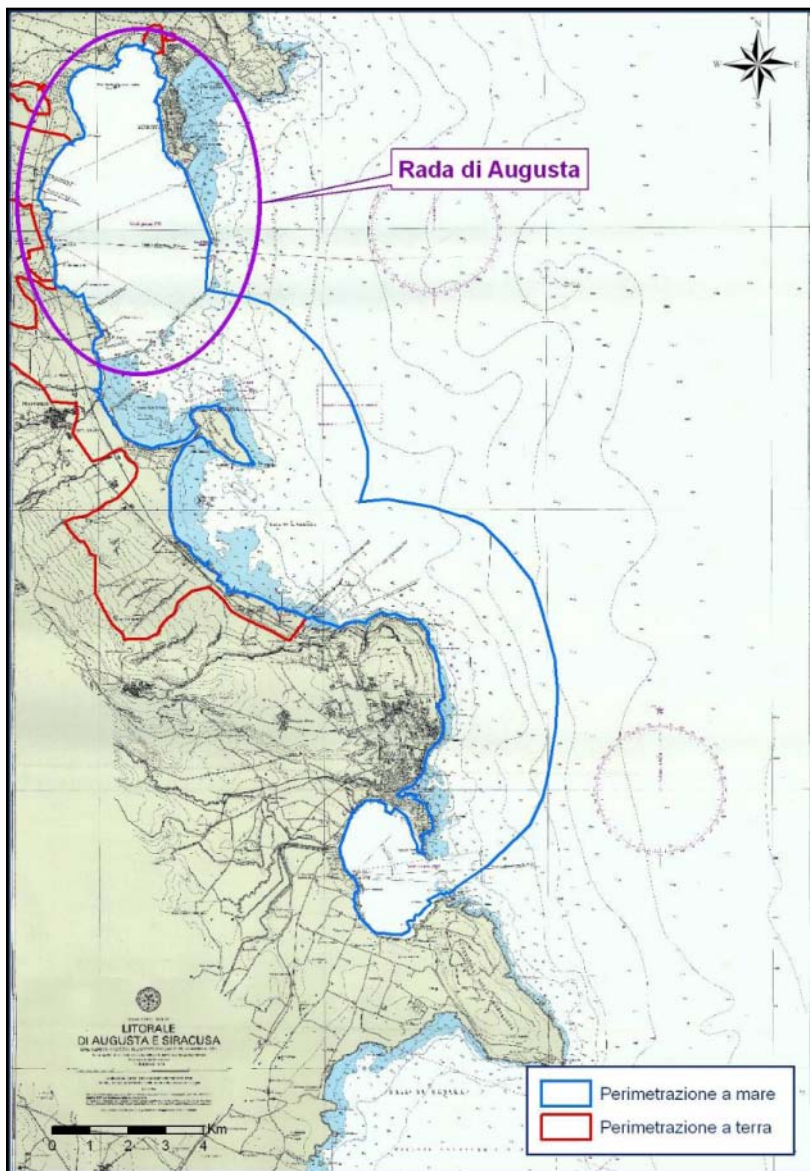


LA RADA DI AUGUSTA: Contaminazione dei sedimenti e effetti sugli organismi marini



A. Ausili, M. Gabellini, E. Romano,





L' area di indagine

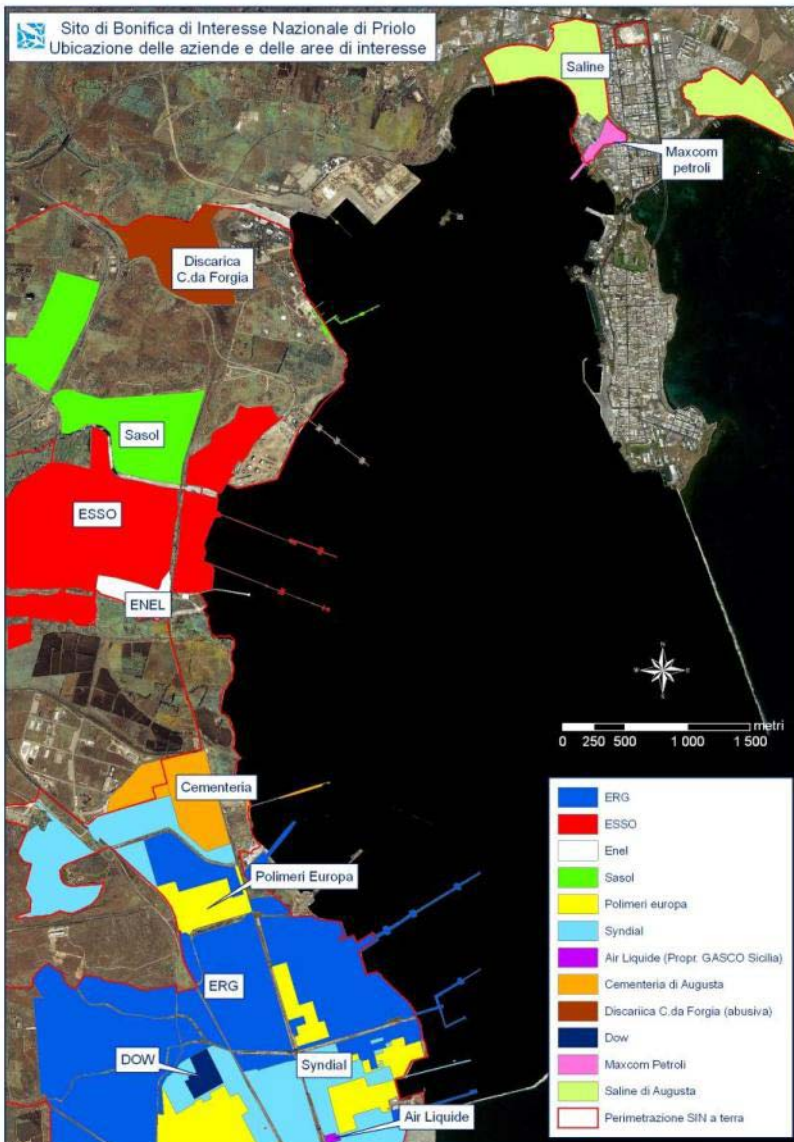


L' area, soggetta ad un elevato impatto antropico per diversi anni, rientra nel SIN Priolo Gargallo che si estende fino al porto di Siracusa.

All' interno della rada coesistono diverse attività di natura industriale, portuale, militare e civile.

La Rada di Augusta è stata caratterizzata dal punto di vista ambientale per individuare la potenziale contaminazione dei fondali e, alla luce dei risultati emersi, sono stati approfonditi alcuni aspetti

morfologici, batimetrici, idrodinamici e ambientali (tipologia, entità della contaminazione, estensione e spessore di sedimenti contaminati).



Le attività antropiche

Nella Rada di Augusta sono presenti, a partire dagli anni ' 50, diversi impianti chimici e petrolchimici (Erg, Esso, Maxcom Petroli, Sasol, Polimeri Europa, Air liquide, Dow), alcuni dei quali ormai dismessi (impianto cloro-soda a celle di mercurio), centrali elettriche (Enel), Cementerie, basi militari, una base Nato, un porto commerciale, che hanno influito a diversi livelli sulla qualità dell' ambiente marino prospiciente.

Negli anni ' 60 la chiusura della rada con dighe foranee, nonché gli approfondimenti batimetrici dei fondali per consentire l' accesso a un maggior numero di navi, ha modificato ulteriormente lo stato ambientale dell' area.

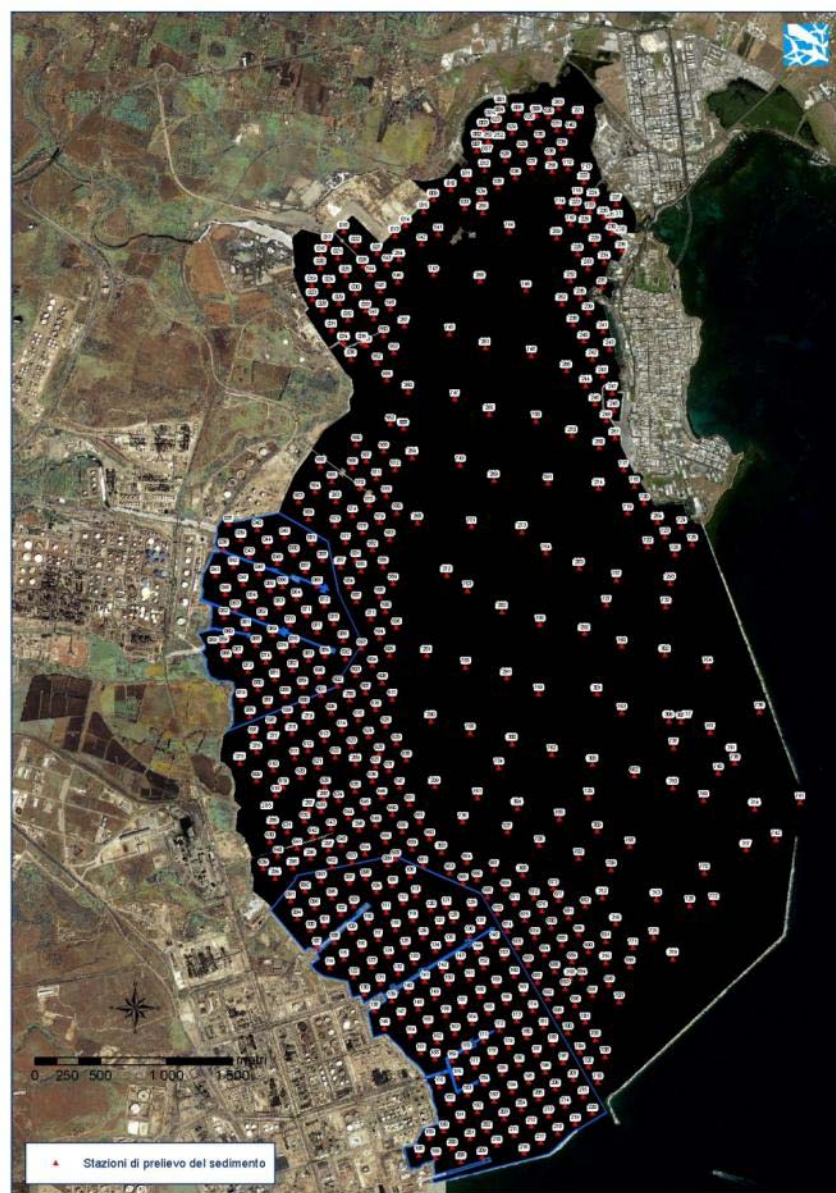
Le indagini ambientali nell'area

- Derivanti da normative nazionali (attuazione del Piano di caratterizzazione approvato da una Conferenza dei Servizi del Ministero dell'Ambiente)
- Approfondimenti scientifici, alla luce dei risultati emersi dalla caratterizzazione
- Richieste dall'Autorità giudiziaria



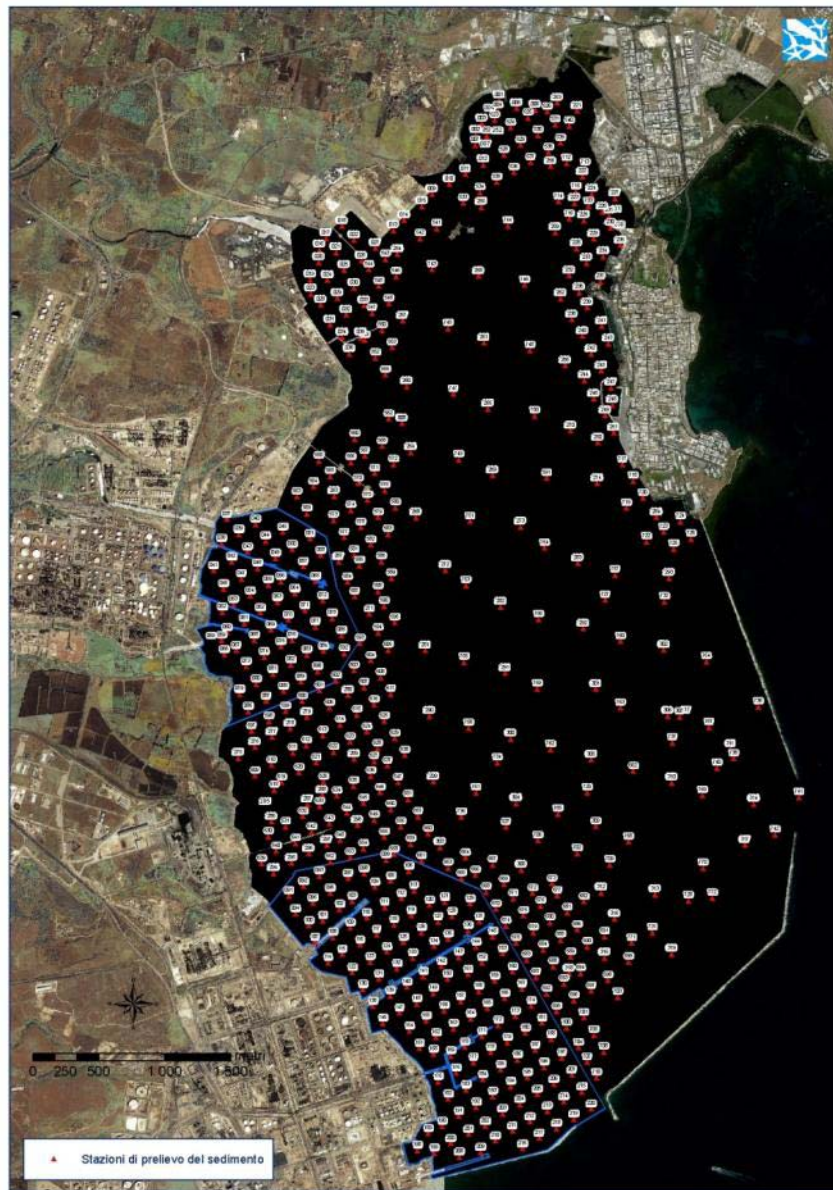
Le indagini derivanti da normativa nazionale (1/2)

- Attuazione piano di caratterizzazione ambientale da parte del Commissario per le Emergenze della Regione Sicilia per fasi
 - Fase I Aree prioritarie – gen/mag 2005
 - Fase I completamento – ott/nov 2005
 - Fase II – giu/lug 2006
- Indagini eseguite dalle società
 - Syndial (pontile solidi)
 - ERG (superpetroliere, pontile liquidi)
 - ESSO



Le indagini derivanti da normativa nazionale (2/2)

- Tipologia di indagini
 - Indagini batimetriche e geofisiche
 - Carotaggi sedimenti spessore variabile tra 2 e 3 m (analisi fisiche, chimiche, ecotossicologiche)
 - Organismi marini (analisi chimiche)
- Parametri ricercati
 - Granulometria,
 - Metalli ed elementi in tracce, IPA, POPs N, P, TOC, TBT, Idrocarburi, BTEX, solventi alifatici cancerogeni, diossine e furani, microbiologia
 - Test ecotossicologici su fase solida e acqua interstiziale



Gli approfondimenti scientifici

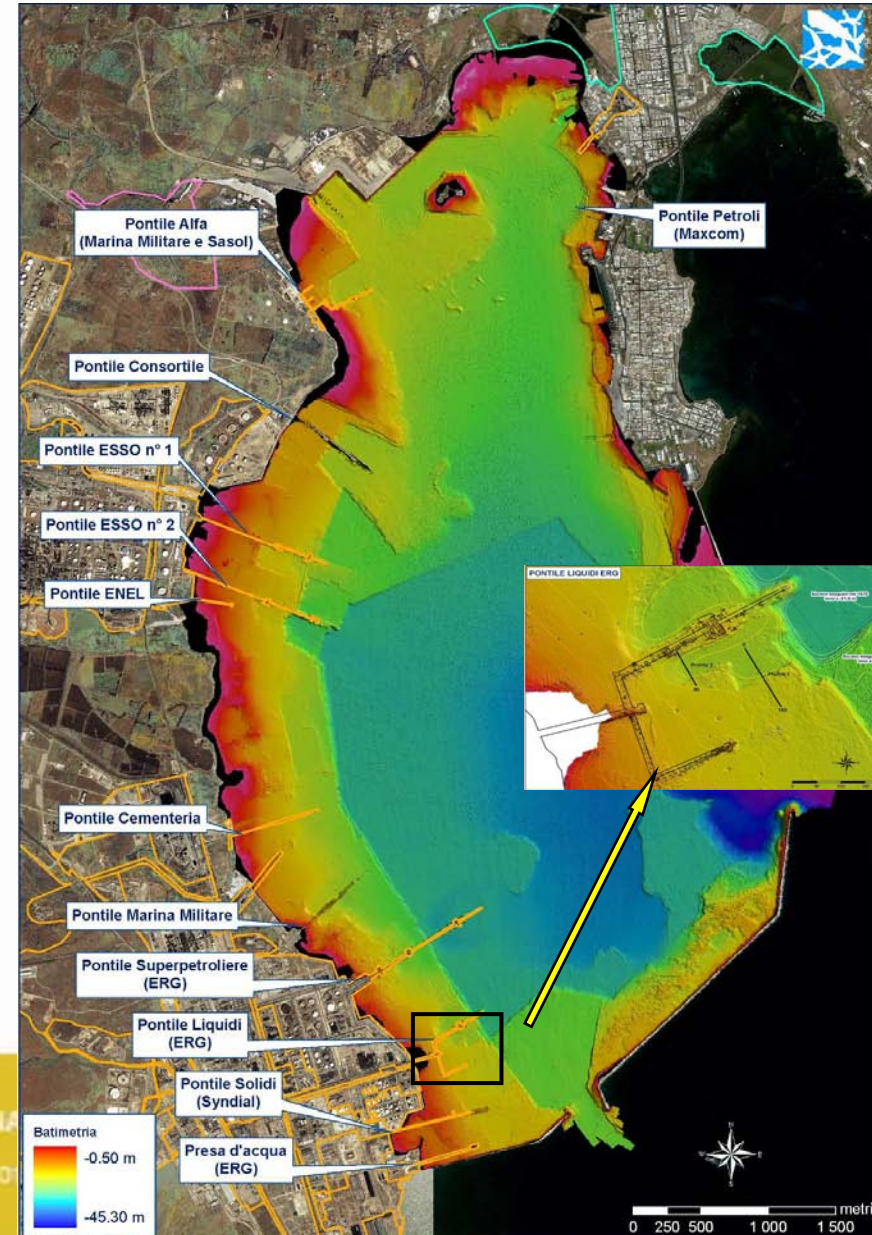
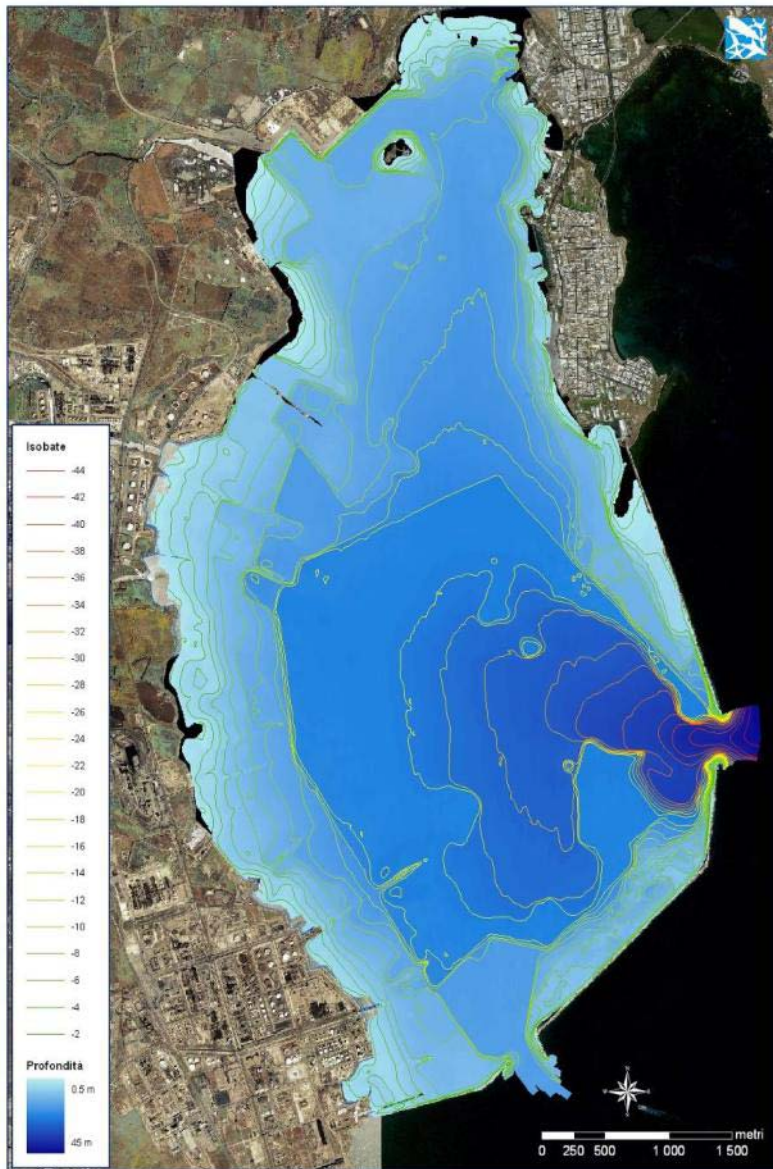
- Carotaggi in continuo per la definizione di valori di riferimento nei sedimenti e stima dei tassi di sedimentazione
- Studio degli effetti ambientali mediante bioindicatori specifici (foraminiferi bentonici) e biomarkers
- Modellazione della circolazione interna la rada per la valutazione della potenziale risospensione dei sedimenti contaminati



Le indagini giudiziarie

- 2003 - Verificare la presenza di contaminanti nei sedimenti e negli organismi del tratto di mare compreso tra il porto di Augusta e Siracusa;
- 2004 - Accertare se l' inquinamento riscontrato fosse riconducibile al periodo compreso tra il 1960 e il 2000;
- 2008 - Studio della distribuzione della contaminazione storica nei sedimenti della Rada di Augusta attraverso la datazione degli stessi;
- 2008 - Valutazione della biodisponibilità reale ed attuale dei contaminanti presenti nei sedimenti della rada di Augusta attraverso il passaggio degli stessi nella catena trofica.

La morfologia dei fondali



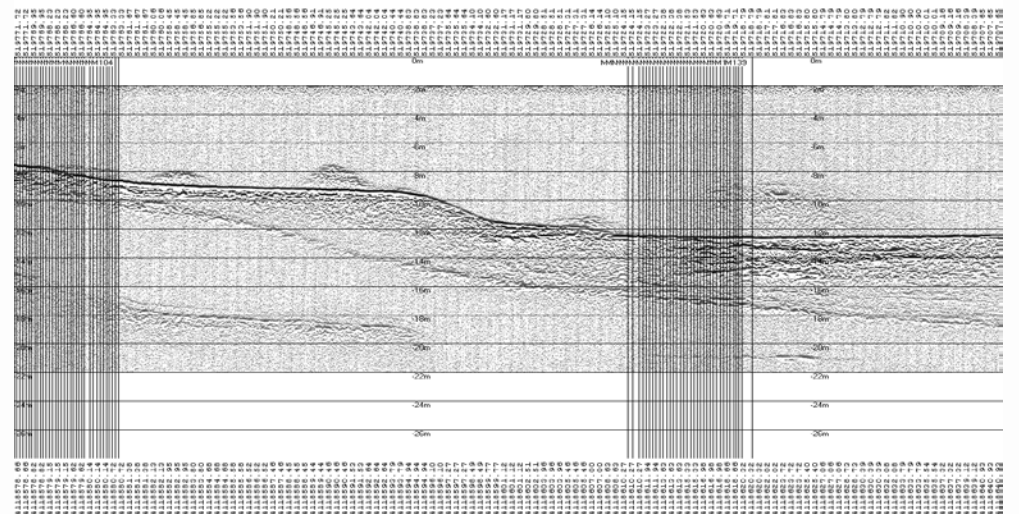
Le indagini geofisiche

Substrato irregolare costituito da rocce o argille sovraconsolidate che agiscono come barriera verticale al trasferimento della contaminazione

Sedimenti incoerenti di spessore variabile, più ampi nel settore settentrionale e centrale e più sottili o assenti nella parte meridionale

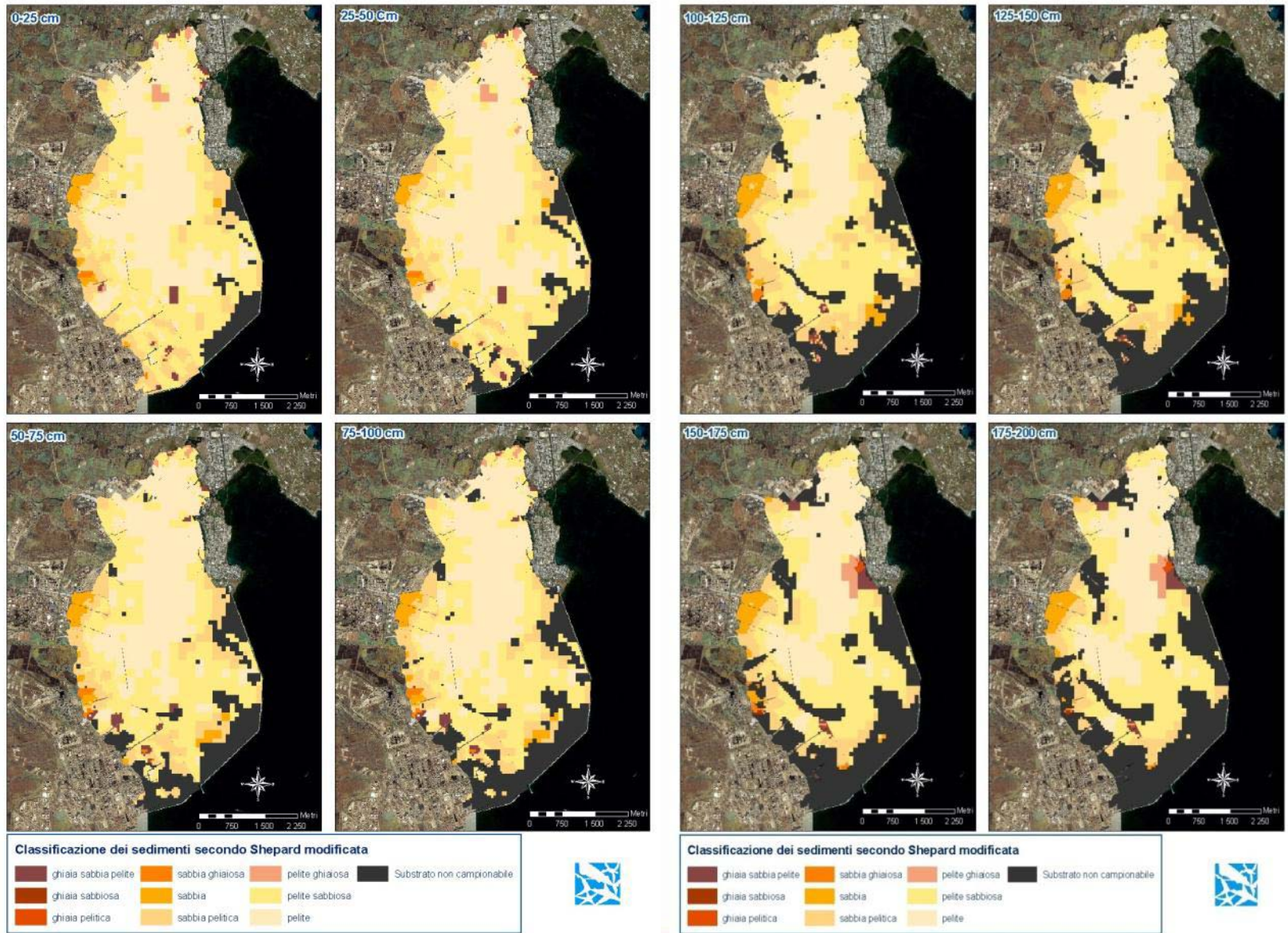


```
Sediment Echo Sounder SES-96  
Ship : San Rocco  
Freq/Puls: 10kHz/2  
Start : 0.00m  
Profile: 2  
Travel: Augusta  
Gain : 52 dB  
Height: 28m  
Innomar Tech  
Area : Portc  
Accum.: -/1/1  
HeaveCorr.: \
```



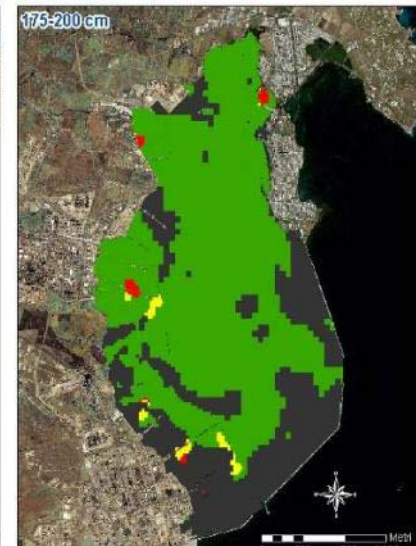
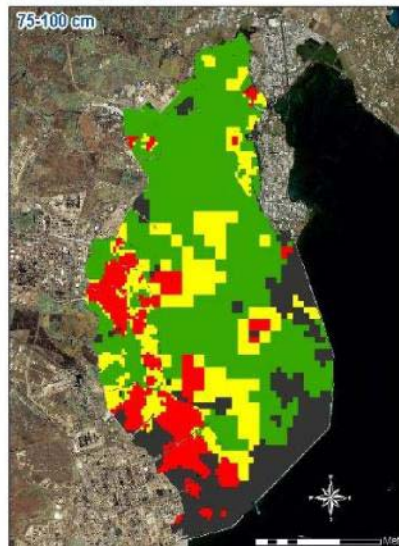
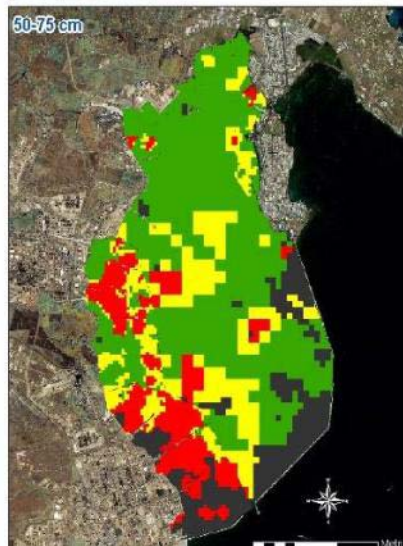
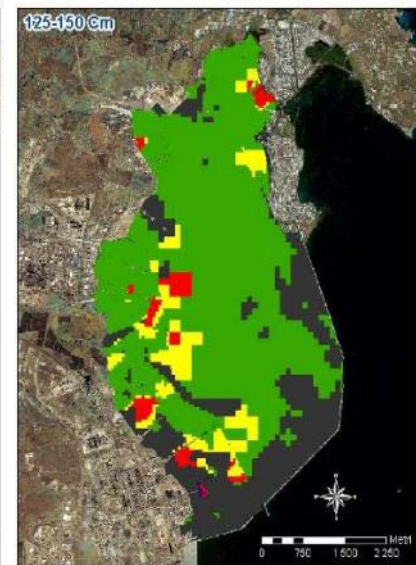
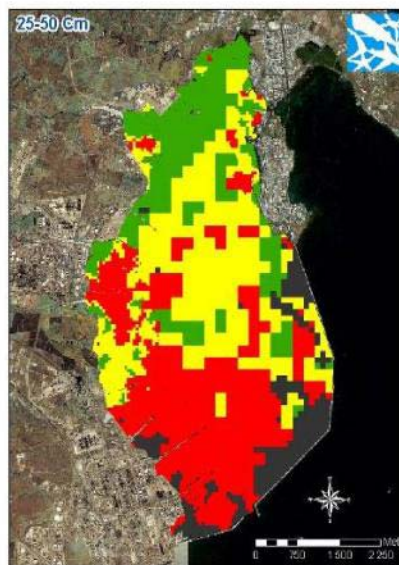
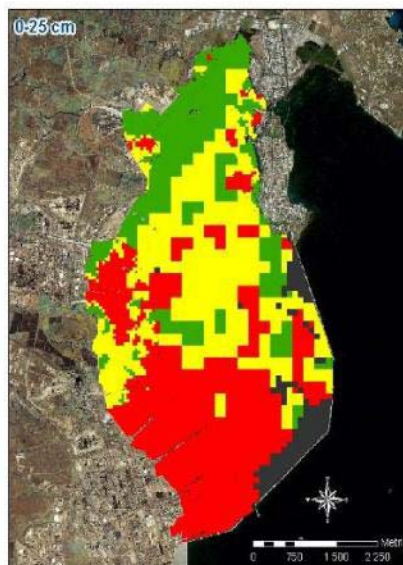
Determinazione dello spessore della coltre sedimentaria incoerente, integrando le informazioni provenienti dalle stratigrafie dei singoli carotaggi con quelle derivanti dai rilievi geofisici (Sub Bottom Profiler, Side Scan Sonar, Multibeam)

Gli esiti della caratterizzazione (1/2)



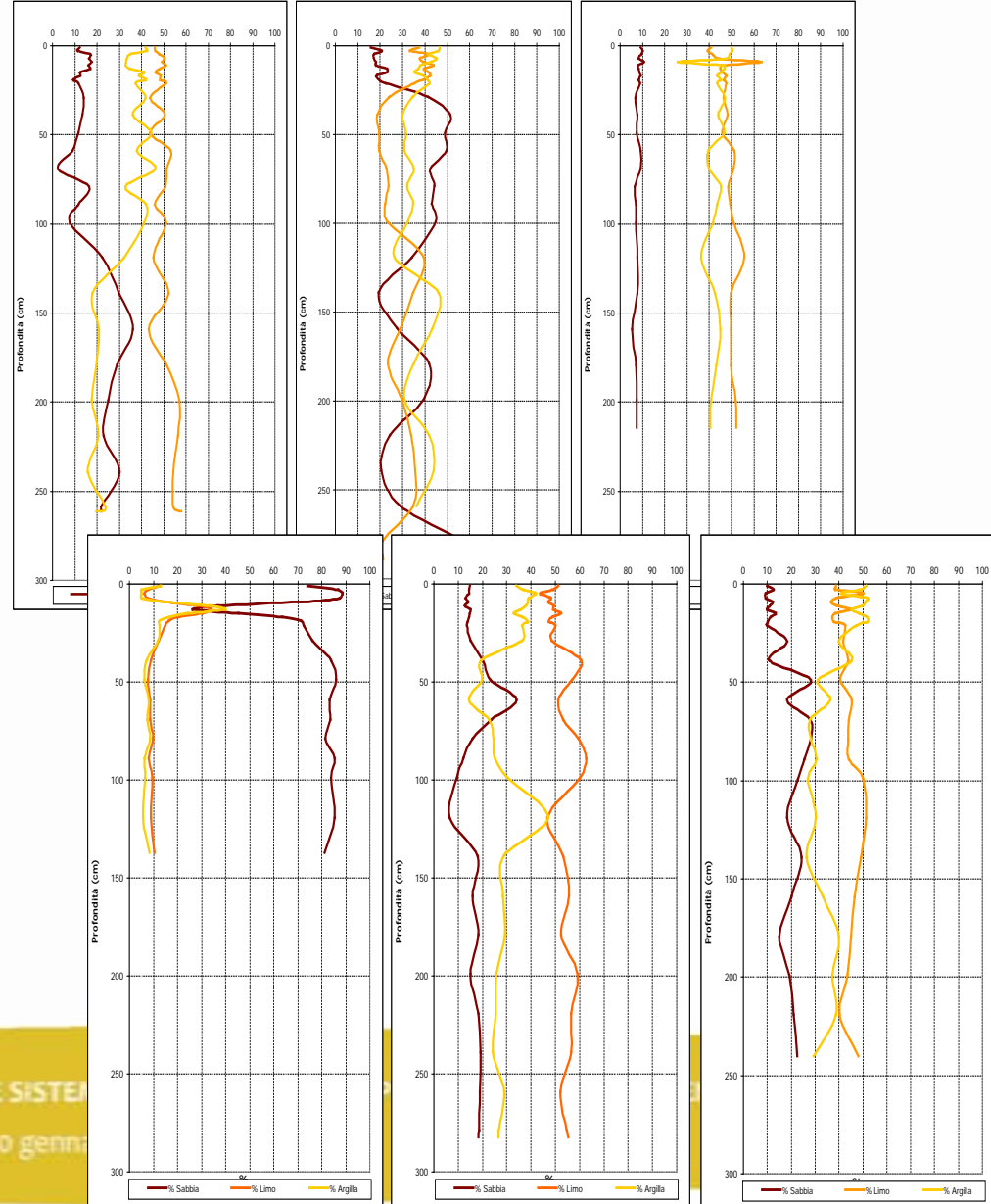
Sedimenti prevalentemente argillo-siltosi, con tendenza all' omogeneità granulometrica lungo tutta la verticale, ad eccezione di livelli, più o meno variabili, che si arricchiscono della frazione sabbiosa

Gli esiti della caratterizzazione (2/2)

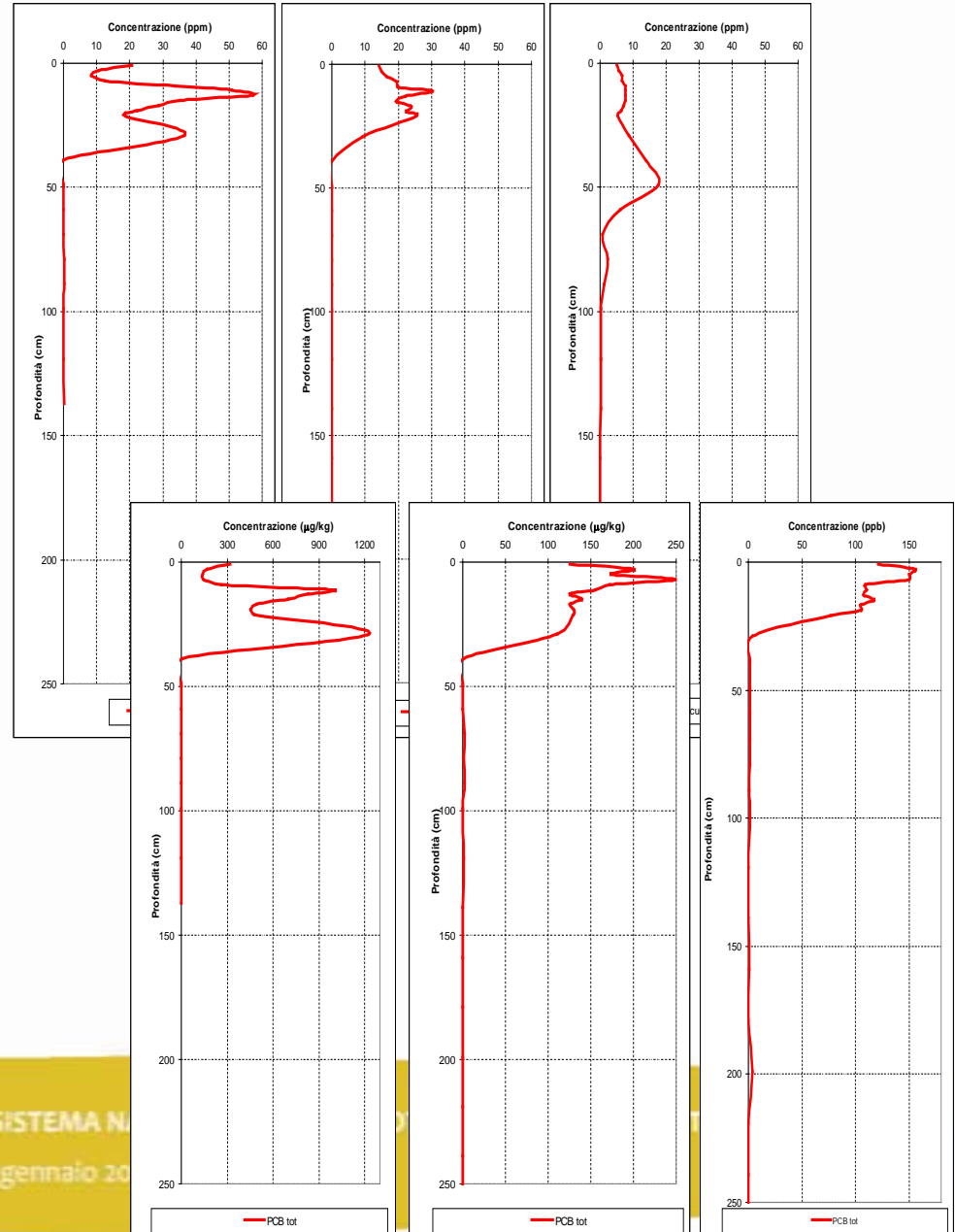
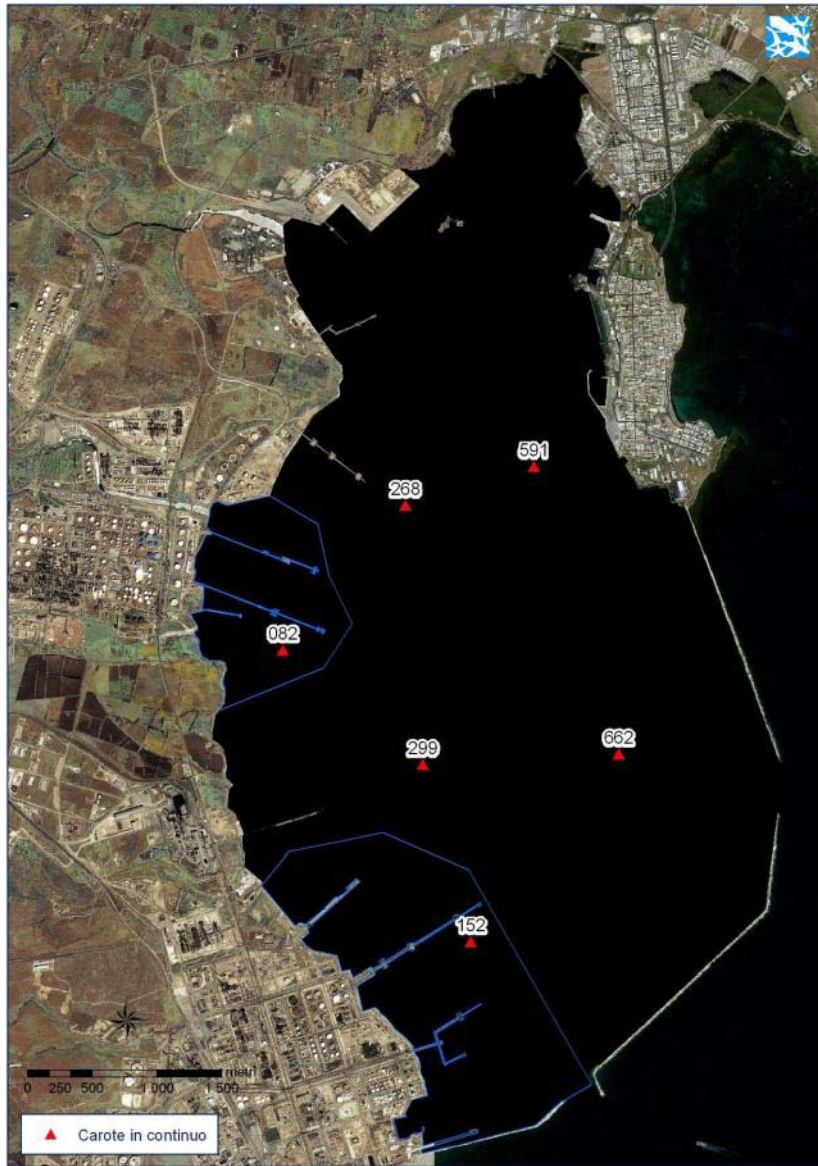


Sedimenti fortemente contaminati da Hg, Pb, Cu, idrocarburi C>12, PCB, HCB, diossine

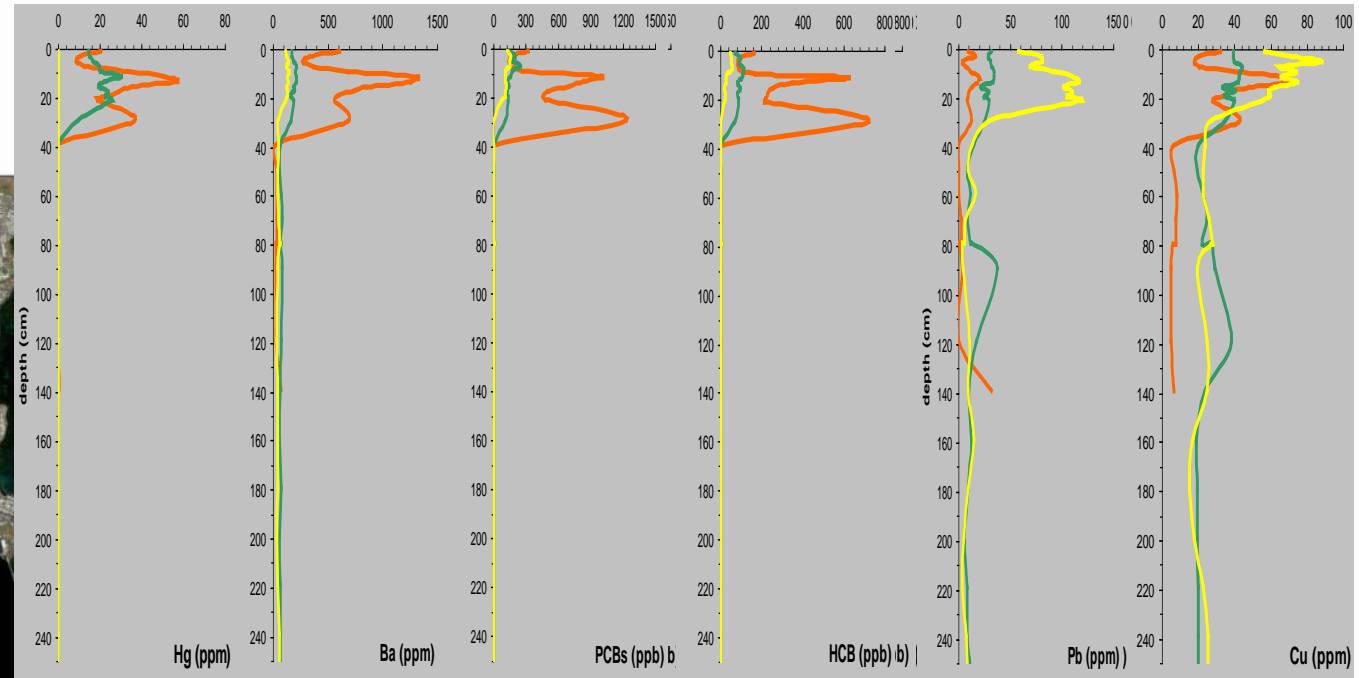
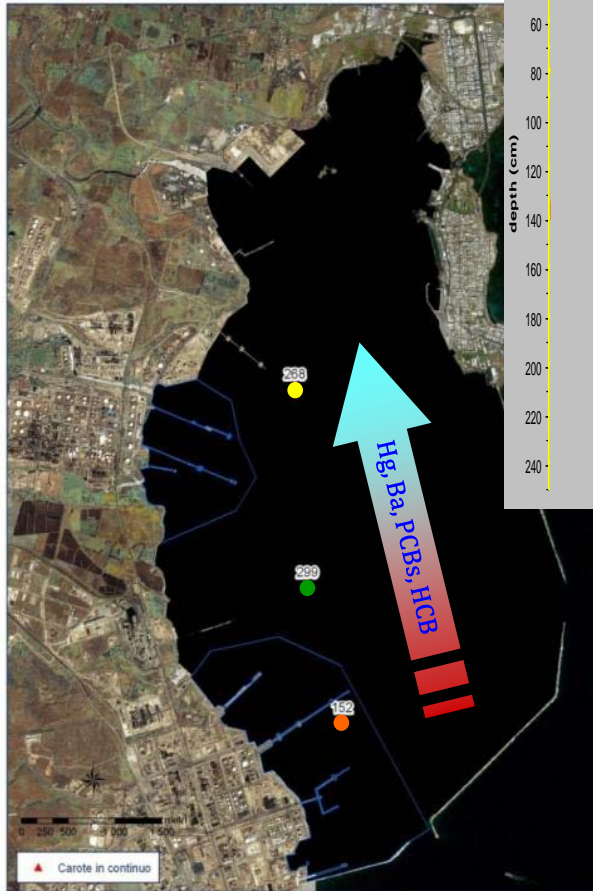
I carotaggi in continuo



I carotaggi in continuo



I contaminanti nei sedimenti



Si riconosce una contaminazione da Hg, Ba, PCB e HCB. La forte correlazione tra questi contaminanti e il trend di diminuzione della concentrazione -da Sud a Nord- suggerisce una *potenziale "sorgente di contaminazione"* nell' area meridionale.

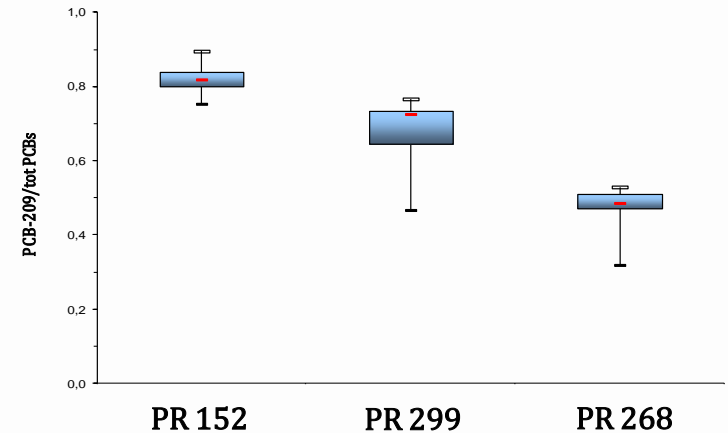
Si riscontra inoltre, un incremento delle concentrazioni nei livelli più superficiali a testimonianza di una potenziale rimobilizzazione degli stessi.

La contaminazione da Pb risulta concentrata nel settore settentrionale

La contaminazione da Cu non mostra una distribuzione particolare

Peculiarità dei PCB

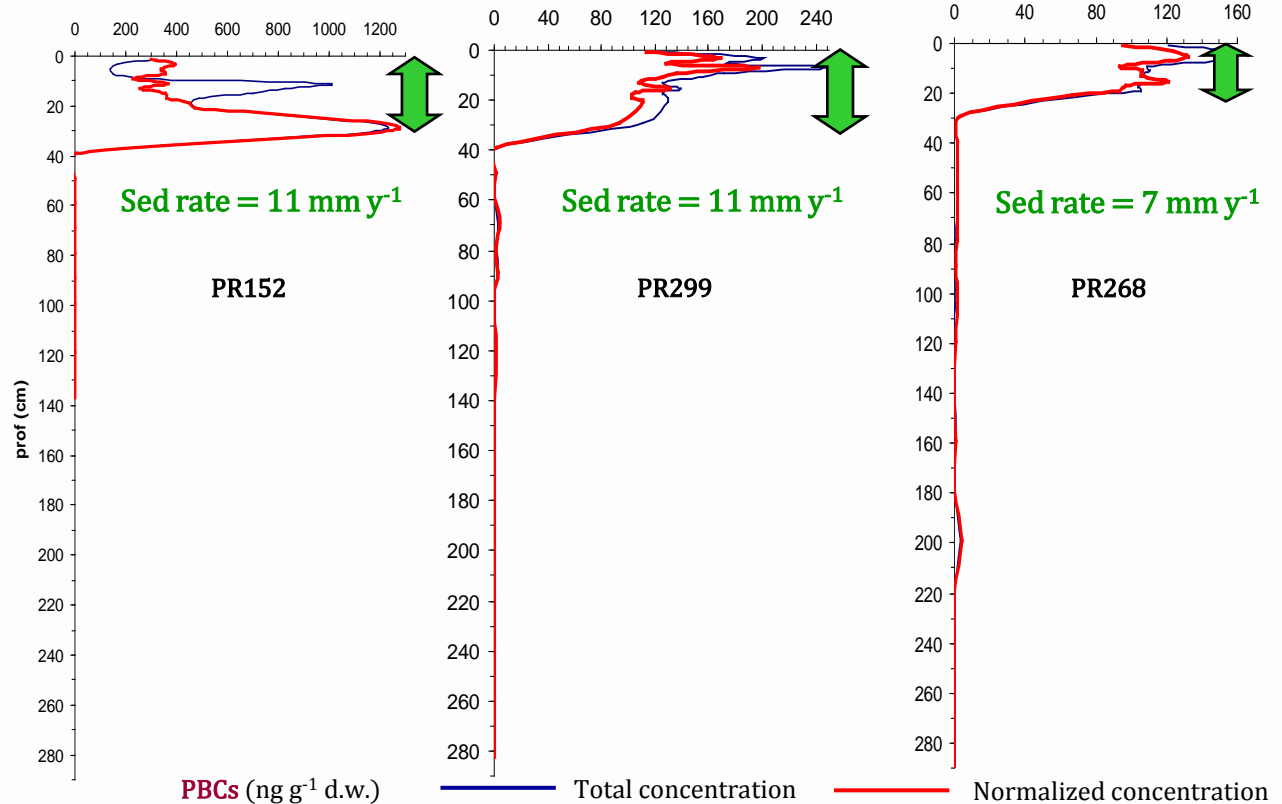
Significativa presenza, rispetto alla sommatoria dei PCB ricercati, del cogenere PCB-209 ($C_{12}Cl_{10}$ decaclorobifenile) assente nelle miscele commerciali e generalmente usato come standard interno per la determinazione analitica, che invece nei sedimenti contaminati risulta pari all' 80% dei PCB totali.



Tale anomalia risulta presente in tutti i sedimenti contaminati da Hg, PCB, Ba e HCB, suggerendo una potenziale sorgente di contaminazione comune, localizzata nel settore meridionale.

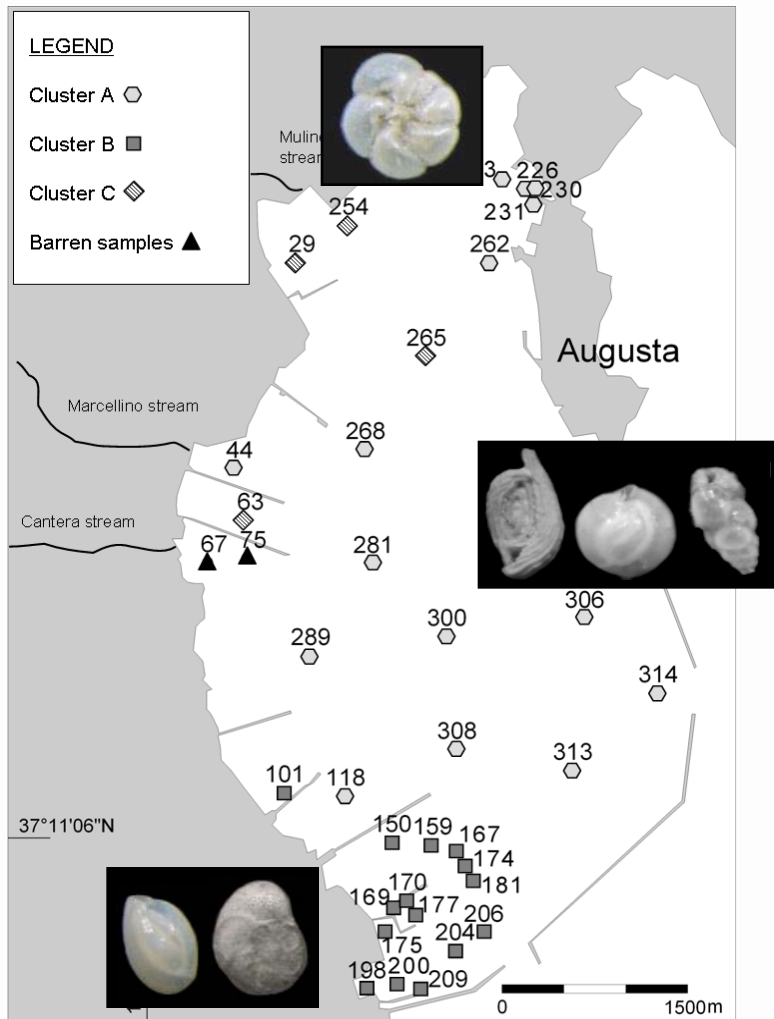
Tali contaminanti sono ascrivibili all' attività dell' impianto cloro-soda, presente a lungo nel settore meridionale della rada.

L' impatto antropico



I tassi sedimentari calcolati utilizzando eventi storici noti hanno consentito di attribuire i sedimenti contaminati al periodo compreso tra il 1979 e il 2006 e la contaminazione maggiore tra il 1979 e la metà/fine degli anni '90 (periodo principale di attività dell' impianto cloro-soda).

Indicatori ambientali – i foraminiferi bentonici



Romano et al., Environ. Sci.: Processes Impacts 2013, 15, 930-946

Studio delle associazioni a foraminiferi bentonici recenti per una valutazione dello stato di qualità dell' ambiente marino, in funzione della capacità che hanno di rispondere allo stress ambientale sia di origine naturale che antropica

Prelievo di campioni di sedimento superficiale per lo studio dei foraminiferi e delle caratteristiche tessiturali e chimiche

La maggioranza delle specie è influenzata dalla granulometria del sedimento, sabbioso (*R. bradyi* e *L. lobatula*) o fine (*B. marginata*, *A. tepida*)

Hg e PCB influenzano le associazioni riducendone diversità e densità favorendo la presenza di alcune specie (*Q. lata* e *R. bradyi*) che vengono identificate come specie indicatrici di questa tipologia di contaminazione

La disponibilità di nutrienti è un fattore secondario rispetto alle caratteristiche tessiturali e alla tipologia e entità di contaminazione

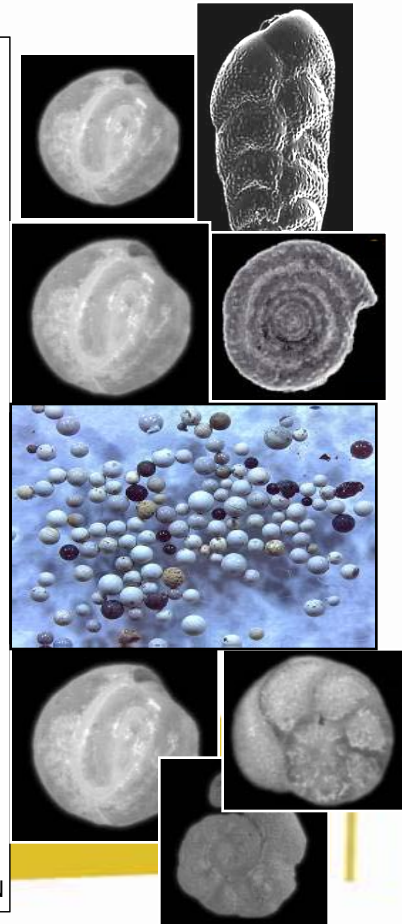
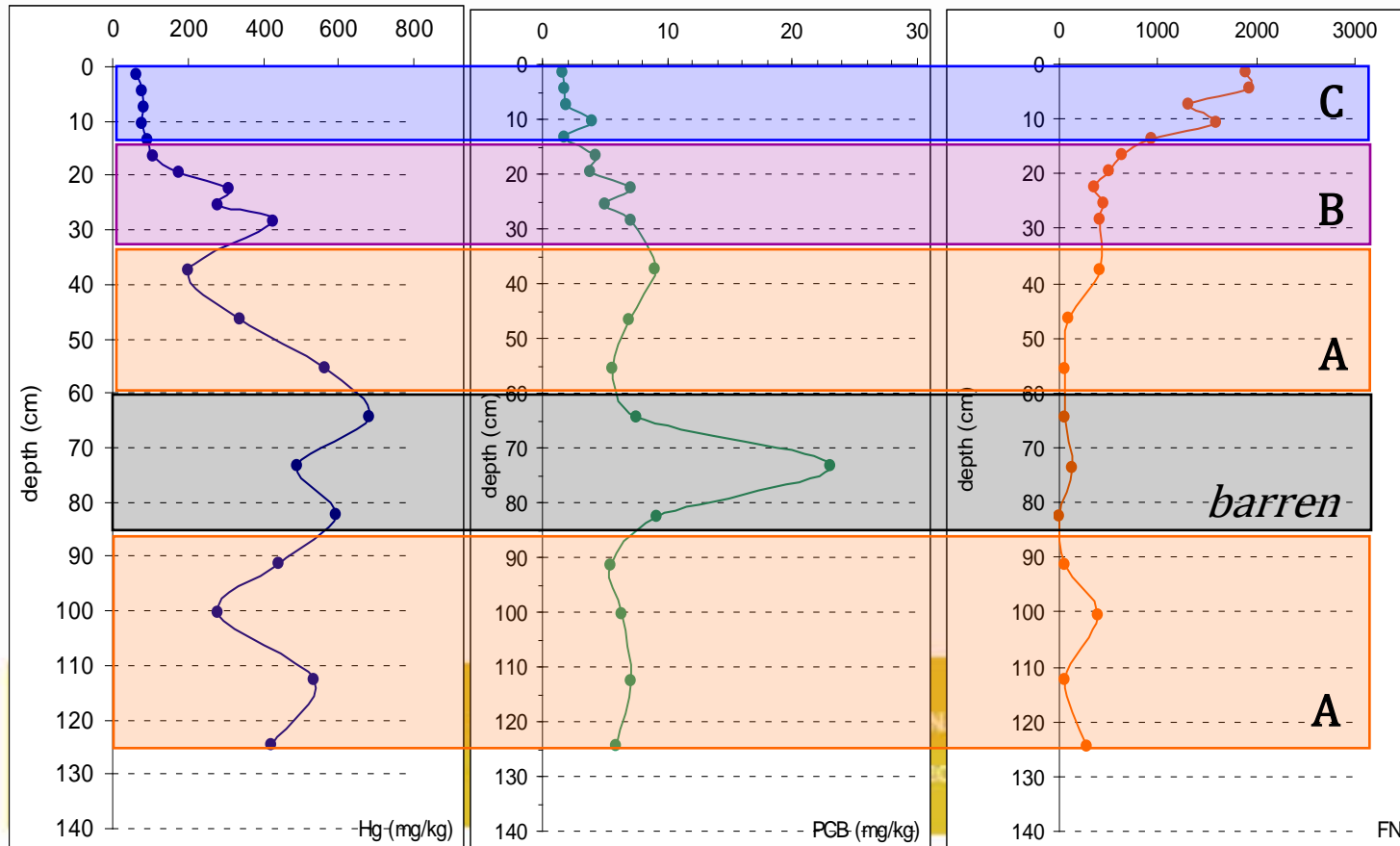
I foraminiferi hanno dimostrato elevato grado di tolleranza e possono essere utilizzati come indicatori in aree ad elevata contaminazione.

Indicatori ambientali – i foraminiferi bentonici

In corrispondenza delle massime concentrazioni di Hg e PCB si osserva una totale assenza di foraminiferi bentonici e invece, una presenza di granuli derivanti da attività industriale.

L'associazione a foraminiferi (*Miliolinella subrotunda* e *Bolivina variabilis*), presente prima e dopo l'intervallo sterile, corrisponde al periodo di massima attività industriale e subisce il massimo stress ambientale.

Le associazioni B (*Miliolinella subrotunda* e *Spirillina vivipara*) e C (*Miliolinella subrotunda* e *Rosalina bradyi*), verso il top della carota, corrispondono a una progressiva diminuzione delle concentrazioni di Hg e PCB e ad un miglioramento ambientale.



Indagini sugli organismi

Indagini ripetute nel tempo: 2003, 2004, 2008, 2013

Trapianto e raccolta mitili (*Mytilus galloprovincialis*)

Campagne di pesca:

Mullus barbatus - triglia

Scorpaena notata - scorfanotto

Pagellus erythrinus - pagello

Serranus cabrilla - sciarrano comune

Spaurus aurata - orata

Sphyraena sphyraena - barracuda

Analisi chimiche per la valutazione del bioaccumulo negli organismi e analisi di biomarkers:

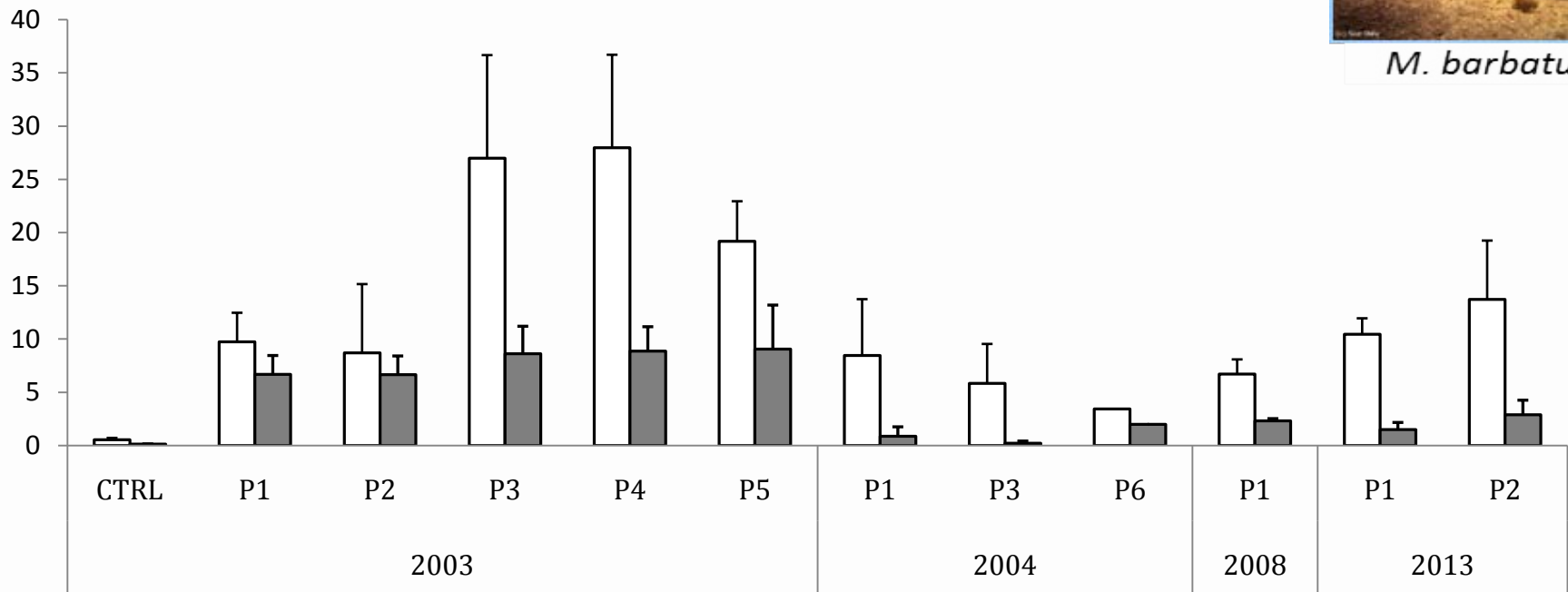
- Metalli ed elementi in tracce - As, Cd, Cr tot, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
- Policlorobifenili -PCB
- Esaclorobenzene - HCB
- Composti organoclorurati (esaclorobutadiene, pp' -DDE)
- Idrocarburi Policiclici Aromatici - IPA
- Citocromo P450 (attività EROD)
- Presenza di micronuclei
- Metaboliti di idrocarburi policiclici aromatici nella bile



Bioaccumulo nei pesci



M. barbatus



Bioaccumulo Hg $\mu\text{g/g}$ peso secco
confronto tra gli anni 2003, 2004, 2008, 2013

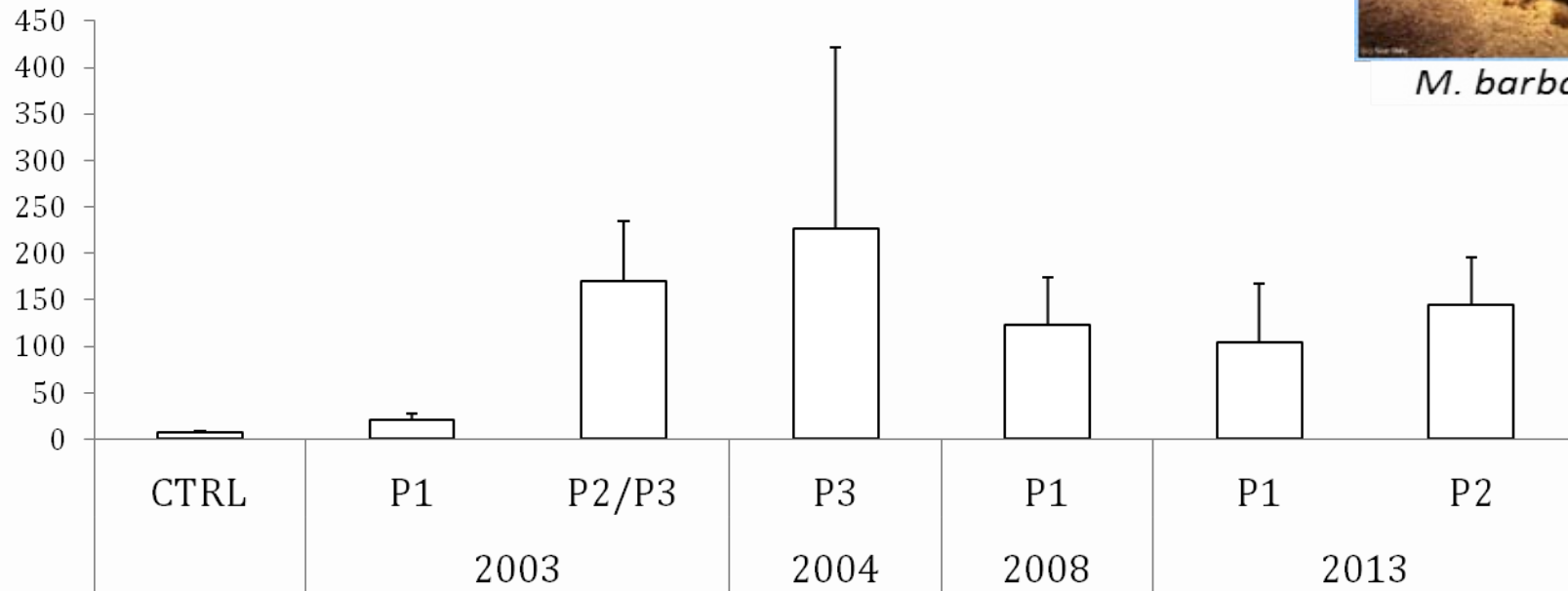
□ FEGATO
■ MUSCOLO

Biomarker nei pesci

Attività del citocromo P450 (EROD)
pmol/min/mg proteine



M. barbatus

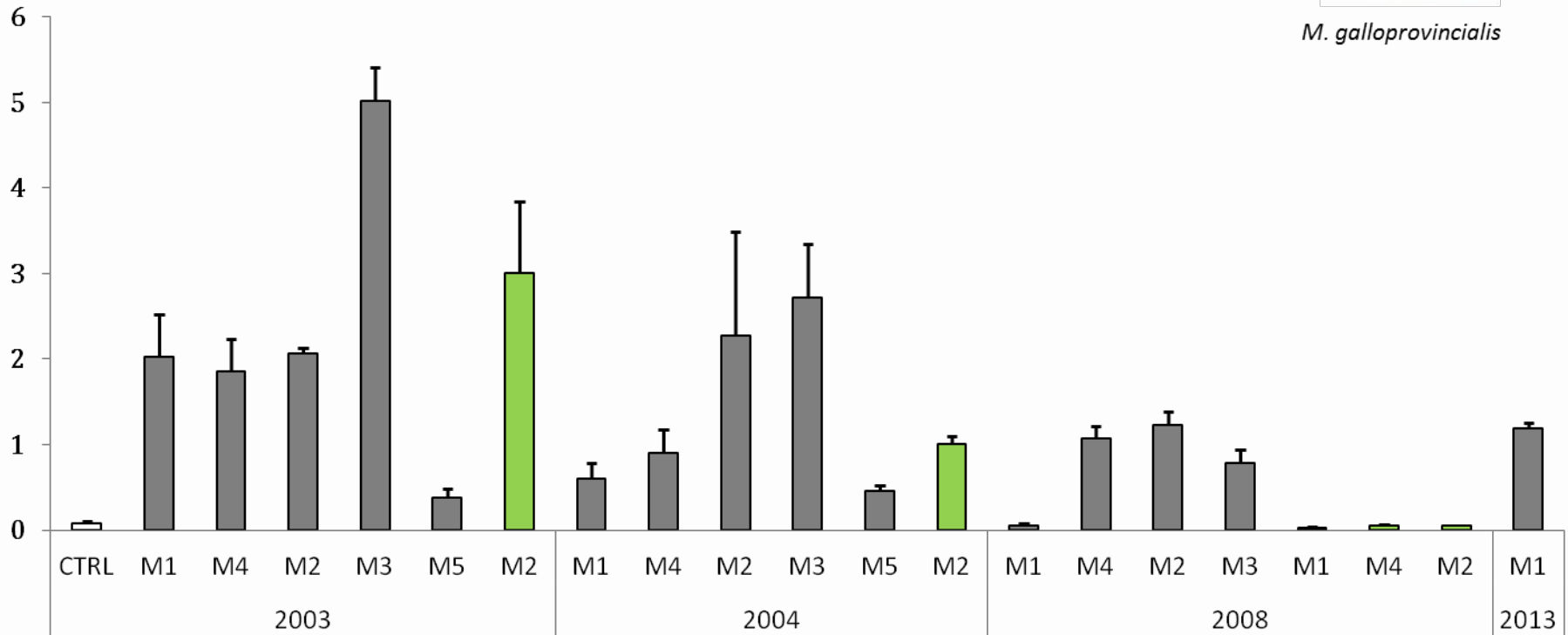


Biomarker confronto tra gli anni 2003, 2004, 2008, 2013 (fegato)



Bioaccumulo nei mitili



M. galloprovincialis



Bioaccumulo Hg µg/g peso secco
confronto tra gli anni 2003, 2004, 2008, 2013

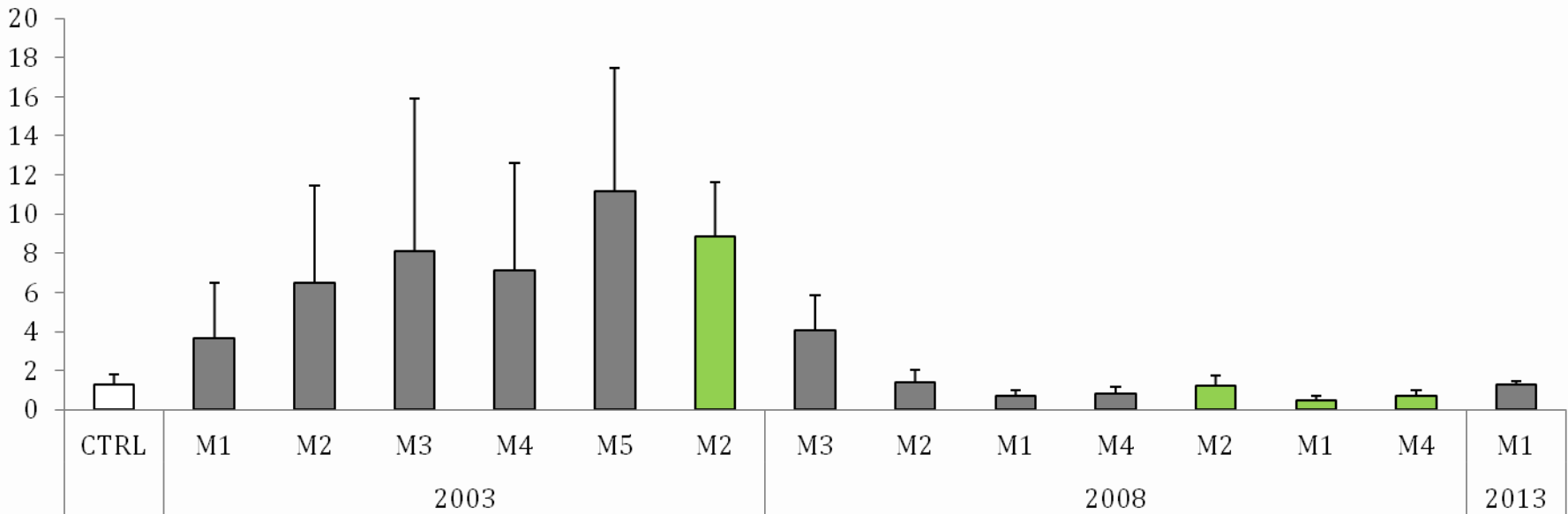
 Trapiantati
 Naturali

Biomarker nei mitili



M. galloprovincialis

Frequenza dei micronuclei nell'emolinfa ‰

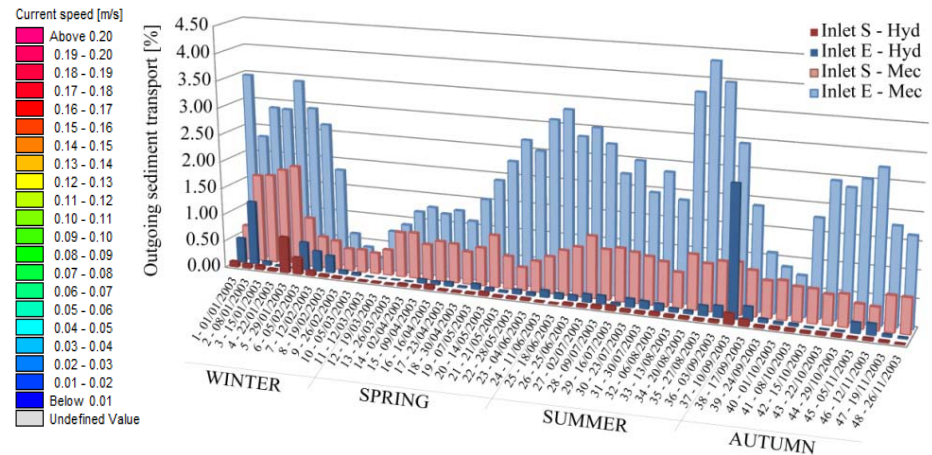
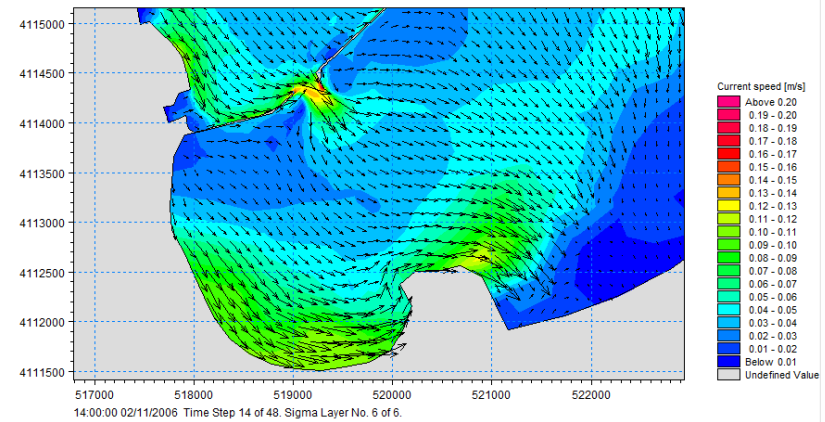
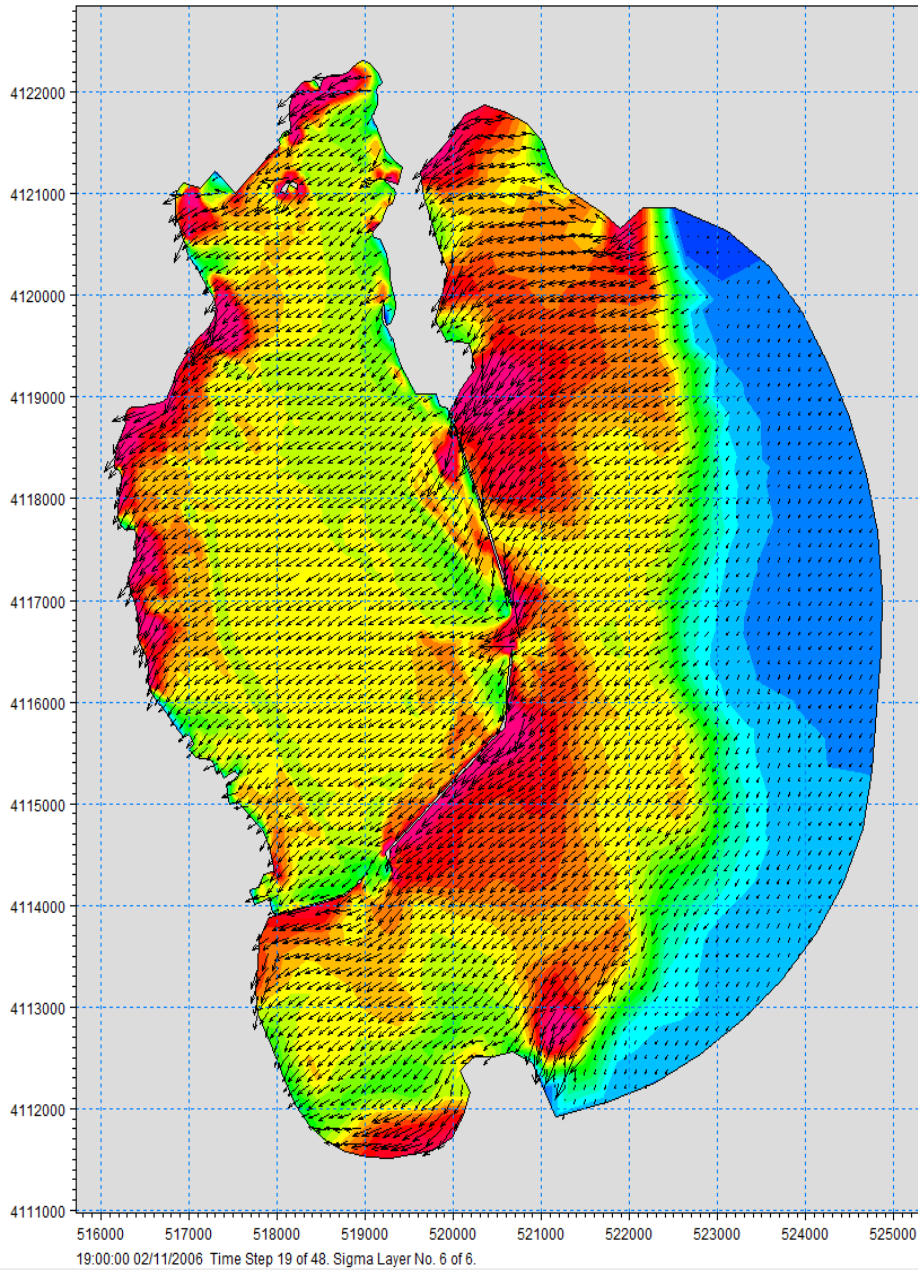


Biomarker confronto tra gli anni 2003, 2004, 2008, 2013

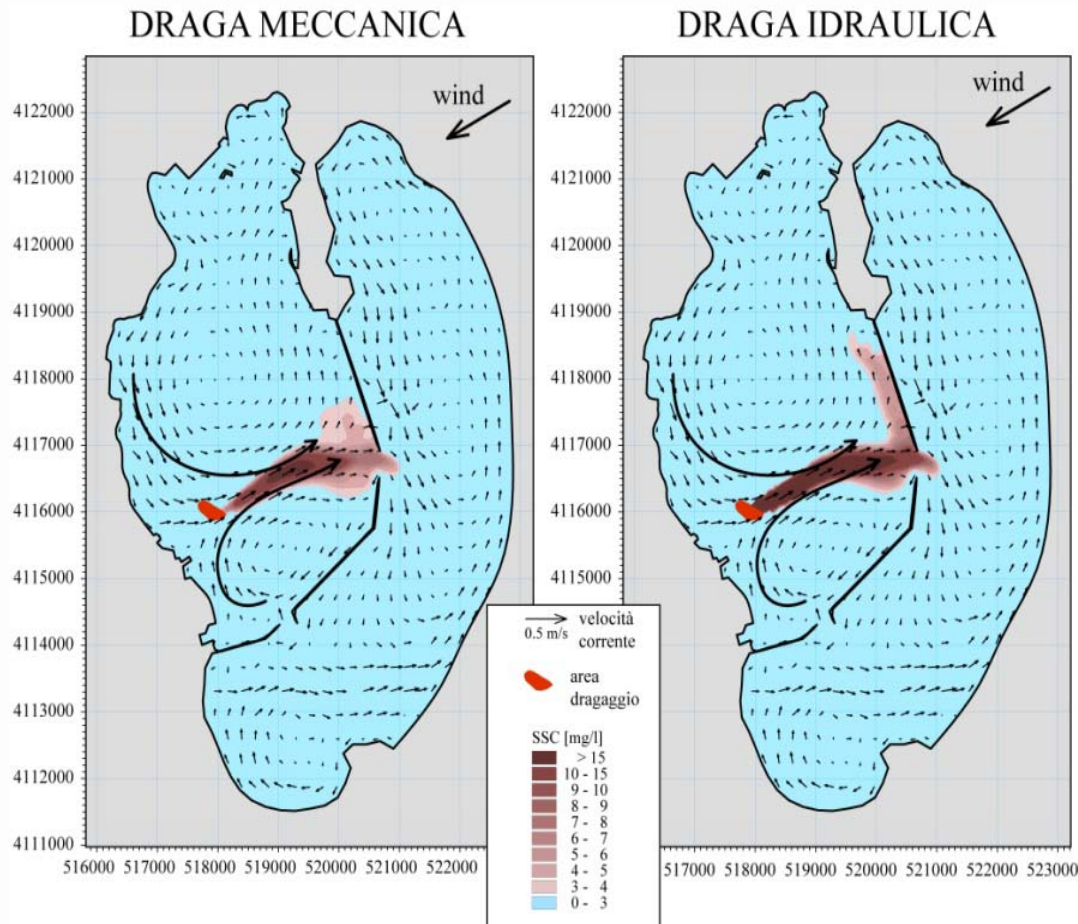
- Trapiantati
- Naturali

La modellistica nella valutazione degli impatti

Studio delle caratteristiche idrodinamiche dell' area finalizzato alla comprensione dei meccanismi di risospensione dei sedimenti e potenziale trasferimento della contaminazione in condizioni naturali e di eventuali attività di dragaggio



La modellistica nella valutazione degli impatti



Scenario relativo ad attività di dragaggio nell' area con due tipi di draga (different geometria e modalità di lavorazione e rilascio):

- Meccanica
- Idraulica

The key role played by the Augusta basin (southern Italy) in the mercury contamination of the Mediterranean Sea

Mario Sprovieri,^{a,c} Elvira Oliveri,^a Rossella Di Leonardo,^b Elena Romano,^c Antonella Ausili,^c Massimo Gabellini,^c Marco Barra,^d Giorgio Tranchida,^a Adriana Bellanca,^b Rodolfo Neri,^b Francesca Budillon,^d Roberto Saggiomo,^c Salvatore Mazzola^a and Vincenzo Saggiomo^f

- Ausili A., Gabellini M., Cammarata G., Fattorini D., Benedetti M., Pisanelli B., Gorbi S., Regoli F., 2008. Ecotoxicological and human health risk in a petrochemical district of southern Italy. **Marine Environmental Research**, 66, 215–217.
- Romano E., Bergamin L., Finoia M.G., Celia Magno M., Mercatali I., Ausili A., Gabellini M., 2009 The effects of human impact on benthic foraminifera in the Augusta harbour (Sicily, Italy). In Moksness E., Dahl E., Støttrup J. (Eds.), **Integrated Coastal Zone Management**. Wiley-Blackwell, Chichester; 97-115.
- Lisi I., Taramelli A., Di Risio M., Cappucci S. and Gabellini M., 2009. Flushing efficiency of the Augusta Harbor (Italy), **Journal of Coastal Research Special Issue** 56, 841-845.
- Sprovieri M., Oliveri E., Di Leonardo R., Romano E., Ausili A., Gabellini M., Barra M., Tranchida G., Bellanca A., Neri R., Budillon F., Saggiomo R., Mazzola S., Saggiomo V., 2011. The key role played by the Augusta basin (southern Italy) in the mercury contamination of the Mediterranean Sea. **Journal Environmental Monitoring** 13, 1753-1760.
- Celia Magno M., Bergamin L., Finoia M.G., Pierfranceschi G., Venti F., Romano E., 2012. Correlation between textural characteristics of marine sediments and benthic foraminifera in highly anthropogenically-altered coastal areas. **Marine Geology** 315-318, 143-161.
- Ausili A., Cappucci S., Gabellini M., Innocenti C., Maffucci M., Romano E., Rossi L., Taramelli A., 2012. New Approaches for Multi Source Data Sediment Characterisation, Thickness Assessment and Clean up Strategies. **Chemical Engineering Transactions** 28, 223-228.
- Romano E., Bergamin L., Celia Magno M., Ausili A. 2013. Sediment characterization of the highly impacted Augusta harbour (Sicily, Italy): modern benthic foraminifera in relation to grain-size and sediment geochemistry. **Environmental Science: Processes & Impacts** 15, 930-946.
- Croudace I.W., Romano E., Ausili A., Bergamin L., Rothwell G. 2015. X-ray core scanners as an environmental forensics tool: a case study of polluted harbour sediment (Augusta Bay, Sicily). **Developments in Environmental Research** (Series Editor – J.P. Smol), *Micro-XRF Studies of Sediment Cores* (Croudace I.W Ed.), Springer; in press.

Grazie per l' attenzione

