri del gruppo di lavoro è emersa subito l'esistenza, seppure in forma estremamente frammentata e disomogenea di un gran numero di dati analitici sull'area in esame sia per quanto riguarda le matrici ambientali (sedimenti, colonna d'acqua) che il biota (molluschi bivalvi, fito e zooplancton).

Sono stati messi a disposizione da parte dell'ASA i dati analitici relativi al funzionamento, alla manutenzione ed alle procedure di controllo delle emissioni dell'impianto di depurazione dei reflui civili. L'ARPAT ha, invece, fornito i dati acquisiti nell'ambito delle campagne di monitoraggio effettuate in ottemperanza delle disposizioni relative alla Legge n. 152/99<sup>[1]</sup>, al controllo delle acque per la balneazione ed al monitoraggio effettuato nell'area marina prospiciente la zona industriale *Solvay* (osservatorio).

Questa fase ha previsto la raccolta da parte del DiScAm del materiale fornito da tutti i *partners*, l'uniformazione dei dati rispetto all'unità di misura ed al periodo storico, l'inserimento per ogni stazione di prelievo della corrispondente coordinata spaziale, la creazione di un *database* sintetico ed omogeneo secondo criteri *standard* che consentisse di effettuare elaborazioni statistiche e descrittive ritenute di interesse per la specifica indagine.

- Nota <sup>[1]</sup> Il Decreto Ministeriale n. 152/99 è stato attualmente integrato e completamente sostituito dal D.L.vo n. 152/06, noto anche come testo unico sull'ambiente. Si è deciso, tuttavia di lasciare a riferimento il precedente decreto perché i dati forniti da ARPAT sono stati acquisiti con le modalità e secondo i parametri in esso previsti.

# Sintesi dei principali dati acquisiti da ARPAT e ASA

I risultati riportati per questa linea di ricerca sono stati acquisiti dalle seguenti attività di monitoraggio:

- Monitoraggio degli scarichi del depuratore (ASA);
- Monitoraggio delle acque in relazione al D.M. n. 152/99 (attuale D.L.vo 152/06);
- Monitoraggio delle acque destinate alla balneazione;
- Monitoraggio degli scarichi *Solvay* (osservatorio, D.M. 979/82);
- Analisi delle stazioni Bandiera Blu.

# Dettaglio attività linea 3

- ***Linea 3- Monitoraggio visivo del fenomeno.***

Le segnalazioni ottenute fino a questo momento riguardo il monitoraggio del fenomeno sono state sporadiche e puntiformi e non si hanno coordinate geografiche né riferimenti a condizioni meteomarine che potrebbero essere utili per comprendere le dinamiche di formazione e spostamento delle masse schiumose nonché di eventuali ricorrenze stagionali.

Si è deciso, pertanto, di elaborare un questionario da sottoporre ad osservatori volontari del Centro di Assistenza Soccorso in Mare (CASM) di Rosignano allo scopo di monitorare visivamente il fenomeno e di acquisire dati con cadenza possibilmente giornaliera.

# Dettaglio attività linea 4

## ■ **Linea 4- Attività analitica integrativa.**

- Si è concordato di integrare le indagini effettuate periodicamente da ARPAT con analisi aggiuntive condotte su campioni di acqua, schiuma, sedimento ed organismi sia su stazioni interne all'area di studio che su aree di controllo opportunamente selezionate ed indicative delle dinamiche generali del bacino in cui l'area stessa è inserita. In particolare si è provveduto ad effettuare:
- 1) analisi sulla colonna d'acqua nella fascia costiera da Rosignano Solvay a Castiglioncello, in una zona solitamente interessata dalle formazioni schiumose secondo quanto riportato dai dati CASM (2008) ed in stazioni aggiuntive non comprese nel piano *standard* di monitoraggio ARPAT. Nel corso del 2009 sono state effettuate due campagne estese primaverile (aprile) ed estiva (luglio) allo scopo di effettuare perlievi e misure su 66 stazioni localizzate nell'area di studio a tre quote batimetriche di profondità. Queste indagini sono state effettuate dopo opportune verifiche reciproche ed adattamenti secondo un protocollo analitico ed operativo paragonabile. Lo scopo è stato quello di consentire l'elaborazione di cartografie georeferite dei parametri ritenuti maggiormente significativi. Su queste stazioni sono state condotte, ove possibile, le seguenti analisi: -principali descrittori chimico-fisici delle masse d'acqua; -principali descrittori microbiologici; -contaminanti ambientali; -principali macronutrienti; -ricerca di proliferazioni microalgali e/o di mucillagini.
  - 2) analisi chimico-fisiche nei campioni di acque e schiume prelevati dagli operatori volontari CASM e DiScAm durante le manifestazioni acute del fenomeno.
  - 3) studi microbiologici di dettaglio finalizzati all'individuazione di ceppi batterici filamentosi ed idrocarburo degradanti per chiarire la possibile origine del fenomeno legata alla loro presenza.
  - 4) selezione e caratterizzazione delle aree di controllo, campionamento delle matrici ambientali (acqua, sedimento, organismi, schiuma se presente) ed analisi chimica dei principali parametri. Le aree di controllo individuate come di interesse specifico sono state: controllo 1 (C1, stazione a basso impatto antropico presunto senza evidenza del fenomeno), controllo 2 (C2, stazione ad impatto antropico elevato in cui non è documentata la manifestazione recente del fenomeno), controllo 3 (C3, stazioni interne all'area di indagine). Su queste matrici sono state effettuate indagini chimico-fisiche e microbiologiche. Si è individuato, in particolare, le isole delle Aree Marine Protette dell'Arcipelago Toscano (C1); l'area marina costiera di Orbetello e l'Isola di Giglio e Giannutri (C2); le stazioni di Bandiera Blu localizzate a Sud del comune di Rosignano Marittimo (C3). I dati relativi ai controlli sono stati inseriti in un unico *database* sintetico per effettuare le analisi statistiche.

# Risultati conseguiti per linea di ricerca

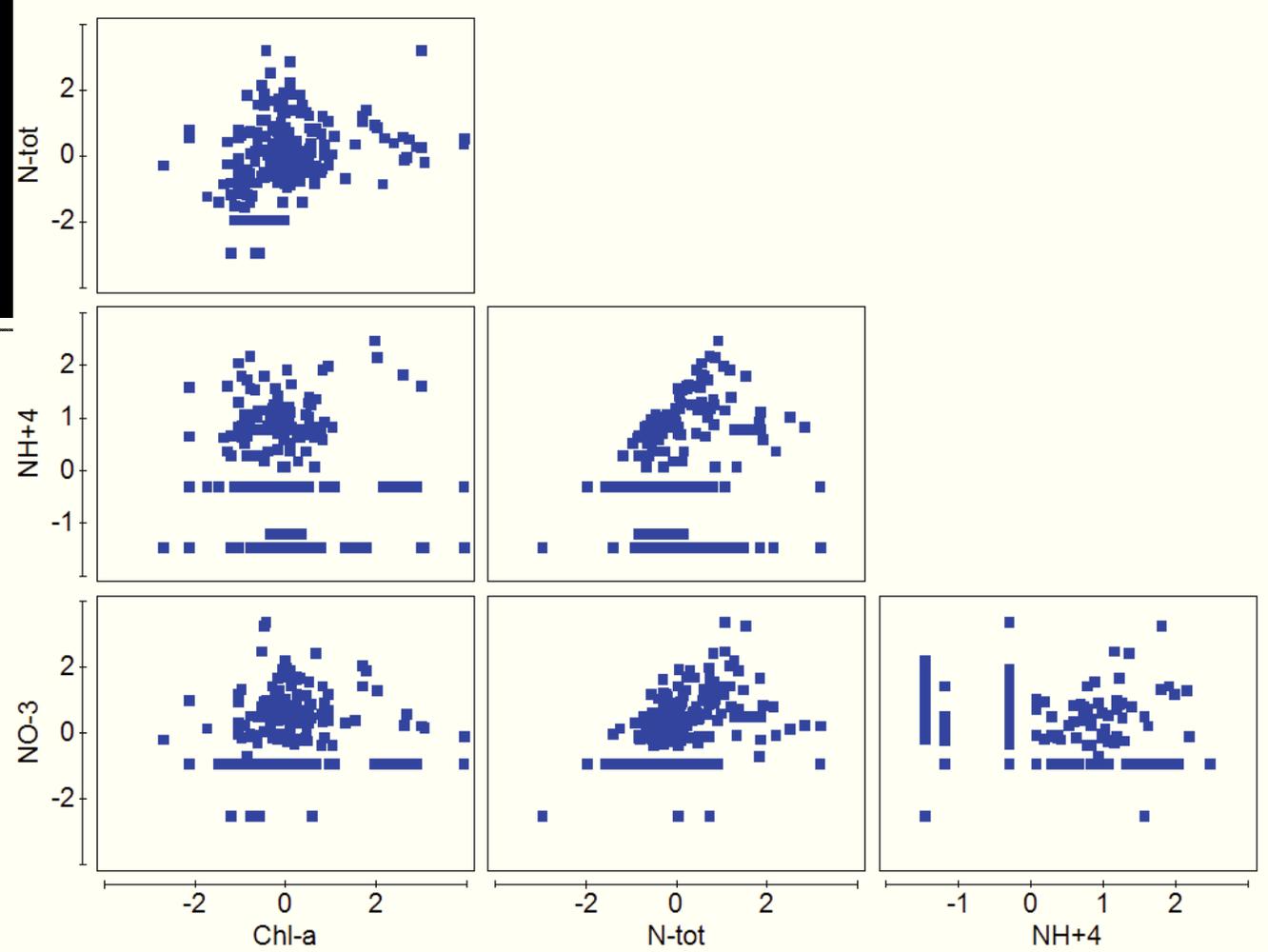
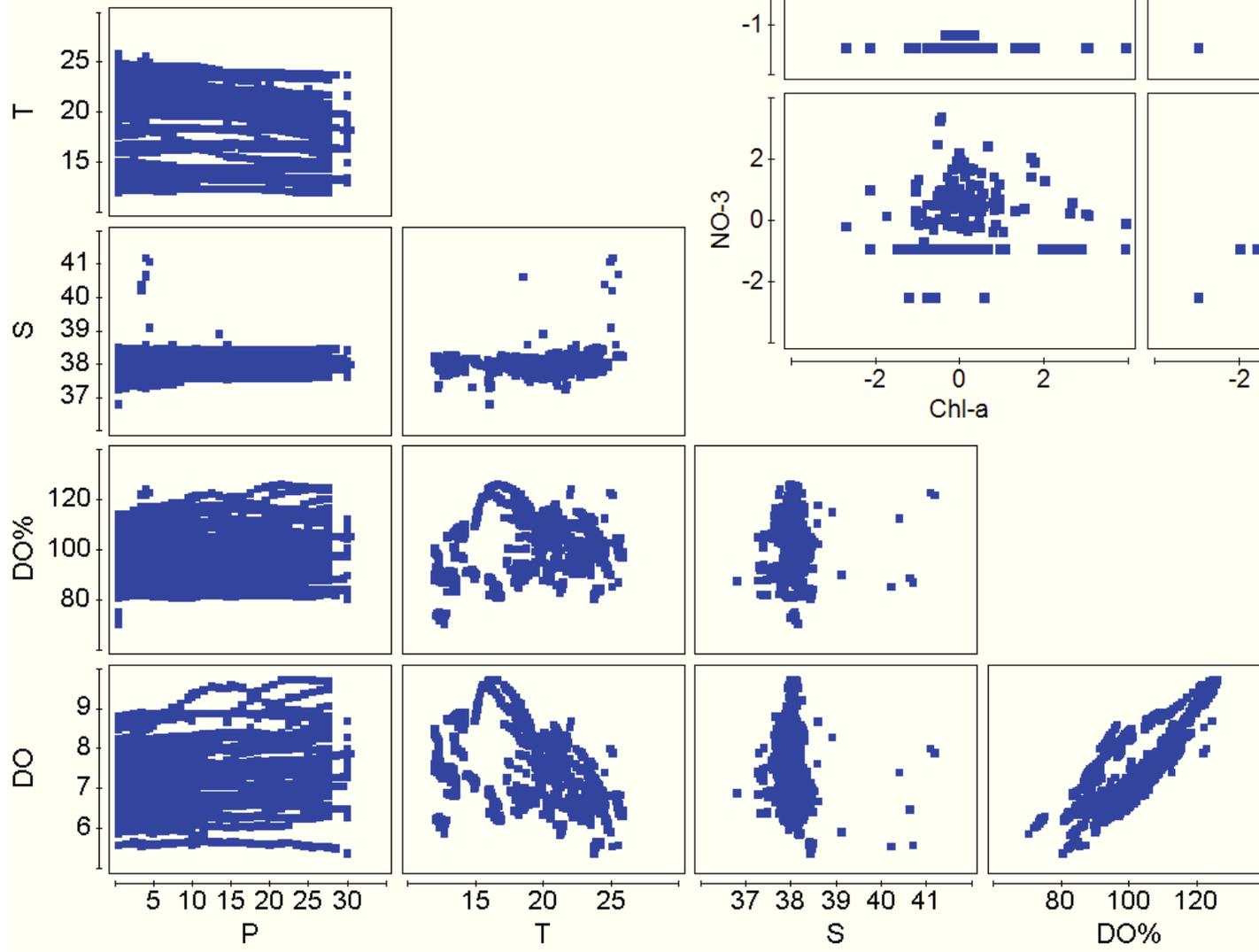
- I risultati riportati per questa linea di ricerca sono stati acquisiti dalle seguenti attività di monitoraggio:
  - Monitoraggio degli scarichi del depuratore (ASA);
  - Monitoraggio delle acque in relazione al D.M. n. 152/99 (attuale D.L.vo 152/06);
  - Monitoraggio delle acque destinate alla balneazione;
  - Monitoraggio degli scarichi Solvay (osservatorio, D.M. 979/82);
  - Analisi delle stazioni Bandiera Blu

# Principali problematiche

- L'Agencia Servizi per l'Ambiente ha, invece, fornito le analisi effettuate all'impianto di depurazione ed, in particolare, i risultati relativi allo scarico a mare (con e senza il trattamento di ossigenazione) e quelli relativi all'ingresso in Aretusa. Ha inoltre messo a disposizione i dati delle portate medie dello scarico per l'anno 2007. Allo scopo di creare un *database* sintetico ed omogeneo, i dati raccolti sono stati uniformati per unità di misura e periodo storico, si è effettuato il controllo di qualità eliminando gli *outlayers*. Ove possibile, si è inserito per ogni stazione di prelievo, la corrispondente coordinata spaziale. Per poter effettuare elaborazioni statistiche significative si è proceduto escludendo per ogni frequenza campionaria i parametri rilevati con frequenza difforme dalla frequenza campionaria stessa. Le variabili per le quali i livelli misurati sono risultati essere inferiori al limite di rilevabilità del metodo, sono state poste uguali alla metà dell'ultima cifra significativa con cui sono stati riportati i dati. Per le metodiche analitiche con le quali sono stati acquisiti e validati i dati ARPAT trattati nel presente studio si rimanda al sito ufficiale ARPAT ed alle specifiche normative cui questo Ente fa riferimento. Dati relativi a matrici diverse sono stati trattati separatamente come pure dati con frequenze campionarie diverse.
- La maggiore problematica riscontrata nel caso della elaborazione dei dati ARPAT è stata quella relativa alla sporadicità di alcuni rilievi nel contesto generale del programma di campionamento. In alcuni casi sono stati riscontrati malfunzionamenti periodici delle sonde da campo che hanno determinato la perdita di acquisizione dei dati creando *hotspot* non analizzabili. Alcuni parametri relativi alla colonna d'acqua, seppure di interesse specifico, sono stati acquisiti solo negli strati superficiali e mai in quelli profondi (nutrienti). I campioni superficiali sono stati pertanto distinti da quelli profondi allo scopo di effettuare un'analisi statistica delle dinamiche temporali dei nutrienti nelle stazioni superficiali limitando ai profili verticali delle masse d'acqua soltanto le analisi relative ai parametri macrodescrittori.
- Un'altra problematica, purtroppo non di facile soluzione è stata la variazione da parte di ARPAT del *set* parametrico di acquisizione nel corso del tempo. Questo fatto è dovuto a modificazioni progressive del quadro normativo nazionale con conseguenti variazioni nelle richieste da parte dell'organo ministeriale. La necessità di rispondere a normative diverse (es: balneabilità; 152/99, D.M. 979/82) ha portato ARPAT ad acquisire parametri diversi in aree diverse rendendo impossibile la creazione di un *database* unico se non per pochi parametri macrodescrittori.

# RISULTATI

# Caratteristiche chimico-fisiche delle acque



Periodo  
1999-2009

# Risultati relativi alla linea 2

- In questa diapositiva sono riassunti i risultati relativi alle analisi statistiche condotte sui dati acquisiti. I dati utilizzati sono relativi al periodo 1999-2009. Si riportano, in particolare, le correlazioni delle principali variabili indicatrici delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque.

## ***Risultati ottenuti dalle analisi dei dati ARPAT-ASA sulle acque del bacino di studio***

- Si osserva la **dipendenza** delle variabili considerate in relazione **all'anno di prelievo**;
- Emerge una chiara dipendenza, considerando solo i **macronutrienti**, rispetto alla **stagione ed all'anno di prelievo**;
- Si osserva, tuttavia, una chiara dipendenza anche rispetto alla **stazione di campionamento**;
- Si evidenzia la presenza di **variazioni costa-largo e relative alla profondità in particolare per la zona Solvay**;
- Le anomalie riscontrate sembrano spostarsi da sud a nord in relazione alle **correnti prevalenti**.

- I controlli di questo studio sono rappresentati dalle aree di riserva dell'arcipelago toscano.
- In particolare, sono state condotte indagini relative alla formazione delle schiume ed alle caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche di acque e sedimenti provenienti dalle sette isole dell'Arcipelago Toscano (freccia).

# Caratteristiche delle acque in aree di controllo



Le frecce indicano le isole campionate.  
A lato della mappa generale il dettaglio delle stazioni di prelievo (cerchiate in rosso).

Il prelievo è stato effettuato due volte all'anno in ogni stazione nel periodo 2006-2008 ed i dati acquisiti sono stati analizzati congiuntamente alle campagne pregresse 2004-2006 condotte dallo stesso gruppo di ricerca.

# ***Risultati relativi alle aree di controllo***

- L'analisi statistica ha evidenziato che i controlli selezionati rappresentano delle **aree di effettiva non contaminazione**;
- Il confronto tra le variabili relative alla colonna d'acqua evidenzia una netta distinzione con l'area di studio e costituiscono, pertanto, **ottimi controlli**;
- E' da notare la presenza di **mucillagini di fondo** (tra -15 e -20 m) nel periodo di massima fioritura;
- E' stata **evidenziata contaminazione, seppure modesta, da idrocarburi anche nelle aree a riserva integrale** (*no-take, no-access zone*) confermata anche dalla presenza di batteri idrocarburo-degradanti;
- I risultati ottenuti **suggeriscono l'esistenza di dinamiche che coinvolgono il bacino considerato nel suo insieme.**

# Quanto osservato è attribuibile alla presenza di impatti *hot-spot* locali (diportismo) ed agli apporti dei principali corsi d'acqua superficiali (dati di seguito riportati)

| Fiume   | Portata media alla foce | Sviluppo dell'asta fluviale | Superfici e del bacino | Caratteristiche geologiche del substrato   | Carico organico potenziale | Carico trofico teorico |       | Classific. alla foce D. Lgs. 152/06  |
|---------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|--|----------------------------|------------------------|-------|--|
|         | m <sup>3</sup> /s       | km                          | km <sup>2</sup>        |  | AbEq                       | tN                     | tP    |  |
| Albegna | 15                      | 66                          | 748                    | Anomalia geologica del Mt. Amiata  | 220219                     | 2934                   | 1478  | IBE Classe III (alterato)  |
| Arno    | 110                     | 241                         | 9047                   | Rocce facilmente erodibili con elevato trasporto solido                                | 7477781                    | 34951                  | 13499 | LIM livello 4 (scarso) con stazioni pessime                                    |
| Cecina  | 15                      | 78                          | 765                    | Elevata conducibilità delle acque  | 114168                     | 1873                   | 958   | LIM livello 3 (sufficiente) con valori di cloruri e solfati mediamente elevati |
| Magra   | 40                      | 62                          | 990                    | Pianura intensamente coltivata   | 163762                     | 1644                   | 645   | SECA classe 2 (buono)  |
| Ombrone | 32                      | 161                         | 4422                   | Maggior portata di solidi sospesi dei fiumi toscani, anomalia geologica Amiatina da Hg | 1157308                    | 14909                  | 7383  | LIM, IBE (classe 2) livello buono  |

*Dati ARPAT 2005*

- Fenomeni di contaminazione che interessano il bacino possono essere attribuibili agli apporti dei principali corsi fluviali presenti.
- In particolare, si riportano in questa diapositiva i carichi di nutrienti apportati al sistema dai principali fiumi secondo quanto pubblicato da ARPAT nel 2005.

# Risultati relativi al monitoraggio visivo – linea 3

- Il risultato più evidente tra quelli ottenuti dal monitoraggio visivo del fenomeno è la variabilità morfologica delle schiume. Il fenomeno si manifesta generalmente in condizioni di mare calmo mentre condizioni di vento forte determinano una difficoltà nella individuazione della schiuma. È interessante notare, inoltre, che le schiume sono ben visibili durante le prime ore del mattino e scompaiono generalmente nel primo pomeriggio. Si nota, inoltre, che la distanza di formazione della schiuma è quasi sempre compresa tra i 100 ed i 300 metri dalla linea di costa, zona in cui il fondale presenta un ripido declivio.

# Linea 3 – Monitoraggio visivo del fenomeno

Le formazioni schiumose osservabili in zona Rosignano presentano morfologie diverse

Bianche poco persistenti

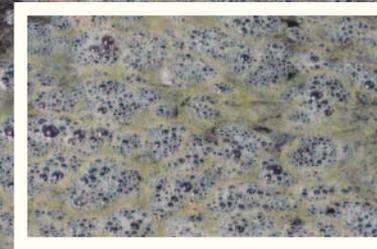


Alcuni esempi di schiume campionate nell'ambito del progetto

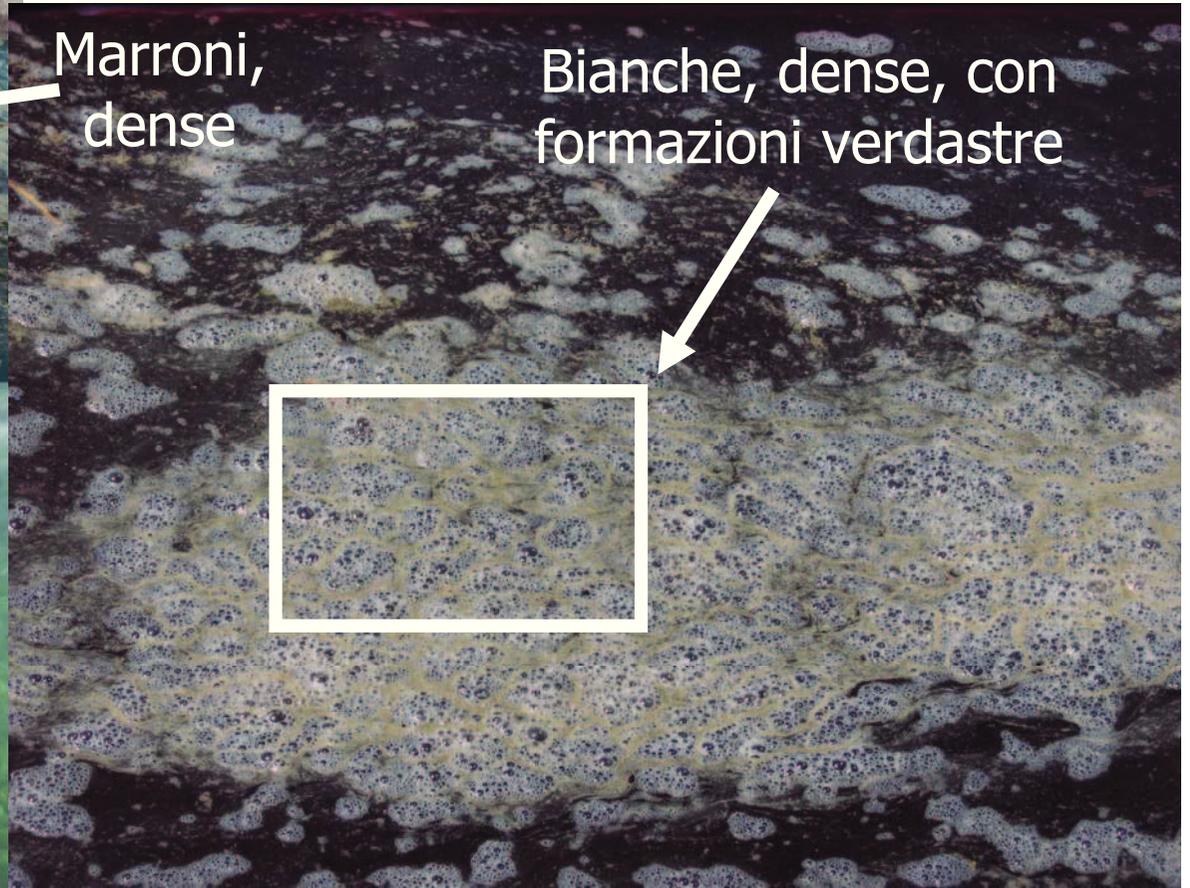
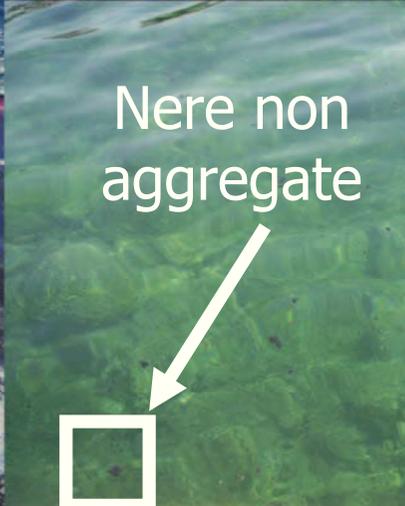
Marroni, dense



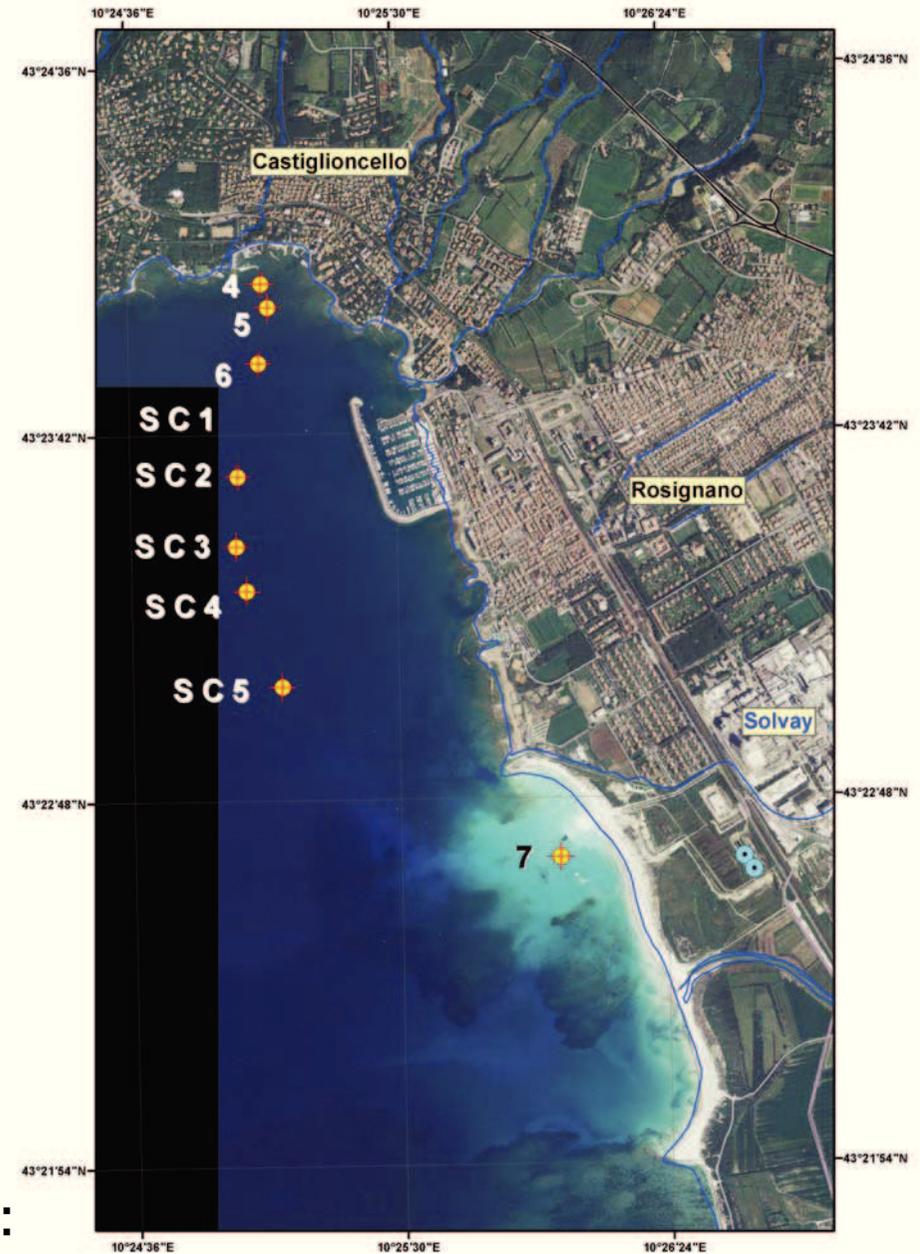
Bianche, dense, con formazioni verdastre



Nere non aggregate



# Linea 3 – Monitoraggio visivo del fenomeno



- Nei campioni prelevati lungo la scia schiumosa (SC da 1-5) isolati nell'aprile 2009, sono state osservate:
- formazioni algali filamentose di tipo mucillaginoso,
  - aggregati di diatomee,
  - detriti di chiara origine antropica.

- L'analisi morfologica delle schiume ha evidenziato una loro notevole eterogeneità sia spaziale che temporale, sebbene sia possibile riscontrare delle similarità nella morfologia e nell'aspetto delle formazioni schiumose. Le formazioni schiumose tendono ad aggregare corpuscoli presenti sulla superficie marina, ad esempio il polline, del quale è stata riscontrata la presenza nel periodo primaverile. Un'analisi di dettaglio ha evidenziato che le schiume sono costituite in prevalenza da organismi unicellulari vegetali appartenenti alla Classe delle Diatomee e normalmente rappresentanti il fitoplancton marino. Nei campioni isolati nell'aprile 2009 sono state, inoltre, osservate formazioni algali filamentose di tipo mucillaginoso. Saltuariamente sono stati localizzati nelle schiume detriti di chiara origine antropica (stazioni relative alla scia schiumosa codificate come SC da 1-5).

- Si osserva che in alcuni casi le schiume sono state rilevate in corrispondenza di sversamenti relativi alla condotta di scarico del depuratore in località Spiagge bianche ed in località Rosignano Solvay, come evidenziato dalla diapositiva seguente.

Zona di risalita  
acqua della  
condotta



Segnalatore  
della condotta



Dettaglio



La condotta di scarico  
dell'impianto di  
depurazione in zona  
Solvay rappresenta una  
fonte di immissione di  
acque ricche di  
nutrienti

# Linea 4 – Attività analitica integrativa

**Stazioni di prelievo**

**Campagne stagionali**

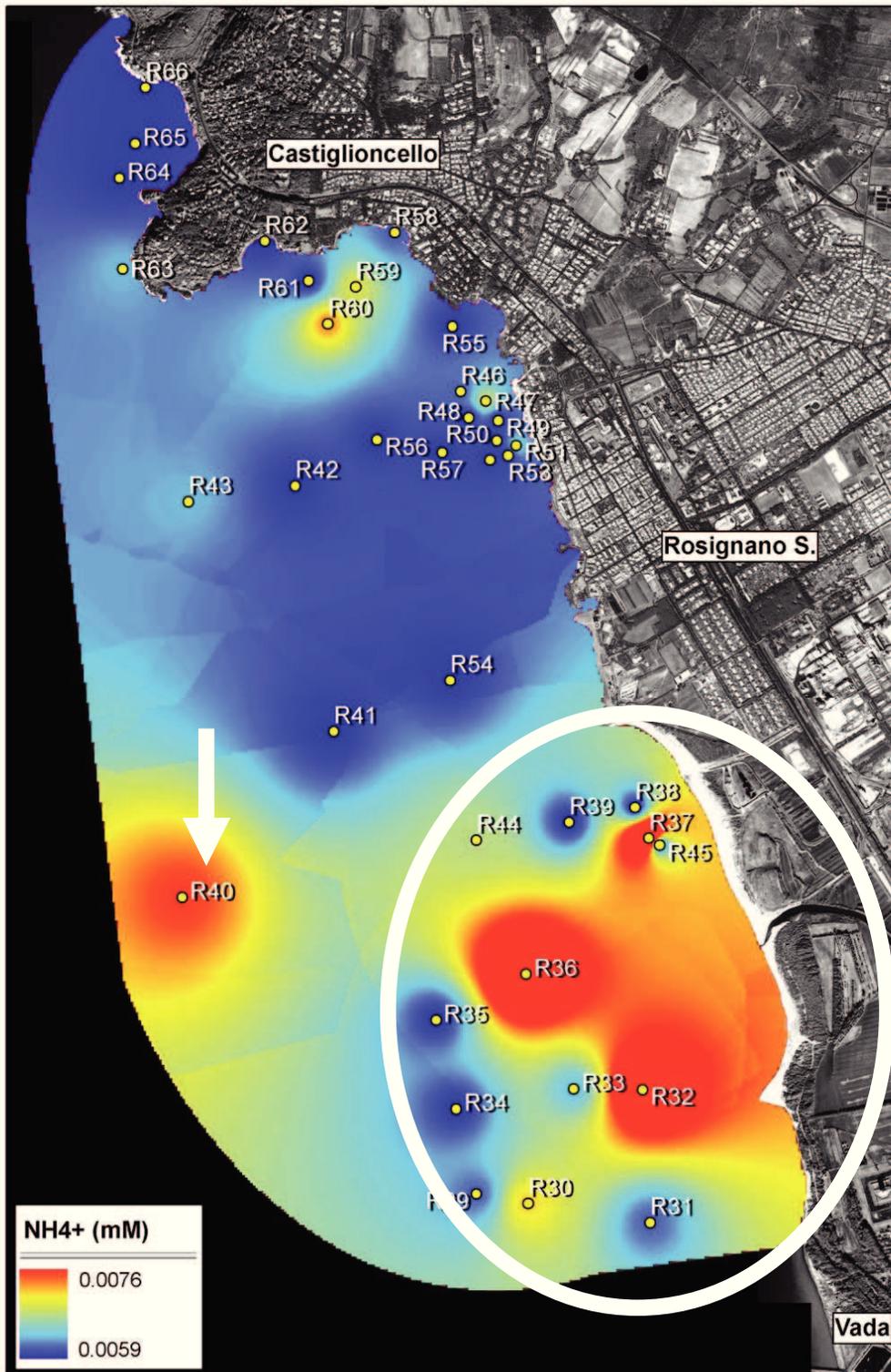


In base alle informazioni acquisite sono state effettuate campagne di prelievo stagionali sulle stazioni indicate in figura.

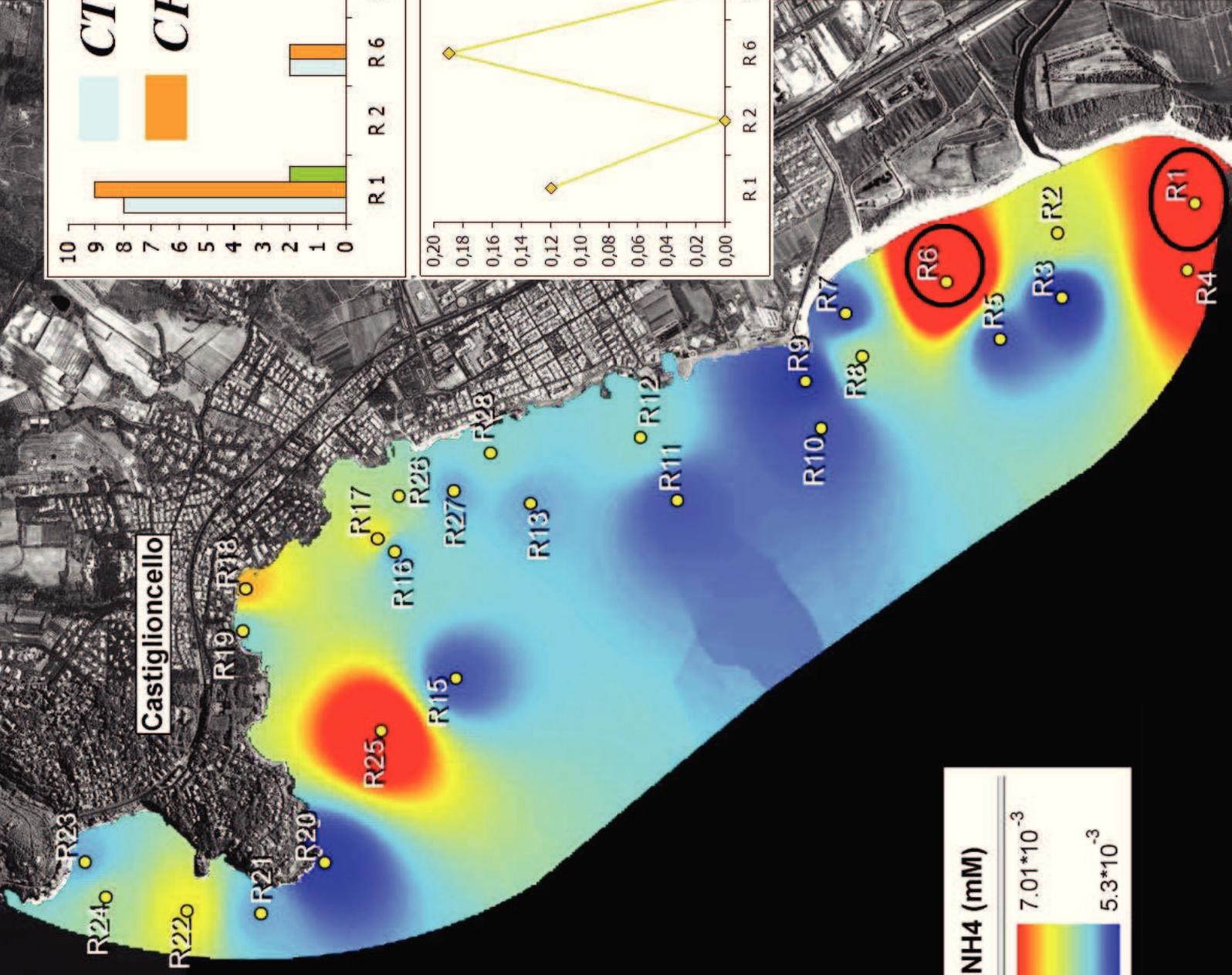
# Risultati ottenuti dalle campagne condotte

Tutta l'area Solvay rappresenta una criticità per i livelli di ione ammonio che risultano notevolmente maggiori rispetto alle aree limitrofe.

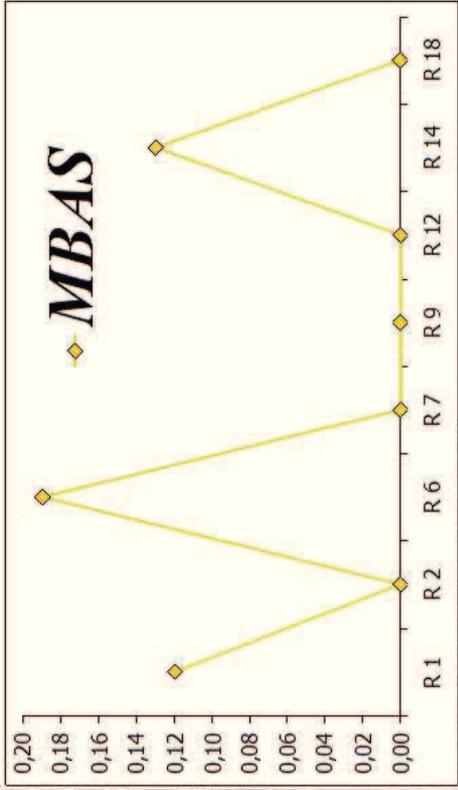
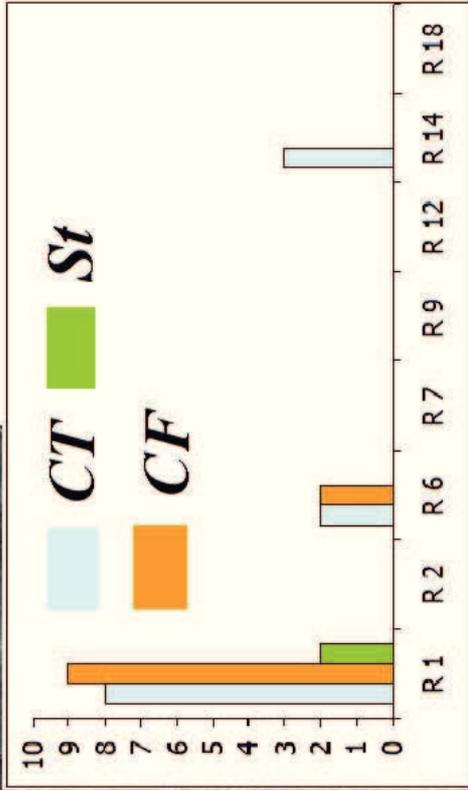
La Stazione R40 (freccia) rappresenta il punto terminale della condotta (diffusore).



- La diapositiva seguente evidenzia come i livelli massimi di ammonio sono associati ai massimi livelli di indicatori di contaminazione fecale (coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali) e di tensioattivi di origine antropica (MBAS). Questi risultati consentono di ipotizzare una comune origine della contaminazione attribuibile alle acque di scarico provenienti dal depuratore.

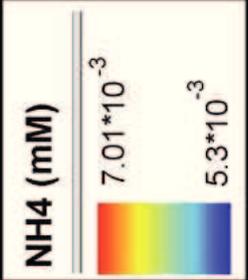


Castiglione del Tevere



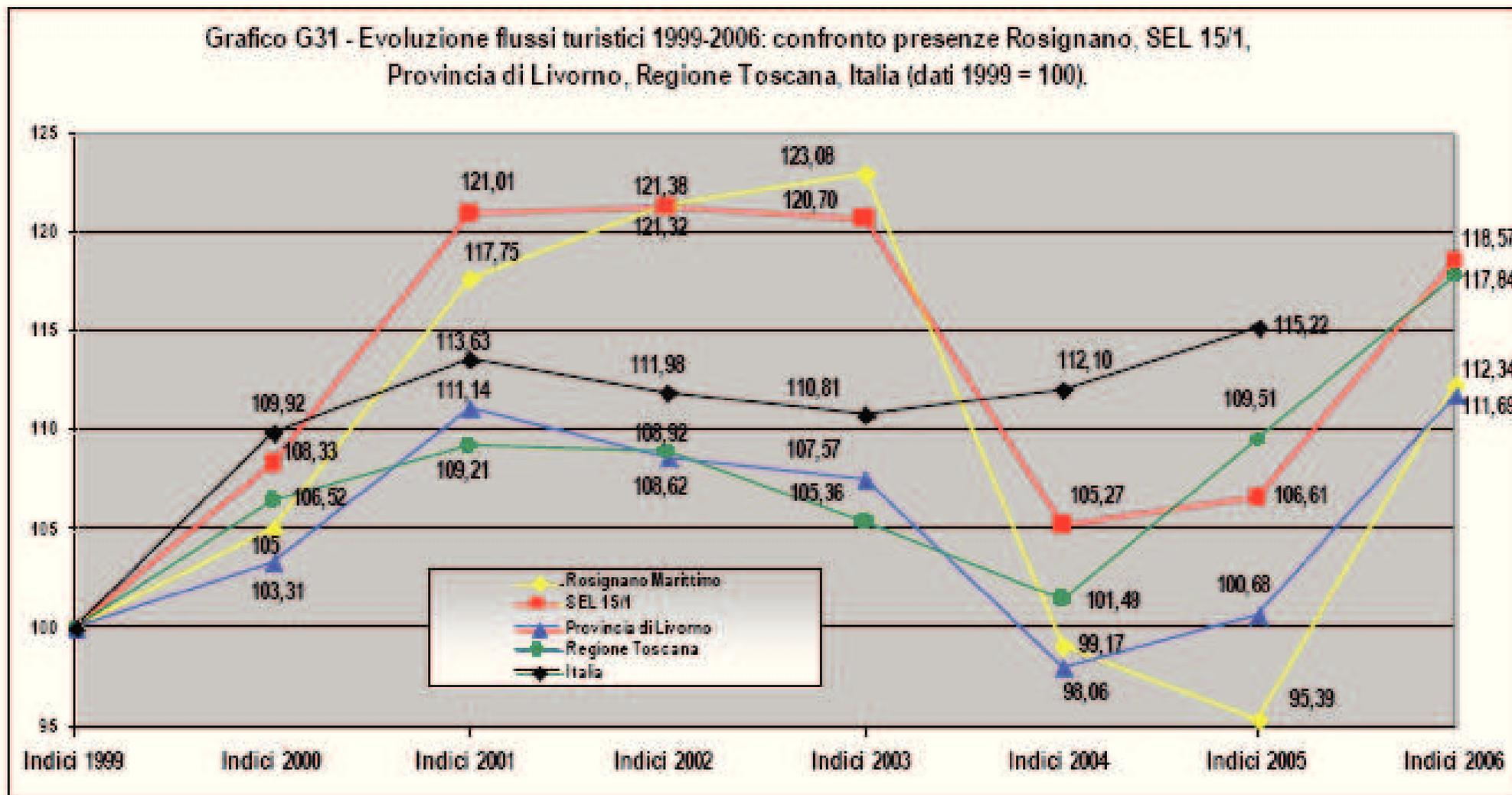
**CT = Coliformi totali**  
**CF = Coliformi fecali**  
**St = Streptococchi totali**  
**UFC/100 mL**

**MBAS = tensioattivi reattivi al blu di metilene**  
**mg L<sup>-1</sup>**



- Nella diapositiva seguente sono riassunti i dati forniti dal Comune di Rosignano Marittimo relativamente alle presenze turistiche nell'area di studio riscontrate nel periodo compreso tra il 1999 ed il 2006.
- I dati mostrano un incremento progressivo delle presenze fino al 2003 con una successiva flessione nel periodo 2004-2005.

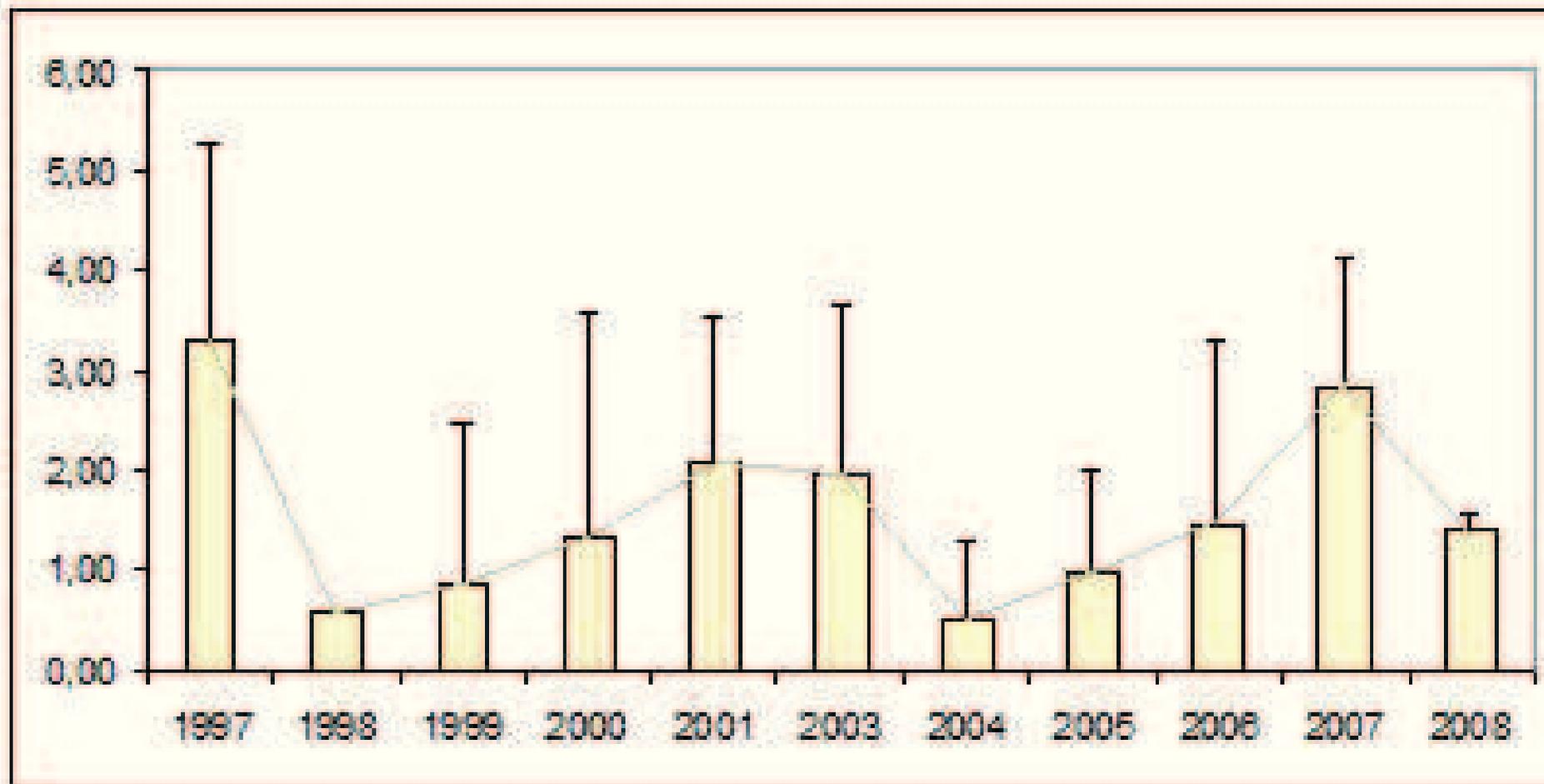
# Presenze medie di turisti nell'area di studio



Presenze turistiche medie su base annua 1999-2006.

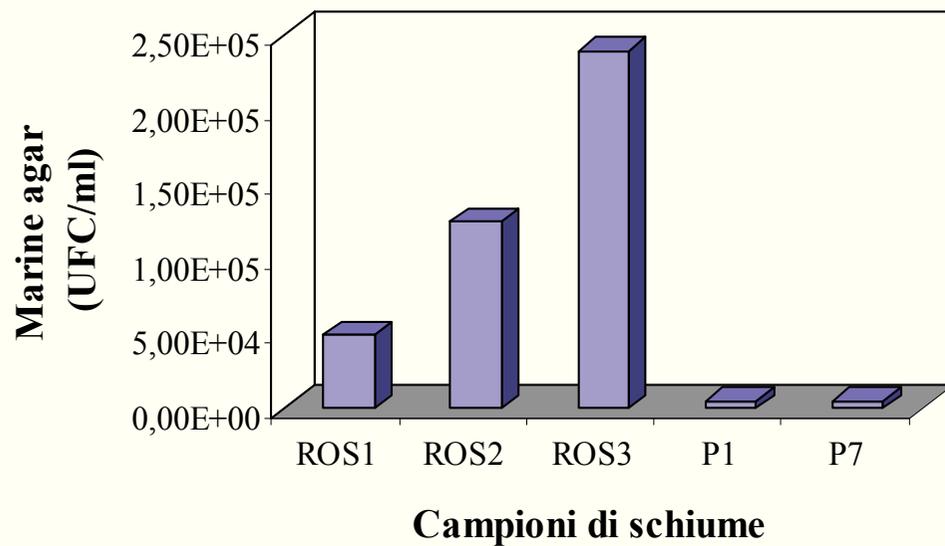
- Confrontando i dati delle presenze turistiche con i livelli medi di ione ammonio ( $\mu\text{M}$ ) nei campioni di acqua superficiale misurati da ARPAT per le aree marine del comune di Rosignano Marittimo (dati riportati nel grafico per il periodo 1997 – 2008), si osserva che questi seguono l'andamento del flusso turistico: incremento fino al 2003 e flessione nel periodo 2004-2005 (diapositiva seguente).

# Andamento medio dello ione ammonio nell'area di studio

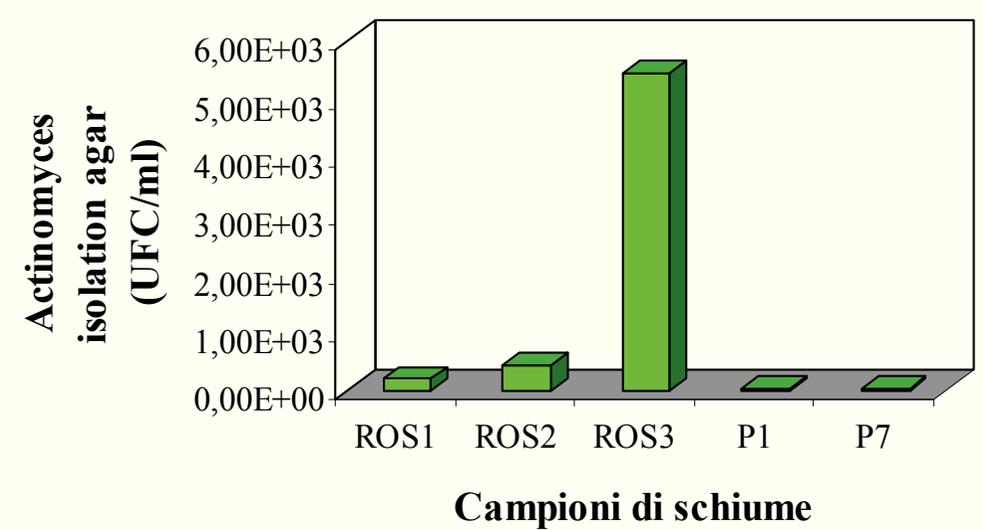


I livelli medi di ione ammonio ( $\mu\text{M}$ ) nei campioni di acqua superficiale del comune di Rosignano Marittimo riportati nel grafico per il periodo 1997 - 2008 seguono l'andamento del flusso turistico.

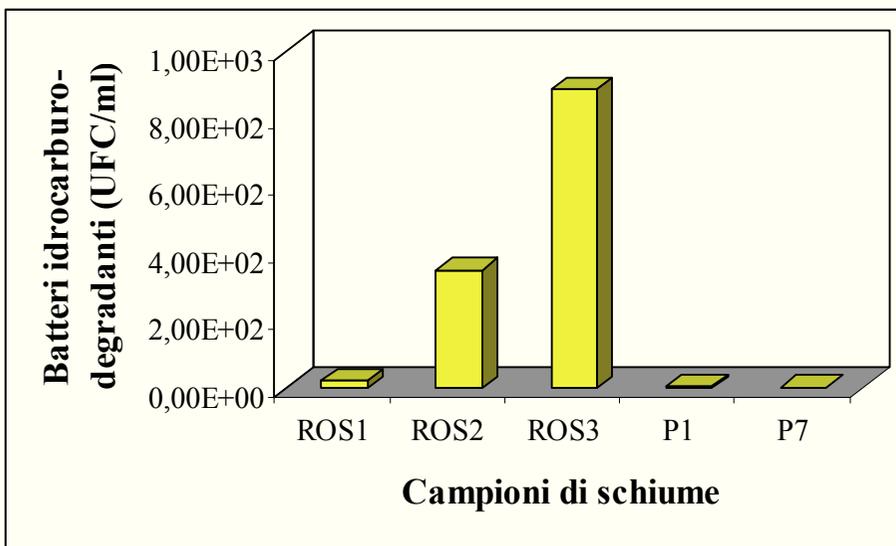
- Questa corrispondenza suggerisce una relazione diretta tra l'incremento del carico sull'impianto di depurazione e l'incremento dei livelli in uscita di nutrienti.
- Nella diapositiva successiva sono mostrati i risultati relativi ai livelli di tensioattivi MBAS, e di batteri idrocarburo degradanti in campioni di schiume prelevati in corrispondenza della zona di Rosignano Solvay.



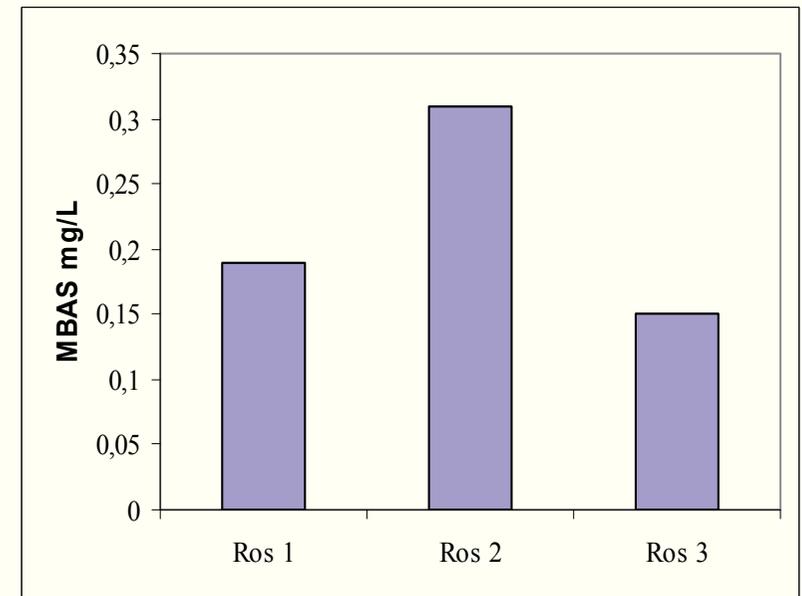
**Microrganismi eterotrofi totali.**



**Batteri del gruppo degli attinomiceti.**

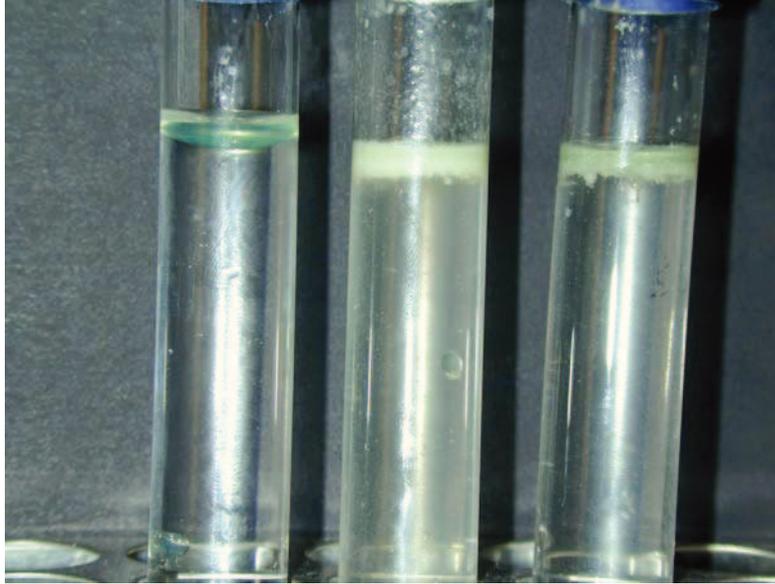


**Batteri idrocarburo-degradanti.**



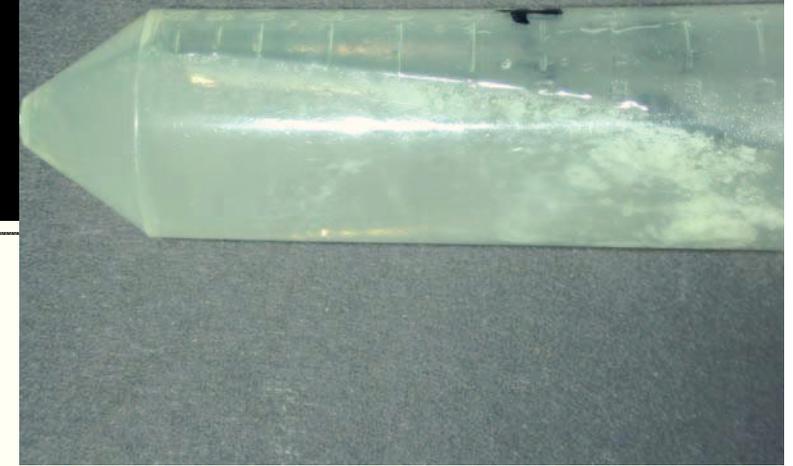
**Concentrazione di tensioattivi MBAS.**

- Nella diapositiva che segue sono riportate colture di batteri idrocarburo-degradanti ottenute in laboratorio che mettono in evidenza la biomassa batterica strettamente adesa agli idrocarburi.
- Immagini di microscopia a fluorescenza mettono in evidenza le cellule batteriche cresciute in presenza di idrocarburi.

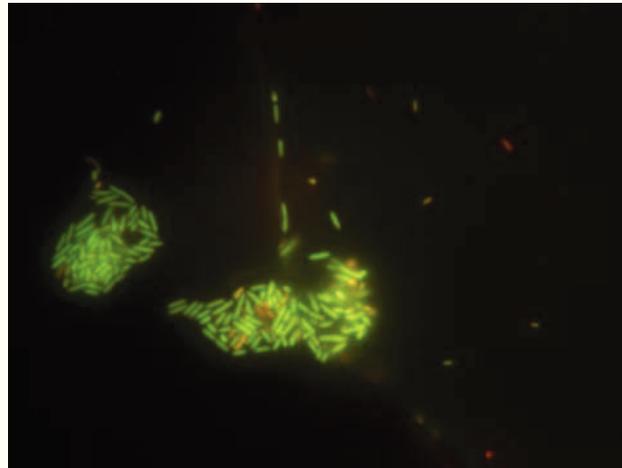
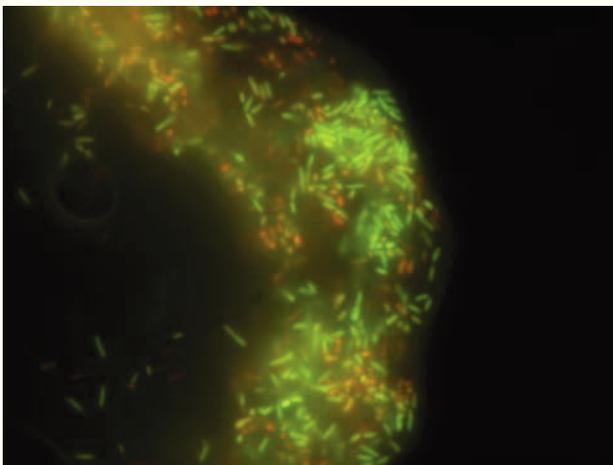


**Colture microbiche in terreno sintetico MSBM, in presenza di gasolio come unica fonte di carbonio e di energia.**

- A) Controllo senza inoculo di campioni di schiume;**
- B) e C) è evidente la crescita di batteri idrocarburo-degradanti a partire da campioni di schiume prelevati nell'area 'ROS 3a.'**



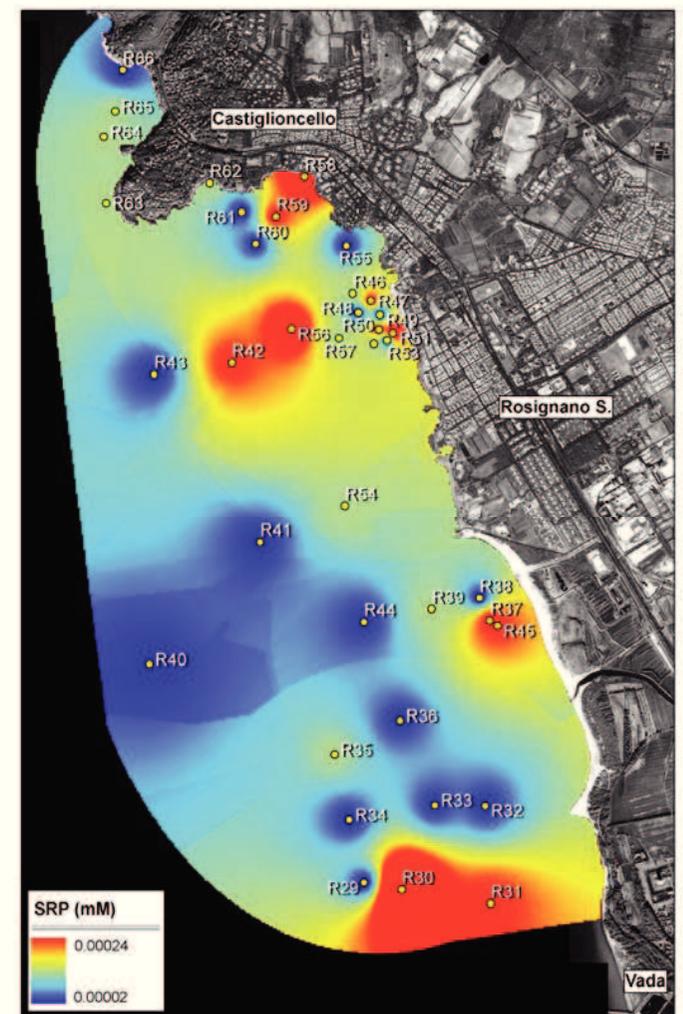
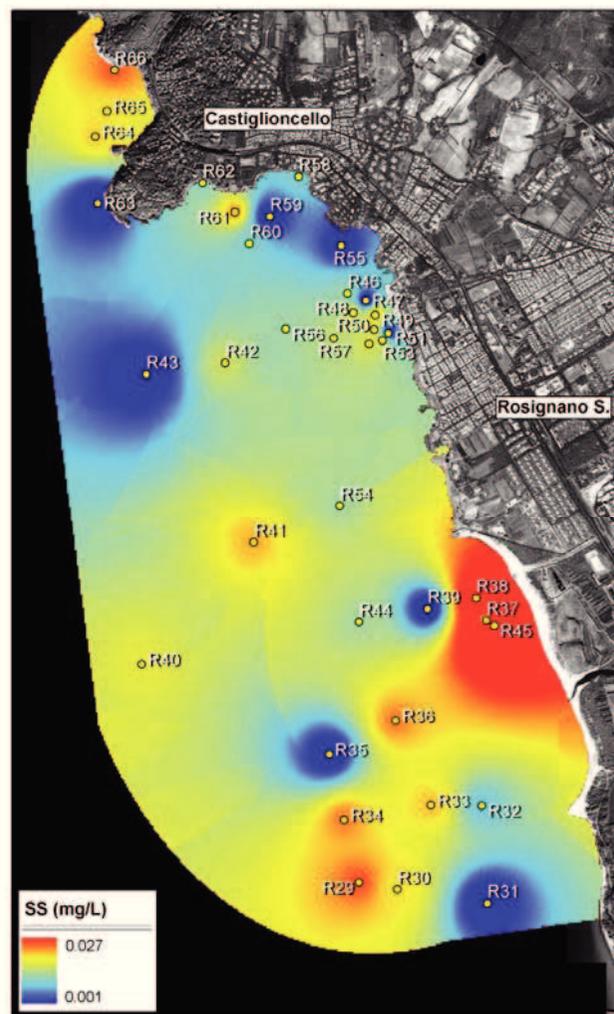
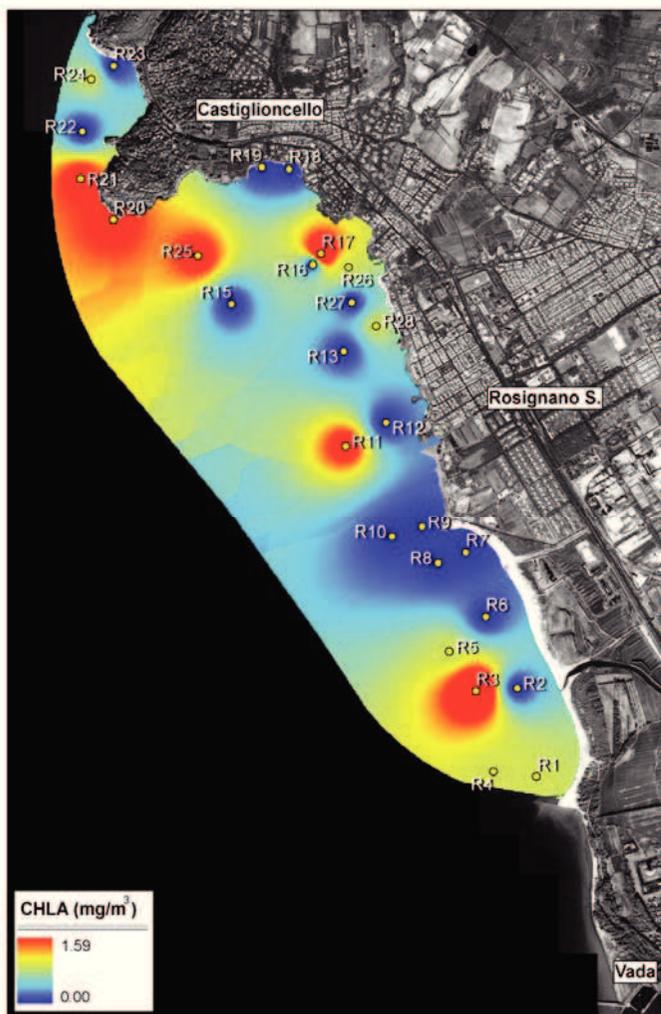
**Coltura microbica in terreno sintetico MSBM, in presenza di gasolio come unica fonte di carbonio e di energia, è evidente la crescita di batteri idrocarburo-degradanti a partire da campioni di schiume prelevati nell'area 'ROS 3-a'.**



**Coltura microbica in terreno sintetico MSBM, in presenza di gasolio come unica fonte di carbonio e di energia, è evidente la crescita di batteri idrocarburo-degradanti a partire da campioni di schiume prelevati nell'area 'ROS 3-a'.**

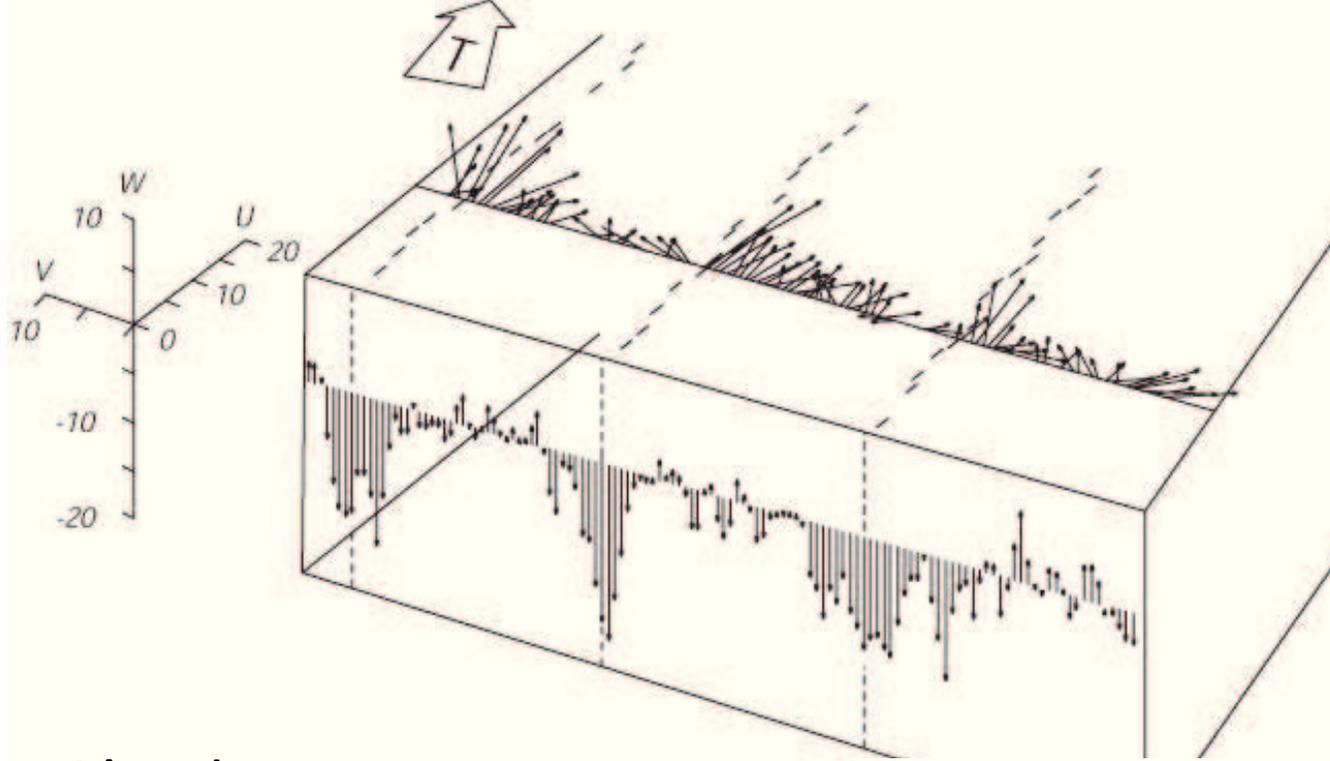
- L'associazione tra la concentrazione di tensioattivi di origine antropica (MBAS) e quella degli indicatori di contaminazione microbiologica è stata riscontrata anche nell'ambito di prelievi precedenti condotti in area Solvay (ROS<sub>1</sub>, ROS<sub>2</sub>, ROS<sub>3</sub>). Questo suggerisce la possibile origine comune degli indicatori, attribuibile alle acque di scarico in uscita dal depuratore.
- La presenza di batteri idrocarburo-degradanti indica la presenza di idrocarburi nelle acque in uscita dall'impianto. Questi possono essere derivati anche dal collettamento nel depuratore delle acque di dilavamento del manto stradale.

- Nonostante quanto osservato finora, le dinamiche in atto nel sistema di studio non sono semplici ma mostrano la presenza di interazioni sinergiche complesse.
- Infatti, nonostante le associazioni osservate, i livelli osservati nelle acque in uscita dal depuratore sono sempre risultati essere inferiori ai limiti di legge previsti per gli scarichi in ecosistemi marino-costieri

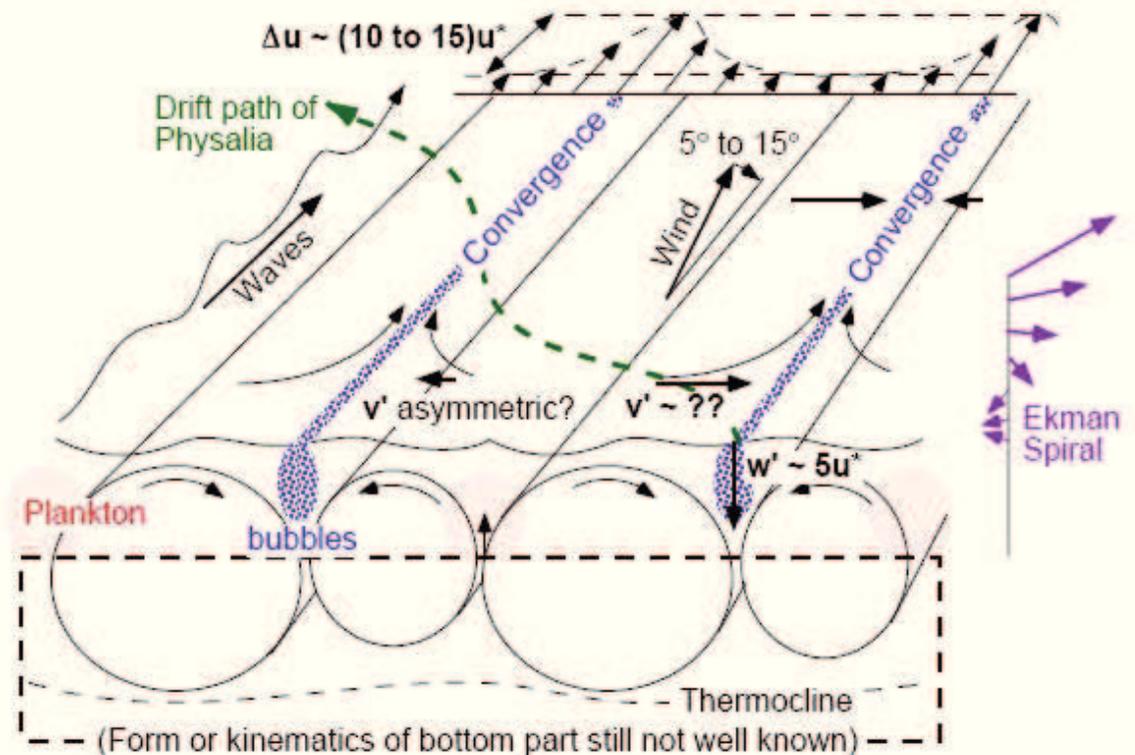


In base ai risultati ottenuti dall'analisi di altri indicatori di apporto trofico (Clorofilla-a, solidi sospesi, fosforo reattivo solubile), risulta che il contributo fornito al sistema di studio dalle acque in uscita dal depuratore non è evidente come nel caso dell'ammonio e degli indicatori di contaminazione fecale, ma presenta una distribuzione spaziale discontinua.

- Questo comportamento può essere dovuto ad una influenza delle correnti di Langmuir che influenzano la distribuzione di nutrienti e della componente biologica planctonica (fitoplancton).
- Il meccanismo fisico che determina la formazione delle schiume in seguito a fenomeni eutrofici può essere riassunto come segue. In associazione a venti di modesta intensità nelle acque vicino alla superficie si forma una particolare circolazione detta di "Langmuir" che forma linee parallele alternate di convergenza e divergenza (Langmuir, 1938).
- La circolazione di Langmuir è una corrente che spiralizza intorno ad un asse parallelo alla direzione del vento. Weller, et al., (1985) hanno osservato tale flusso durante un esperimento condotto per misurare la circolazione forzata dal vento nei primi 50 m del mare. In questo contesto emerse che durante un periodo di vento con velocità di 14 m/s, le correnti superficiali erano organizzate in celle di Langmuir di 20 m; le celle erano allineate ad un angolo di 15° alla destra del vento; e la velocità verticale a 23 m di profondità era concentrata in *jets* stretti sotto le aree di convergenza superficiale. La velocità verticale massima era -0.18 m/s. Il termoclino stagionale era a 50 m, e nessuna velocità verso il basso era stata osservata dentro e sotto il termoclino.
- Quando si instaura questa circolazione, nelle zone di divergenza il plancton naturale risale in superficie per concentrarsi nelle zone di convergenza dove si possono formare aggregati schiumosi anche molto estesi dovuti all'attività metabolica naturale del fitoplancton. Questi organismi producono acidi grassi a catena corta (saponine) che possono dare luogo a formazioni schiumose stabili. Le schiume, una volta prodotte, costituiscono fattore privilegiato di accumulo di microrganismi naturalmente presenti in mare e di contaminanti localmente ed occasionalmente dispersi determinando la variabilità locale osservata e la presenza di batteri filamentosi ed idrocarburo degradanti.
- Il fenomeno è incrementato nel periodo estivo quando il fotoperiodo e le temperature superficiali sono maggiori e maggiori sono anche i carichi locali di nutrienti. Anche la geomorfologia della linea di costa può avere effetto notevole sul fenomeno.
- La diapositiva successiva ripropone uno schema del fenomeno.



L'andamento osservato può essere dovuto ad una influenza delle correnti di Langmuir che influenzano la distribuzione di nutrienti e della componente biologica planctonica (fitoplancton).



# Considerazioni sintetiche

- Le schiume non presentano morfologia

# Considerazioni conclusive

- In alcuni casi è stata evidenziata una chiara origine delle schiume attribuibile al depuratore;
- I livelli medi di ione ammonio nelle acque superficiali e di indicatori microbiologici di contaminazione fecale risultano elevati in corrispondenza delle presenze turistiche;
- Una criticità è attribuibile al malfunzionamento della condotta che determina sversamenti sopra alla barriera naturale del termoclino.

# Considerazioni conclusive

- Sebbene i dati acquisiti suggeriscano anche la presenza di fattori globali, difficilmente controllabili, alcuni interventi possono contribuire a ridurre i carichi trofici a livello locale.
- I fattori locali che possono contribuire ad accentuare l'occorrenza delle manifestazioni sono costituiti da: anomalia termica, presenza di sostanze chimiche stabilizzanti (carbonati), **incremento locale di nutrienti biodisponibili (scarico reflui)**, batimetrie favorevoli i fenomeni di *upwelling* dal fondo.
- Il controllo di alcuni tra questi fattori potrebbe contribuire significativamente a ridurre l'occorrenza del fenomeno sia per entità che per frequenza riportando le manifestazioni ai valori prossimi la media della fascia costiera Toscana.

# Conclusioni sintetiche di progetto

- Il fenomeno della formazione di schiume è un evento la cui ricorrenza è riscontrabile in tutta la zona costiera della Toscana ed in generale è attribuibile all'eutrofizzazione delle acque. L'area di studio ha presentato, tuttavia, frequenze ed entità sostanzialmente superiori a quelle normalmente riscontrate tali da far emergere l'esigenza di ricerche più specifiche.
- In sintesi, sulla base dei dati acquisiti nell'ambito dello studio condotto possono essere effettuate le seguenti considerazioni generali in relazione ai principali fattori all'origine delle formazioni schiumose nella zona di interesse.
- 1) In generale il sistema di studio presenta fonti di impatto antropiche diffuse sia di piccola entità (stabilimenti balneari, insediamenti umani, scarichi a dispersione, attività portuale ed attracchi portuali diportistici di piccole dimensioni ecc.), sia di entità considerevole (stabilimento industriale zona Solvay, sistema di depurazione dei reflui civili di Rosignano e Cecina). Sono presenti due apporti fluviali significativi, quello del fiume Cecina e quello del fiume Fine. Sia dagli studi pregressi che dalle immagini satellitari è evidente come la zona Solvay presenti una alterazione del contenuto in carbonati del sedimento. Sebbene gli studi precedentemente condotti abbiano dimostrato che non si riscontrano significativi segnali di sofferenza delle biocenosi locali, ad eccezione di un riassetto delle popolazioni bentoniche, è da sottolineare come il carbonato possa avere un ruolo nella stabilizzazione di eventuali fenomeni di formazioni schiumose.
- 4) Le analisi microbiologiche condotte sui campioni di acqua e di schiume evidenziano la presenza di una cospicua popolazione di batteri marini e la presenza di attinomiceti e dei batteri idrocarburo-degradanti a livelli variabili ed in relazione alla tipologia di campione. Il rilevamento di batteri idrocarburo-degradanti è da interpretare come una possibile conseguenza della presenza di idrocarburi dispersi a partire dalle aree portuali, che possono aver permesso il loro sviluppo. Questi batteri sono stati isolati, seppure a livelli modesti, anche nei campioni prelevati dalle aree marine protette (controllo 1), evidenziando il verificarsi del fenomeno in tutto il bacino preso in considerazione. In linea generale è emersa una scarsa presenza di indici di contaminazione fecale. I ceppi batterici idrocarburo-degradanti e gli actinomiceti, potrebbero avere un ruolo nella formazione delle schiume sia per la capacità di metabolizzare gli eventuali idrocarburi presenti come contaminanti in aree in prossimità di siti portuali o zone ad elevato diportismo, sia per la struttura filamentosa che caratterizza alcuni ceppi batterici, rispettivamente. Entrambi questi aspetti possono avere un ruolo nella formazione delle schiume e possono essere legati ad eventi fisici, come l'aumento delle temperature ed il movimento ondoso e l'eventuale presenza di fonti di carbonio come idrocarburi che, complessivamente, provocano un innesco della crescita batterica. La crescita batterica sugli idrocarburi, in particolare, può dar luogo ad emulsioni che possono agire da elemento aggregante per la formazione di schiume.
- È da segnalare che, sebbene con livelli modesti, gli indicatori di contaminazione fecale hanno evidenziato positività di tipo *hot spot* per le stazioni in corrispondenza della condotta (R1, R6, aprile 2009, stazione 7 del 5 agosto 2008) e per le formazioni schiumose prelevate in località villa Buitoni e Scogli Pungenti del 31 luglio 2008.
- 5) Solitamente, salvo alcune eccezioni, le schiume campionate non presentano indicatori di contaminazione antropica (i.e. tensioattivi MBAS). In alcuni casi, invece, sono state isolate schiume provenienti dalla zona Vada Spiagge Bianche (10 Luglio 2007) caratterizzate da livelli contenuti di tensioattivi MBAS (tra 0,25-0,83 mg/L) ed idrocarburi C>12 (0,13-0,32 µg/L). Ovviamente, data la localizzazione geografica del prelievo, la presenza di carbonati nelle schiume e nelle acque è risultata, in questo caso, significativamente elevata. Anche le schiume prelevate in data 31 luglio 2008 nel corridoio di lancio delle imbarcazioni in località Trescogli presentano livelli elevati di idrocarburi, indicando una loro chiara origine antropica.
- Una dominante è sicuramente rappresentata da fenomeni di eutrofizzazione delle acque che determinano un arricchimento dei nutrienti. L'accresciuta disponibilità locale di nutrienti a base di azoto e fosforo, conduce ad un aumento della biomassa vegetale fitoplanctonica naturale. Di particolare rilievo è l'incremento dei carichi trofici, come evidenziato dall'andamento dei livelli medi di ione ammonio nelle acque superficiali, dovuti all'aumento delle presenze turistiche che si registra da maggio a settembre in tutta l'area di studio. È di particolare interesse notare che i livelli medi annui di ammonio nei campioni di acque superficiali seguono il *trend* evidenziato dalle presenze turistiche ufficiali. L'aumento delle presenze nella stagione di massima produttività primaria determina un sovraccarico del sistema di depurazione e dell'apporto di nutrienti liberati in mare mediante la condotta sottomarina. Le concentrazioni di ione ammonio nelle acque possono essere utilizzate come tracciante per le fonti di immissione di acque reflue di origine antropica. L'incremento delle temperature (fenomeno globale) può determinare una accelerazione del processo. Sono da segnalare, inoltre, alcuni periodici malfunzionamenti della condotta che determinano sversamenti di liquami nella zona prossima alla costa sopra alla barriera naturale del termoclino. È da notare come la zona Solvay rappresenti un'anomalia per molte variabili indagate.
- Sebbene i dati acquisiti suggeriscano anche la presenza di fattori globali, difficilmente controllabili, alcuni interventi possono contribuire a ridurre i carichi trofici a livello locale. I fattori locali che possono contribuire ad accentuare l'occorrenza delle manifestazioni sono costituiti da: anomalia termica, presenza di sostanze chimiche stabilizzanti (carbonati), incremento locale di nutrienti biodisponibili, batimetrie favorevoli i fenomeni di *up-welling* dal fondo. Il controllo di alcuni tra questi fattori potrebbe contribuire significativamente a ridurre l'occorrenza del fenomeno sia per entità che per frequenza riportando le manifestazioni ai valori prossimi la media della fascia costiera Toscana.
- È possibile supporre che il fenomeno di formazione delle schiume nell'area di Rosignano sia un fenomeno complesso che implichi il coinvolgimento sia di dinamiche di tipo globale che locale.