



UNIVERSITÀ DI SIENA 1240

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SIENA**

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
CORSO DI LAUREA IN SCIENZE AMBIENTALI ECO.GE.F.CO.  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AMBIENTALI "G. SARFATTI"

**DETERMINAZIONE DELL'INDICE TROFICO TRIX NELL'AREA  
CIRCOSTANTE IL RELITTO DI COSTA CONCORDIA**

**Relatore:**

Dr.ssa Ilaria Caliani

**Correlatore:**

Dott. Fabio Gambassi

**Tesi di Laurea di:**

Giuseppe Trinchini

Anno Accademico 2011-2012

# INDICE

<b>1. SINTESI.....</b>	<b>1</b>
<b>1. ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>2. SCOPO DELLA TESI.....</b>	<b>3</b>
<b>3. INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Il monitoraggio marino costiero.....</b>	<b>4</b>
3.1.1 <i>Quadro normativo di riferimento per i nutrienti ed i contaminanti in mare.....</i>	<i>4</i>
<b>3.2 L'ARPAT e la gestione delle coste toscane.....</b>	<b>5</b>
3.2.1 <i>Il battello oceanografico Poseidon.....</i>	<i>7</i>
<b>3.3 Il fenomeno dell'eutrofizzazione.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Nutrienti e sostanza organica in mare.....</b>	<b>9</b>
<b>3.5 L'indice trofico TRIX.....</b>	<b>11</b>
3.5.1 <i>L'indice trofico TRIX come indicatore di scostamenti significativi delle condizioni di trofia delle aree a basso livello trofico.....</i>	<i>13</i>
<b>4. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 L'incidente alla nave da crociera Costa Concordia.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Il piano di monitoraggio della nave Costa Concordia.....</b>	<b>15</b>
<b>4.3 Metodologie di campionamento.....</b>	<b>18</b>
4.3.1 <i>Il campionamento della matrice acqua.....</i>	<i>18</i>
<b>4.4 Metodi di analisi.....</b>	<b>20</b>
4.4.1 <i>Analisi dei nitrati.....</i>	<i>20</i>
4.4.2 <i>Analisi dei nitriti.....</i>	<i>21</i>
4.4.3 <i>Analisi dell'ammoniaca.....</i>	<i>21</i>
4.4.4 <i>Analisi degli ortofosfati.....</i>	<i>21</i>
4.4.5 <i>Analisi dell'azoto e fosforo totali.....</i>	<i>21</i>
<b>5. RISULTATI E DISCUSSIONI.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1 Analisi dei nutrienti intorno alla Costa Concordia.....</b>	<b>23</b>
5.1.1 <i>Analisi dei nutrienti dopo dieci giorni dall'incidente.....</i>	<i>23</i>
5.1.2 <i>Analisi dei nutrienti nel periodo gennaio-novembre.....</i>	<i>25</i>
5.1.3 <i>Analisi dei nutrienti nei punti P12 e P13 nel periodo marzo-ottobre.....</i>	<i>26</i>
<b>5.2 Indice trofico TRIX all'Isola del Giglio.....</b>	<b>28</b>
<b>5.3 Confronto tra il TRIX del Giglio e le stazioni della rete di monitoraggio regionale.....</b>	<b>29</b>
<b>6. CONCLUSIONI.....</b>	<b>32</b>
<b>7. RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>33</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>34</b>

## 1.SINTESI

In questa tesi si è indagato lo stato di qualità ambientale dell'area circostante il disastro della nave da crociera Costa Concordia che ha fatto naufragio sulle coste dell'Isola del Giglio il 13 gennaio 2012 arenandosi sugli scogli delle "Scole" a poche centinaia di metri da Giglio Porto (Grosseto). A tal fine sono stati utilizzati i dati raccolti da ARPAT Toscana durante il monitoraggio eseguito dal proprio battello scientifico *Poseidon*, che ha effettuato campionamenti in sei punti nell'area circostante il relitto (P1 – Centro nave lato dritta, P2 – Prua nave, P3 – Centro nave lato sinistra, P4 – Poppa nave, P5 – Bianco riferimento, P6 – Dissalatore); successivamente sono stati inseriti altri due punti di campionamento, definiti P12 (Punta Le Scole) e P13 (secca della Croce). I dati sono stati inoltre confrontati con quelli raccolti in cinque stazioni di campionamento vicine all'Isola del Giglio (Porto S.Stefano, Montecristo, Foce Bruna, Cala Forno, Mola) già previsti nella rete di monitoraggio regionale ARPAT, campionati in continuo dal 2001 ad oggi. Nelle stazioni sopra citate, con sonda multiparametrica, sono stati acquisiti parametri quali la clorofilla "a" ed ossigeno disciolto; sono stati inoltre determinati analiticamente i nutrienti. I dati sono stati inoltre analizzati attraverso l'indice trofico TRIX, un indice finalizzato alla definizione dello stato delle acque marino costiere in classi di qualità.

I risultati ottenuti hanno mostrato che i valori di ossigeno disciolto, azoto totale e clorofilla "a" riscontrati nei punti P1, P2, P3 e P4 (dritta, sinistra, prua e poppa della nave) erano simili a quelli misurati nei punti P5 (ad un miglio dalla nave) e P6 (dissalatore, ad oltre un miglio dal luogo dell'incidente). Tali valori rientravano tutti nei limiti di legge e nei limiti di riferimento forniti da ARPAT, sia dopo dieci giorni che dopo dieci mesi dall'incidente.

Inoltre i valori di TRIX riscontrati sia a prua che a poppa della Concordia non si discostavano dal valore di bianco (P5) e rientravano tutti ampiamente nei valori di eccellenza, in quanto tutti ampiamente al di sotto di 4. Confrontando tali valori di TRIX intorno al relitto con quelli misurati in cinque aree vicine (Cala di Forno, Foce Bruna, Mola, Porto S.Stefano, Montecristo) è stato possibile evidenziare che, grazie anche alle azioni attuate intorno al relitto, l'impatto a livello di trofia sulle coste dell'Isola del Giglio è rimasto contenuto.

## 1. ABSTRACT

In this thesis it is investigated the status of environmental quality of the area surrounding the disaster of the "Costa Concordia" cruise liner which shipwrecked onto the "Scole" rocks of Isola del Giglio, a few hundred metres from Giglio Porto (Grosseto), on January 13<sup>th</sup>, 2012. To this end, we used data collected by ARPAT Tuscany during monitoring carried out by their scientific boat *Poseidon*, which sampled six points in the area surrounding the wreck (P1 – mid-ship starboard side, P2 – ship bow, P3 – mid-ship left side, P4 –ship stern, P5– white, P6 – watermaker); later two more sample points were chosen: P12 (Punta Le Scole) and P13 (Secca della Croce).

These data were then compared to those collected in five sampling stations near the Isola del Giglio (Porto S.Stefano, Montecristo, Foce Bruna, Cala Forno, Mola) already planned in the ARPAT regional monitoring network and sampled continuously since 2001 to the present. Parameters such as chlorophyll "a" and dissolved oxygen were acquired with multiparameter probe in these stations; nutrients were also determined analytically. Data were analyzed through the TRIX trophic index, an index for defining the state of the marine-coastal waters in quality classes.

The results showed that dissolved oxygen values, total nitrogen and chlorophyll "a" evaluated in P1, P2, P3 and P4 (starboard, left, bow and stern of the ship) are similar to those measured in P5 (one mile from the ship) and P6 (watermaker, far more than a mile from the scene of the accident).

All these values were within the law thresholds and within the limits of reference provided by ARPAT, both after ten days and after ten months from the incident.

TRIX values encountered both at the bow and the stern of Concordia do not deviate from the white value (P5) and they all are in the excellence class, because all widely below 4. Comparing these TRIX values around the wreck to those measured in the five stations (Porto S.Stefano, Montecristo, Foce Bruna, Cala Forno, Mola), we can highlight that, thanks also to the containment measures implemented around the wreck, the impact remained contained at the atrophy level on the coast of Isola del Giglio.

## 2. SCOPO DELLA TESI

Il lavoro di questa tesi si inserisce nell'ambito del piano di monitoraggio attuato da ISPRA –ARPAT per il monitoraggio della qualità ambientale nelle acque dell'Isola del Giglio, dopo l'incidente della nave da crociera Costa Concordia che ha fatto naufragio nei pressi di Giglio Porto il 13 gennaio 2012. Obiettivo del programma è il monitoraggio delle acque costiere del Giglio e il confronto di queste con quelle comprese nel programma istituzionale della Regione Toscana, che prevede 14 aree di indagine lungo la costa con 19 punti di campionamento monitorati da ARPAT. Lo scopo del monitoraggio regionale è quello di determinare la classificazione delle acque marino costiere attraverso lo studio dei risultati riferiti all'andamento dell'indice trofico TRIX che definisce lo stato delle acque marino costiere in classi di qualità. L'introduzione dell'indice trofico TRIX, e della relativa scala trofica, rende possibile la misura dei livelli trofici in termini rigorosamente oggettivi, nonché il confronto tra differenti sistemi costieri per mezzo di una scala quantitativa che copre un'ampia gamma di situazioni trofiche, così come queste si presentano lungo tutto lo sviluppo costiero italiano, e più in generale nella regione mediterranea.

Il lavoro di questa tesi, svolto elaborando i dati di ARPAT raccolti mediante il battello scientifico *Poseidon*, si articola nelle seguenti fasi:

- 1 – campionamento delle aree di studio con l'utilizzo del battello oceanografico come previsto dalle norme istituzionali;
- 2 – misurazioni nelle stazioni previste, con sonda multiparametrica per l'acquisizione di parametri quali la clorofilla "a", ossigeno disciolto, temperatura e salinità;
- 3 – determinazione analitica dei nutrienti;
- 4 – elaborazione dei dati ottenuti al fine di determinare l'indice trofico TRIX.

ARPAT Toscana durante il monitoraggio effettuato dal proprio battello scientifico *Poseidon*, ha effettuato campionamenti in sei punti nell'area circostante il relitto (P1 – Centro nave lato dritta, P2 – Prua nave, P3 – Centro nave lato sinistra, P4 – Poppa nave, P5 – Bianco riferimento, P6 – Dissalatore); successivamente sono stati inseriti nel piano di monitoraggio altri due punti di campionamento, definiti P12 (Punta Le Scole) e P13 (secca della Croce). Tali dati sono stati poi confrontati con quelli raccolti in cinque stazioni di campionamento vicine all'Isola del Giglio (Porto S.Stefano, Montecristo, Foce Bruna, Cala Forno, Mola) già previsti nella rete di monitoraggio regionale ARPAT, campionati in continuo dal 2001 ad oggi.

Le finalità di questo lavoro di tesi era quella di valutare l'evoluzione trofica a breve e a medio termine per l'area di mare antistante l'Isola del Giglio, anche grazie al confronto con 5 punti (Porto S.Stefano, Montecristo, Foce Bruna, Cala Forno, Mola) già previsti nel piano di monitoraggio regionale, per capire se il naufragio ha causato oltre a perdite umane anche danni all'ecosistema, in particolare dal punto di vista trofico.

Le finalità specifiche dello studio erano quelle di:

- confrontare i valori di clorofilla "a", ossigeno disciolto % e nutrienti a 10 giorni dall'incidente valutati intorno al relitto con il punto campionato a largo e indicato dal piano di monitoraggio come "bianco";
- effettuare un confronto tra i valori a prua e poppa della nave su un periodo più lungo che va da febbraio a novembre 2012;
- confrontare i valori misurati nei punti P12 e P13, più lontani dal relitto con il valore di "bianco", sempre sul lungo periodo;
- valutare l'andamento del TRIX intorno al relitto nei primi mesi dopo l'evento;
- confrontare i valori raccolti dal *Poseidon* nei punti P12 e P13 con i valori di TRIX raccolti negli altri 5 punti presi a riferimento dal piano di monitoraggio ministeriale del Costa Concordia.

### 3. INTRODUZIONE

#### 3.1 Il monitoraggio marino costiero

L'ambiente marino costiero è un ecosistema complesso e dinamico, notevolmente soggetto a degrado ambientale, sia per la fragilità tipica di ogni ambiente di transizione, sia per gli interessi conflittuali che vi si accentrano.

La fascia costiera costituisce inoltre una risorsa primaria per l'uomo e racchiude una consistente parte delle risorse economiche del paese. Una tale concentrazione antropica ha però inesorabilmente prodotto elevate pressioni sull'ambiente marino costiero.

Le situazioni di degrado sono purtroppo numerose, tanto da far preoccupare i ricercatori sulla sua conservazione per le generazioni future, ed è divenuto quindi necessario ed improrogabile progettare ed implementare programmi di monitoraggio e di sorveglianza al fine di verificare lo stato di salute degli ambienti e valutarne l'evoluzione nel tempo.

Il monitoraggio marino costiero fornisce (attraverso raccolte dati mirate e specifiche elaborazioni) informazioni precise sulle condizioni ambientali locali, evidenziando i fattori di stress e rendendo quindi possibile la pianificazione di interventi di contenimento e/o ripristino.

##### 3.1.1 *Quadro normativo di riferimento per i nutrienti ed i contaminanti in mare*

Una delle prime leggi riguardanti l'attuazione di una politica intesa alla protezione dell'ambiente marino e alla prevenzione di effetti dannosi alle risorse del mare, era la legge 979/82 applicata dal Ministro della Marina Mercantile. Successivamente è stato emanato il Decreto legislativo 11 maggio 1999, n.152, che disciplina la tutela delle acque in attuazione della Direttiva 91/271/CEE e della Direttiva 91/676/CEE come modificato e integrato dal decreto legislativo 18 agosto 2000, n.258, concernenti rispettivamente il trattamento delle acque reflue urbane e la protezione delle acque dall'inquinamento provocati da nitrati di origine agricola. Le novità fondamentali di questo nuovo quadro normativo, che si rifà alle due direttive comunitarie del 1991, rispetto alla disciplina e alla gestione amministrativa italiana precedente, riguardano la centralità dell'azione del legislatore che non è più centrata sul controllo della fonte d'inquinamento ma sulla qualità ambientale del corpo idrico. Un'altra novità si riferisce ad una nuova pianificazione, programmazione e governo del sistema acque, con proprie delimitazioni.

Il successivo Decreto Legislativo 152/06 ha riordinato la disciplina ambientale in Italia, avviandone il riallineamento con la normativa comunitaria, che in ambito di tutela delle acque è principalmente rappresentata dalla Direttiva CE n. 2000/60, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Come specificamente previsto dal D.Lgs. 152/06, vengono individuati i corpi idrici significativi e quelli di riferimento che costituiscono l'oggetto di osservazione, di campionamento e di misura della rete di monitoraggio. Sono inoltre definite le aree a specifica tutela (aree sensibili, zone vulnerabili, aree di salvaguardia e zone di criticità ambientale). Al fine della tutela e risanamento delle acque superficiali e sotterranee, il presente decreto individua gli obiettivi minimi di qualità ambientale per i corpi idrici significativi.

Per quanto riguarda le acque marino costiere vengono considerate significative quelle comprese entro la distanza di 3000 m dalla costa e comunque entro la batimetria dei 50 m e lo stato di classificazione delle acque marino costiere è dato dallo stato ambientale.

Il Decreto 8 novembre 2010, n. 260 (che ha sostituito recentemente l'analogo decreto n. 56/2009) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, contiene il regolamento recante i "Criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152,

recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo”.

Al fine della tutela e risanamento delle acque superficiali e sotterranee il D.Lgs. 152/06 integrato dal Regolamento di cui al Decreto 8 novembre 2010, n. 260 individua quindi gli obiettivi minimi di qualità ambientale per i corpi idrici significativi.

L'obiettivo di qualità ambientale è definito in funzione della capacità dei corpi idrici di mantenere i processi naturali di autodepurazione e di supportare comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate. Il decreto stabilisce che le regioni adottino piani di tutela che comprendano la definizione dettagliata della rete di monitoraggio qualitativo e quantitativo con la determinazione dello stato di qualità ambientale attuale, definito tramite campionamenti e rilievi eseguiti dalle varie ARPA regionali.

Lo stato di qualità prevede una valutazione congiunta dei parametri chimico fisici, biologici ed ecologici ed è espresso sinteticamente in varie classi. I parametri da analizzare nelle acque, definiti macrodescrittori, sono quelli di base riportati nelle tabelle del Decreto 8 novembre 2010, n. 260, e sono quelli utilizzati per la definizione dell'indice trofico. Gli altri parametri (metalli, idrocarburi, tossicità, etc.) forniscono informazioni di supporto per l'interpretazione delle caratteristiche di qualità e vulnerabilità dell'ambiente marino analizzato. Ad integrazione delle analisi delle acque vanno effettuati analisi e saggi biologici sui sedimenti e sul biota. I risultati di tali indagini hanno la funzione di completare i dati derivanti dalle analisi sulle acque e di concorrere alla definizione dello stato chimico permettendo di definire i valori delle classi di qualità chimica ed ecologica delle acque.

### **3.2 L'ARPAT e la gestione delle coste toscane**

La costa toscana si estende per circa 400 Km nella parte continentale, da Marina di Carrara alla foce del Torrente Chiarone, e per oltre 600 Km se vengono comprese le isole dell'arcipelago. Dal punto di vista morfologico il litorale toscano si presenta differenziato in tre tipologie fondamentali:

- litorali caratterizzati da coste basse e sabbiose, con fondali a debole pendenza e scarsa profondità anche a notevole distanza dalla costa (litorale apuo-versiliese-pisano, litorale livornese nel tratto tra Rosignano e San Vincenzo, Golfo di Follonica, costa grossetana tra Castiglione della Pescaia e Marina di Alberese, tomboli della Laguna di Orbetello e litorale di Capalbio);
- litorali a costa alta, con batimetriche ravvicinate e profondità notevoli già in vicinanza della riva (tratto tra Livorno e Castiglioncello, promontorio di Piombino, Punta Ala, Talamone, Argentario);
- litorali con costa alta e rocciosa ad elevata energia (litorali dell'arcipelago).

La Regione Toscana, con la pubblicazione della Delibera n.100 del 8 febbraio 2010 “Monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee della Toscana in attuazione delle disposizioni di cui al D.Lgs. 152/06 e del D.Lgs. 30/09”, ha approvato la nuova rete di monitoraggio dei corpi idrici toscani ai sensi della Direttiva Europea, recepita in Italia con il D.Lgs. 152/06.

Il programma di monitoraggio regionale, realizzato in convenzione con il Ministero dell'Ambiente, è affidato ad ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana), che ha individuato in accordo con la Regione, 14 aree di indagine (relative ad altrettanti corpi idrici) con 19 punti di campionamento (Figura 1). I 14 corpi idrici indagati (Tabella 1) sono stati classificati in tre categorie: “a rischio” (richiedono un monitoraggio operativo), “non a rischio” (richiedono un monitoraggio di sorveglianza stratificato in tre anni) e “a probabile rischio” di non raggiungere gli obiettivi di qualità (richiedono un monitoraggio di sorveglianza da espletare in un anno).



*Figura 1 - localizzazione dei 19 punti di campionamento in acqua previsti nel piano di monitoraggio delle coste toscane.*

*Tabella 1 - definizione dei punti di prelievo di acqua previsti nel piano di monitoraggio marino-costiero in Toscana. SOR/PR=sorveglianza probabilmente a rischio; SOR/NAR= sorveglianza non a rischio.*

<b>CORPO IDRICO SIGNIFICATIVO</b>	<b>TIPOLOGIA MONITORAGGIO</b>	<b>NOME TRANSETTO</b>
Costa della Versilia	OPERATIVO	Marina di Carrara
Costa del Serchio	SOR / PR	Nettuno
Costa Pisana	OPERATIVO	Fiume Morto
Costa Livornese	SOR / PR	Livorno Porto
		Antignano
Costa del Cecina	SOR / PR	Rosignano Lillatro
		Castagneto
Costa di Piombino	SOR / NAR	Salivoli
Costa di Follonica	OPERATIVO	Carbonifera
Costa di Punta Ala	SOR /PR	Foce Bruna
Costa dell'Ombrone	SOR / PR	Foce Ombrone
Costa dell'Uccellina	SOR / PR	Cala di Forno
Costa dell'Albegna	SOR / PR	Albegna
Costa dell'Argentario	SOR / NAR	Porto Santo Stefano
Costa di Burano	SOR /PR	Ansedonia
Arcipelago Toscano	SOR /NAR	Elba Nord (P. bianca)
		Elba Sud (Mola)
		Capraia (porto)
		Montecristo



La strategia di campionamento prevede l'applicazione della tecnica denominata *a transetto* che individua un'intersezione (transetto) posta a novanta gradi rispetto al fronte litoraneo e, in relazione alla tipologia del fondale (alto, basso e medio), vengono posizionate le stazioni di prelievo sia nelle aree sottoposte a specifiche pressioni antropiche, dette aree critiche, sia in aree scarsamente sottoposte a impatti antropici (Aree Marine Protette) che assumono in tal modo la funzione di zone di riferimento. Le stazioni di prelievo per l'analisi dei sedimenti sono state individuate, a seconda della geomorfologia del tratto costiero considerato, in corrispondenza della fascia di sedimentazione della frazione pelitica. Ogni stazione viene esattamente localizzata per coordinate e profondità tramite la strumentazione di bordo del battello di ARPAT, e caratterizzata con le condizioni ambientali e meteo marine.

Le aree critiche e di riferimento, sono state individuate, di comune accordo tra Regione, ARPAT e Ministero dell'Ambiente, sulla base di tre fattori:

- presenza di sostanze pericolose negli organismi bivalvi;
- stato trofico, corrispondente all'indice trofico TRIX;
- individuazione delle biocenosi di pregio (Posidonie e coralligeni).

### 3.2.1 Il battello oceanografico Poseidon

Il *Poseidon* è il battello oceanografico di ARPAT, progettato e costruito appositamente per svolgere attività di monitoraggio marino e costiero (Figura 2). Una delle principali peculiarità di questa imbarcazione, lunga 18 metri, è quella di poter compiere campagne oceanografiche costiere della durata di diversi giorni. L'imbarcazione è interamente in vetroresina, ed ha lo scafo che, per garantire robustezza e rigidità alla struttura, è supportato da longheroni longitudinali realizzati in vetroresina con anima di poliuretano espanso. La carena, di tipo planante a "V" profonda, garantisce la massima stabilità durante le operazioni di ricerca. Tale forma infatti, consente una bassa resistenza all'avanzamento, un ottimo comportamento in mare agitato e doti di eccezionale manovrabilità e stabilità.



*Figura 2 - il battello oceanografico Poseidon.*

Il battello svolge le seguenti attività:

- monitoraggio marino e costiero nell'ambito del D.Lgs. 152/2006, in rapporto di collaborazione con la Regione Toscana e il Ministero dell'Ambiente. Tale attività prevede l'effettuazione, nell'arco di un anno e lungo l'intera fascia costiera della Toscana, di 6

- campagne per il controllo dello stato trofico, 4 campionamenti per il controllo degli ecosistemi e 4 campagne per il controllo dei bivalvi;
- prelievo dei sedimenti di fondali marini per l'espletamento di pratiche relative al dragaggio di ambiti portuali mediante prelievo di carote;
  - prelievo di sedimento superficiale e biota da fondali marini per la caratterizzazione di aree di dumping;
  - prelievo di campioni di acqua per la misura dei parametri chimico fisici e biologici;
  - misura delle principali caratteristiche chimico-fisiche e biologiche delle acque marine in aree di sperimentazione di nuove metodiche di maricoltura;
  - indagini relative al fenomeno di aggregati mucilluginosi nel Tirreno settentrionale mediante ispezione visiva, prelievi subacquei e misura dei parametri caratterizzanti la massa d'acqua marina per l'individuazione di pennacchi provocati dagli scarichi costieri;
  - rilievi plano-batimetrici di dettaglio;
  - mappatura di praterie di fanerogame marine;
  - rilievi correntometrici lagrangiani e di tipo euleriano.

### 3.3 Il fenomeno dell'eutrofizzazione

L'eutrofizzazione è una abnorme proliferazione di biomassa vegetale (microalghe). In origine il termine "eutrofizzazione", dal greco eutrophia (eu = buona, trophòs = nutrimento), indicava, in accordo con la sua etimologia, una condizione di ricchezza in sostanze nutritive (nitrati e fosfati) in ambiente acquatico. Oggi viene correntemente usato per indicare le fasi successive del processo biologico conseguente a tale arricchimento e cioè l'abnorme sviluppo di alghe con conseguenze spesso deleterie per l'ambiente.

Il fenomeno dell'eutrofizzazione è dovuto ad un eccesso di nutrienti (principalmente sali di fosforo e sali di azoto) portati a mare soprattutto dagli apporti fluviali. Elevate concentrazioni di sali di azoto e di fosforo immessi nelle acque favoriscono un abnorme sviluppo del numero delle microalghe (organismi microscopici) normalmente presenti, che possono raggiungere anche milioni di cellule per litro. Le alghe hanno bisogno infatti, per compiere il proprio ciclo biologico, oltre che di quegli elementi base quali luce, acqua ed anidride carbonica, anche di nutrienti. Nel caso di apporti di tipo antropico di questi nutrienti (acque reflue agricole, scarichi domestici, scarti industriali e drenaggio d'acqua a seguito di forti temporali) viene

effettuata, nei confronti del mare, un'azione involontaria di fertilizzazione.

L'eccessivo apporto di nutrienti è una condizione necessaria ma non sufficiente per determinare le fioriture (o *blooms*) microalgali. Occorre, infatti, che si manifestino condizioni di stabilità marina, assenza di moto ondoso, correnti marine deboli per facilitare il processo. L'azione del moto ondoso produce sempre effetti benefici, poiché innesca una destratificazione delle colonna d'acqua, instaurando moti

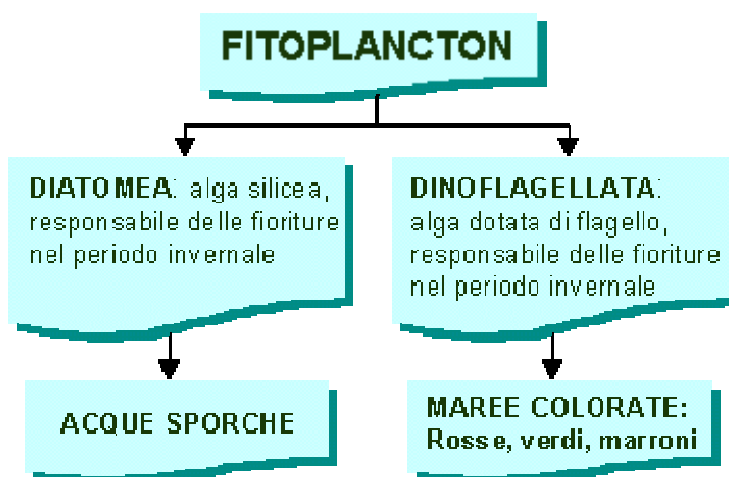


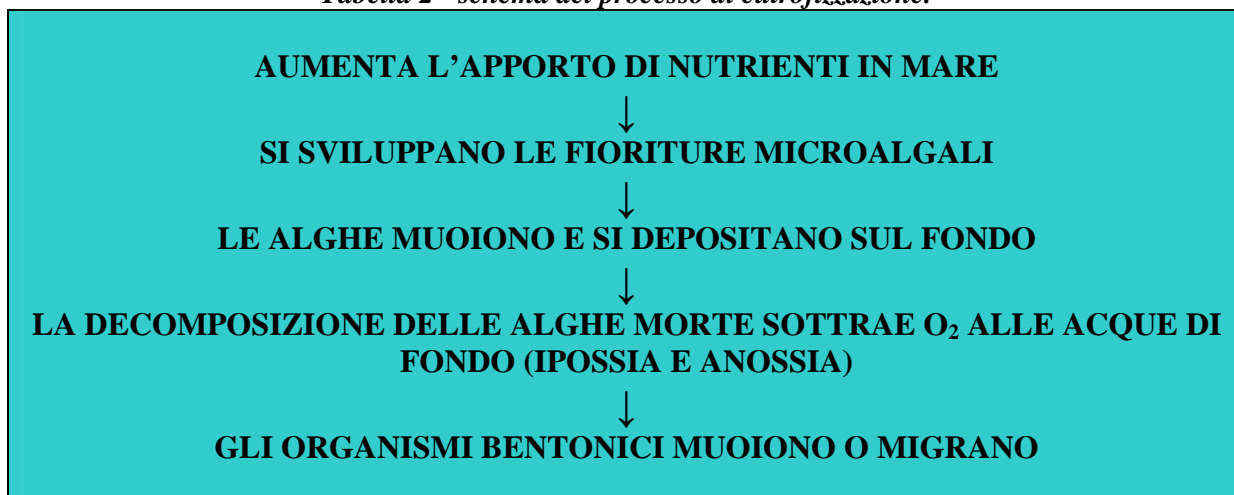
Figura 3 - effetti del fitoplancton in mare.

convettivi dalla superficie al fondo. Le acque, se contengono una quantità abnorme di microalghe, diventano torbide ed assumono anomale colorazioni, che vanno da rosso mattone, verde, etc., a seconda della specie di microalga prevalente, con una notevole riduzione dei requisiti di balneabilità del corpo idrico (Figura 3). Tale alterazione organolettica è spesso

accompagnata da cattivi odori, dovuti ai processi degenerativi. Il danno potenziale o reale delle zone eutrofizzate non è soltanto d'ordine estetico, ma spesso coinvolge la pesca (morte per anossia di ingenti quantità di pesce e di fauna bentonica) ed indirettamente la salute dell'uomo, in quanto esistono anche fioriture algali di tipo tossico che possono causare casi di avvelenamento (*paralytic shellfish poisoning*) nell'uomo dopo il consumo di molluschi infestati. Va ricordato che fioriture algali (*Ostreopsis ovata*) con la produzione di un particolare tipo di tossina (sassitossina) sono state riscontrate nei mari toscani, in particolare nella zona nord, con conseguente intossicazione, per inalazione, di numerosi bagnanti.

Le alghe che hanno causato la fioritura si formano generalmente durante il periodo estivo, e quando muoiono si depositano sul fondo. Avviene, quindi, una sedimentazione di enormi masse di sostanza organica costituita dalle spoglie della microalghe, che, a causa del processo di decomposizione effettuata dai batteri, sottraggono ossigeno alle acque di fondo (ipossia e anossia). Si verificano, così, casi di ipossia o, nei casi peggiori di anossia nelle acque di fondo, soprattutto nel periodo estivo-autunnale, poiché le condizioni meteo marine (acque più calde, mare calmo, stratificazione delle acque, situazione idrodinamica statica) lo permettono. La sostanza organica, giunta a livello del fondale, subisce un processo di decomposizione aerobia, che porta alla completa mineralizzazione. Questo processo richiede un'ingente quantità di ossigeno, e continua finché l'arrivo di ossigeno dagli strati più superficiali dell'acqua è sufficiente a bilanciarne il consumo. Quando tuttavia, data la quantità di biomassa algale, l'ossigeno non è più sufficiente si instaurano processi di tipo riducente nei quali la decomposizione della sostanza organica procede utilizzando il nitrato che viene prima ridotto a nitrito, e poi ad azoto molecolare e ad ammoniaca. Successivamente, la mineralizzazione procede con il consumo di solfato e la produzione di idrogeno solforato. Si può verificare, ma in misura molto minore, anche la produzione di una certa quantità di idrocarburi (Tabella 2).

*Tabella 2 - schema del processo di eutrofizzazione.*



### **3.4 Nutrienti e sostanza organica in mare**

Una caratteristica delle acque che influenza in modo particolare la vita degli organismi vegetali (microalghe, macroalghe e piante acquatiche in genere) e, indirettamente, quella degli animali acquatici, dai molluschi ai pesci, è la concentrazione di alcuni elementi, disciolti nell'acqua in forma di ioni, che vengono utilizzati dagli organismi per il loro sviluppo. Tra questi i più importanti sono l'azoto e il fosforo, chiamati comunemente sali nutritivi o nutrienti, perché sono elementi fondamentali per la crescita degli esseri viventi in quanto sono

insostituibili componenti delle proteine, del DNA e di molti altri composti che costituiscono gli organismi viventi.

L'azoto e il fosforo nella forma inorganica sono presenti disciolti nell'acqua come ioni. Per l'azoto gli ioni più abbondanti sono lo ione nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e lo ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), mentre il fosforo inorganico è sempre presente in forma di ione ortofosfato (comunemente chiamato fosfato), che può presentare, secondo il pH dell'acqua, un numero variabile, da 1 a 3, di cariche negative ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

### **Azoto**

Gli ioni più noti sotto i quali si presenta questo importante elemento sono essenzialmente tre: l'ammonio, il nitrito e il nitrato. Questi ioni si trovano, nell'ordine in cui sono stati scritti, nel ciclo dell'azoto che si instaura nell'acqua di mare. Il primo, in particolare, è strettamente correlato al pH dell'acqua in quanto la sua forma è legata alla presenza o meno di un ambiente acido. Il secondo è abbastanza conosciuto per la sua estrema tossicità, legata alla capacità di legarsi all'emoglobina, inibendone la capacità di trasportare ossigeno (metemoglobinemia). Il terzo e ultimo ione, il nitrato, è la destinazione finale del ciclo ossidante dell'azoto e tende ad accumularsi sul fondo.

### **Fosforo**

Anche questo elemento, indispensabile alla vita delle piante e degli animali acquatici, è presente principalmente come ione fosfato. Le principali fonti di accumulo dei fosfati nelle acque di superficie sono l'agricoltura, le acque reflue (gli scarichi) e poi, al terzo posto, ci sono i detersivi. Non potendo ovviamente bloccare l'agricoltura e gli scarichi (umani), né potendo defosforizzare i reflui, sono state avviate tutta una serie di provvedimenti legislativi che mirano alla riduzione delle immissioni di fosfati dalle acque di lavaggio civili.

### **Sostanza organica**

Le sostanze organiche presenti nell'acqua vengono più o meno rapidamente demolite da parte dei diversi tipi di microrganismi (principalmente dai batteri) che nel compiere il processo di decomposizione consumano ossigeno. La quantità di sostanza organica che viene decomposta è proporzionale al consumo di ossigeno che si verifica nella massa d'acqua. In base a questa relazione è stato messo a punto un metodo indiretto che dà un'indicazione della quantità di sostanza organica presente in un campione d'acqua, chiamato metodo del BOD.

Per BOD s'intende la domanda biologica di ossigeno, cioè la quantità di ossigeno (espressa in mg/L d'acqua) necessaria ai microrganismi (batteri) per decomporre le sostanze organiche presenti in un L di acqua. Se il consumo di ossigeno è molto intenso (cioè il BOD è molto alto) si può verificare una riduzione della disponibilità di ossigeno disciolto per gli organismi acquatici e si può arrivare sino al suo completo esaurimento (anossia) e quindi alla morte degli organismi vegetali e animali, tra cui pesci e molluschi di interesse commerciale. Un fenomeno di questo genere, ad esempio, si verifica nella Sacca di Goro (Fe) nel delta del Po, alla fine dell'estate.

Un metodo di stima della concentrazione della sostanza organica simile a quello del BOD è il metodo del COD, che misura la quantità di ossigeno (espressa in mg/L d'acqua) necessaria per la completa decomposizione di tutte le sostanze presenti nel campione d'acqua considerato. Quindi il COD include sia l'ossigeno consumato dai microrganismi (cioè il BOD) sia quello consumato per decomporre e ossidare le sostanze organiche ed inorganiche presenti e che i microrganismi non riescono ad attaccare.

### 3.5 L'indice trofico TRIX

Quando i fenomeni di eutrofizzazione si sono manifestati agli inizi degli anni ottanta, con maggiore frequenza ed intensità nelle acque costiere, è stato necessario quantificare in maniera oggettiva i livelli trofici e le loro manifestazioni, e scegliere indici adatti alle acque marine. Per il controllo del fenomeno dell'eutrofizzazione e per definire la qualità delle acque marino costiere viene utilizzato l'indice trofico TRIX che si basa sulla quantità (biomassa) di fitoplancton, quindi delle alghe che si trovano libere nelle acque.

L'Indice Trofico (TRIX) e la relativa scala trofica consente di ottenere un sistema di sintesi dei parametri trofici fondamentali in un insieme di semplici valori numerici che renda le informazioni comparabili su un largo range di condizioni trofiche come queste si presentano lungo tutto il Mediterraneo e nello stesso tempo evitino l'uso soggettivo di denominatori trofici. Si è voluto quindi sviluppare una scala numerica di indice trofico che dovrebbe quantificare le caratteristiche qualitative dei livelli di trofia delle acque in ogni stazione di prelievo.

I parametri principali che concorrono alla definizione di un indice trofico devono:

- essere rappresentativi in termini sia di produzione di biomassa fitoplanctonica sia di dinamica della produzione stessa;
- prendere in considerazione i principali fattori causali ed esprimere la massima variabilità del sistema;
- essere basati su misure e parametri rilevati nella maggior parte delle indagini marine.

I parametri analizzati sono divisi nelle seguenti categorie:

#### 1) Fattori che sono espressione diretta di produttività

- Clorofilla "a" ( $\mu\text{g/L}$ );
- Ossigeno disciolto espresso in percentuale (%), come deviazione in valore assoluto della saturazione.

#### 2) Fattori nutrizionali totali

- fosforo totale ( $\mu\text{g/L}$ )
- azoto totale ( $\mu\text{g/L}$ ).

#### 3) Fattori nutrizionali disponibili

- DIN azoto minerale disciolto ( $\mu\text{g/L}$ )
- DIP fosforo totale disciolto ( $\mu\text{g/L}$ ).

L'indice trofico viene calcolato come:

$$\text{TRIX} = [\text{Log}(\text{Cha} \times |\text{OD}\%| \times \text{N} \times \text{P}) - (-1.5)] \div 1,2$$

dove Cha è il valore di Clorofilla "a" in  $\mu\text{g/L}$ , OD% è la percentuale di ossigeno disciolto espresso come variazione in valore assoluto dalla saturazione, N è l'azoto solubile ( $\text{N-NO}_3^+$ ,  $\text{N-NO}_2^+$ ,  $\text{N-NH}_3$ ) in  $\mu\text{g/L}$  e P è il fosforo totale in  $\mu\text{g/L}$ .

Numericamente il valore TRIX può variare da 0 a 10, andando dall'oligotrofia (0= acque scarsamente produttive tipiche del mare aperto) alla ipereutrofia (10= acque fortemente produttive tipiche di aree costiere eutrofizzate).

Tuttavia nella quasi totalità dei casi i valori TRIX variano da 2 a 8 (Tabella 3).

*Tabella 3 - scala trofica, stato e condizioni dell'indice TRIX.*

<b>Scala trofica</b>	<b>Stato</b>	<b>Condizioni</b>
<b>2-4</b>	<b>Elevato</b>	Acque scarsamente produttive. Livello di trofia basso. Buona trasparenza delle acque. Assenza di anomale colorazioni. Assenza di sottosaturazione sul fondo.
<b>4-5</b>	<b>Buono</b>	Acque moderatamente produttive. Livello di trofia medio. Buona trasparenza delle acque. Occasionali intorbidimenti. Occasionali anomale colorazioni. Occasionali ipossie sul fondo.
<b>5-6</b>	<b>Mediocre</b>	Acque molto produttive. Livello di trofia elevato. Scarsa trasparenza delle acque. Anomale colorazioni. Ipossie e occasionali anossie sul fondo. Stati di sofferenza sul fondo.
<b>6-8</b>	<b>Scadente</b>	Acque fortemente produttive. Livello di trofia molto elevato. Elevata torbidità delle acque. Diffuse e persistenti colorazioni. Diffuse e persistenti ipossie/anossie sul fondo. Morie di organismi bentonici. Alterazioni delle comunità bentoniche. Danni economici turismo, pesca e acquacoltura.

L'utilizzo dell'Indice Trofico risponde a tre esigenze fondamentali:

- il valore ottenuto scaturisce dall'integrazione di più fattori indicatori del livello di trofia ed elimina valutazioni soggettive;
- ridurre la complessità dei sistemi costieri consentendo di assumere un valore quantitativo anche su un unico campione prelevato;
- discriminare tra le diverse situazioni spazio-temporali, rendendo possibile un confronto di tipo quantitativo.

I vantaggi nell'uso del TRIX risiedono nella possibilità di integrare più fattori indicatori del livello di trofia eliminando valutazioni soggettive basate sui singoli parametri e nella riduzione della complessità del sistema marino costiero senza una reale perdita informativa.

L'indice trofico e la relativa scala trofica possono trovare impiego in almeno tre importanti applicazioni:

- Valutazione dell'evoluzione trofica a lungo termine per una data area di mare, nell'arco di molti anni.
- Mappatura delle condizioni trofiche relative ad un'area di mare, per una certa data.
- Caratterizzazione delle condizioni trofiche per settori areali e per prolungati periodi di tempo.

Di fatto l'indice TRIX è l'unico indicatore di stato ambientale riconosciuto a livello nazionale. Innanzitutto, si tratta di un indicatore che riferisce solo delle caratteristiche trofiche (quantità di biomassa fitoplanctonica e nutrienti) degli ecosistemi marini, non riferendo però di biodiversità, disponibilità delle risorse ittiche o inquinamento chimico e fisico. Inoltre, essendo riferito solo alla matrice acquosa, non è applicabile ad una valutazione che comprenda sedimenti marini e biota, come invece deve fare un indice di qualità ambientale. Infine, la sua significatività è stata dimostrata per le acque strettamente costiere, soprattutto se a scarso ricambio e fortemente influenzate da apporti terrigeni (di tipo "adriatico"), mentre sembra non molto sensibile per le altre tipologie di acque. Comunque, resta un indice potente per valutare i fenomeni di eutrofizzazione, ponendolo in diretto rapporto con molti dei determinanti (popolazione e densità di popolazione) e delle pressioni (attività produttive, carichi organici potenziali e carichi trofici) previste dal nostro sistema di indicatori e la sua validità statistica non si pone in discussione.

### 3.5.1 *L'indice trofico TRIIX come indicatore di scostamenti significativi delle condizioni di trofia delle aree a basso livello trofico*

Il Decreto 8 novembre 2010, n.260 prevede che l'indice TRIIX non sia utilizzato solo ai fini della valutazione del rischio eutrofico, ma anche per segnalare scostamenti significativi dalle condizioni di trofia tipiche di aree naturalmente a basso livello trofico.

Per comprendere le motivazioni che hanno portato ad un reinserimento di questo indice nella normativa ambientale di riferimento per le coste a basso livello trofico si deve partire dal decreto ministeriale 131/2008 che, per definire i tipi di coste in Italia, utilizza due descrittori: quello geomorfologico e quello idrologico.

Le coste italiane sono suddivise dal punto di vista geomorfologico in sei tipologie: rilievi montuosi (A), terrazzi (B), pianura litoranea (C), pianura fiumara (D), pianura alluvionale (E) e pianura di dune (F). Dal punto di vista idrologico per la tipizzazione delle coste vengono prese in considerazione le condizioni prevalenti di stabilità verticale della colonna d'acqua (N), ossia gli effetti delle immissioni di acqua dolce di provenienza continentale, correlabili ai numerosi descrittori di pressione antropica che insistono sulla fascia costiera (nutrienti, sostanze contaminanti, etc.). Sulla base di tali dati, elaborati dal Ministero dell'Ambiente, tutte le acque costiere italiane si possono caratterizzare secondo tre tipologie (definiti macrotipi):

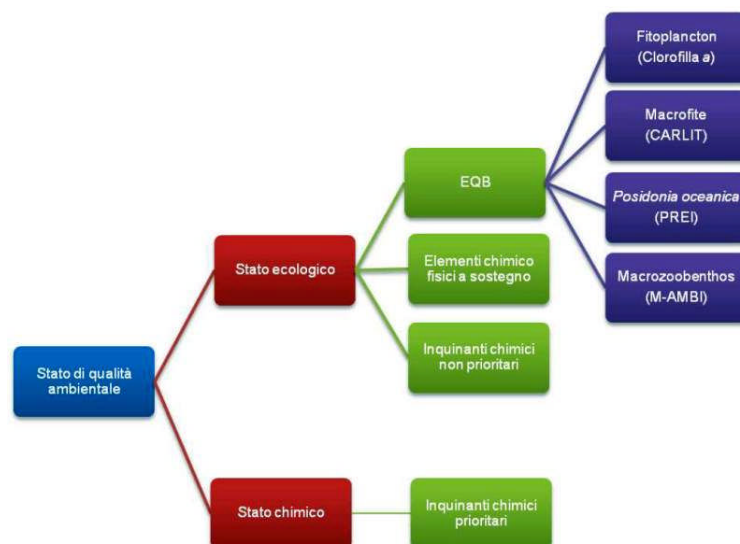
- **alta stabilità:  $N \geq 0.3$**
- **media stabilità:  $0.15 < N < 0.3$**
- **bassa stabilità:  $N \leq 0.15$**

La regione Toscana, sulla base di tali criteri, ha portato alla tipizzazione lungo la fascia marino costiera, continentale e insulare della Toscana di 14 corpi idrici attribuiti a 3 diverse tipologie geomorfologiche, tutte a bassa stabilità ( $N \leq 0,15$ ): rilievi montuosi (A3), pianura alluvionale (E3) e pianura di dune (F3). Il passo successivo per la completa attuazione del DM 131/2008 prevedeva la classificazione dei 14 corpi idrici secondo classi di rischio (secondo quanto indicato negli allegati B e C al citato DM). Sulla base delle conoscenze sulle pressioni e sullo stato attuale delle coste toscane, i corpi idrici sono stati classificati in base alla possibilità di raggiungere lo stato di qualità "Buono" entro il 2015 come:

- "a Rischio" (monitoraggio operativo),
- "Probabilmente a Rischio" di non raggiungere gli obiettivi di qualità (monitoraggio di sorveglianza da espletare in un anno),
- "Non a Rischio" (monitoraggio di sorveglianza stratificato in tre anni).

Le tre categorie, "Non a Rischio" (NR), "a Rischio" (R) o "Probabilmente a Rischio" (PR), determinano le diverse necessità di monitoraggio a cui devono essere sottoposti.

Per definire lo stato di qualità ambientale di un corpo idrico viene assegnato uno stato ecologico e uno stato chimico al corpo idrico (Figura 4). Lo stato ecologico è dato dal monitoraggio dei quattro elementi di qualità biologica (EQB) (fitoplancton, macroalghe, macrozoobenthos e angiosperme), dagli elementi di qualità fisico-chimica a sostegno e dagli elementi chimici a sostegno (inquinanti specifici non appartenenti all'elenco di priorità – tabelle 1/B colonna d'acqua e 3/B sedimento del DM 260/2010). Lo stato chimico è invece dato dal monitoraggio delle sostanze dell'elenco di priorità (tabelle 1/A colonna d'acqua e 2/A sedimenti del DM 260/2010).



**Figura 4 - scheda per la definizione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici.**

Ogni EQB viene classificato con un giudizio che va da “elevato”, “buono”, “sufficiente”, “scarso” e “pessimo”. Per definire lo stato ecologico del corpo idrico viene scelto tra tutti gli EQB quello che, tra i quattro tipi analizzati, ha ottenuto il giudizio più basso.

Nelle acque toscane, tutte appartenenti al macrotipo 3 (bassa stabilità), non sono infrequenti situazioni nei quali l’EQB si classifica come “buono”. In tal caso, nella procedura di classificazione dello stato ecologico, il giudizio espresso per ciascun EQB deve essere coerente con il limite di classe di TRIX del sito da valutare. Quindi, in caso di EQB “buono”, il corrispondente valore di TRIX deve essere minore della soglia di bassa stabilità (nel caso delle coste toscane questo valore deve essere inferiore a 4,0) (Tabella 4). Qualora il valore del TRIX lo sia, l’EQB si classifica come “buono”, altrimenti come “sufficiente”.

**Tabella 4 - limiti di classe, espressi in termini del TRIX, tra lo stato buono e quello sufficiente.**

Macrotipo	Limiti di classe TRIX (Buono/Sufficiente)
1: Alta stabilità	5,0
2: Media stabilità	4,5
3: Bassa stabilità	4,0

Il valore di TRIX da attribuire al sito, si basa sul calcolo della media dei valori di TRIX ottenuti per ciascuno dei 3 anni di campionamento. Nel caso in cui le misure di risanamento ed intervento siano già in atto, si utilizzano solo i dati dell'ultimo anno.



## 4. MATERIALI E METODI

### 4.1 L'incidente alla nave da crociera Costa Concordia



*Figura 5 - la nave arenata all'isola del Giglio vista dal satellite (fonte Digital Globe).*

Il 13 gennaio 2012 alle 22 circa la nave da crociera Costa Concordia ha urtato, per motivi ancora in fase di accertamento, gli scogli delle Scole a poche centinaia di metri dall'Isola del Giglio (Grosseto). L'impatto ha provocato uno squarcio di 70 metri nello scafo che ha causato l'affondamento della nave. La nave da crociera, dopo una manovra di emergenza, si è incagliata in una secca di Punta Gabbianara, non lontana da Giglio Porto. L'imbarcazione era partita alle ore 19 da Civitavecchia per un giro del Mediterraneo e in quel momento era diretta a Savona.

L'emergenza è stata gestita dal Commissario delegato dal Governo, il responsabile del Dipartimento della Protezione civile, coadiuvato da un comitato tecnico scientifico di cui ARPAT è parte. Compito di ARPAT è l'attività di monitoraggio ambientale mirata a verificare l'eventuale fuoriuscita di carburante e di tutti gli altri possibili inquinanti presenti a bordo, secondo un piano di monitoraggio predisposto anche in collaborazione con ISPRA ed effettuato con il *Poseidon*.

ARPAT ha monitorato e monitorerà le operazioni di svuotamento dei serbatoi, la messa in sicurezza della nave, la rimozione della nave stessa dopo una complessa operazione di raddrizzamento, e il trasporto tramite rimorchiatori nel porto dove sarà poi smantellata. Tra i porti individuati per l'operazione di demolizione possiamo citare nell'ordine Piombino, Livorno e Civitavecchia.

### 4.2 Il piano di monitoraggio della nave Costa Concordia

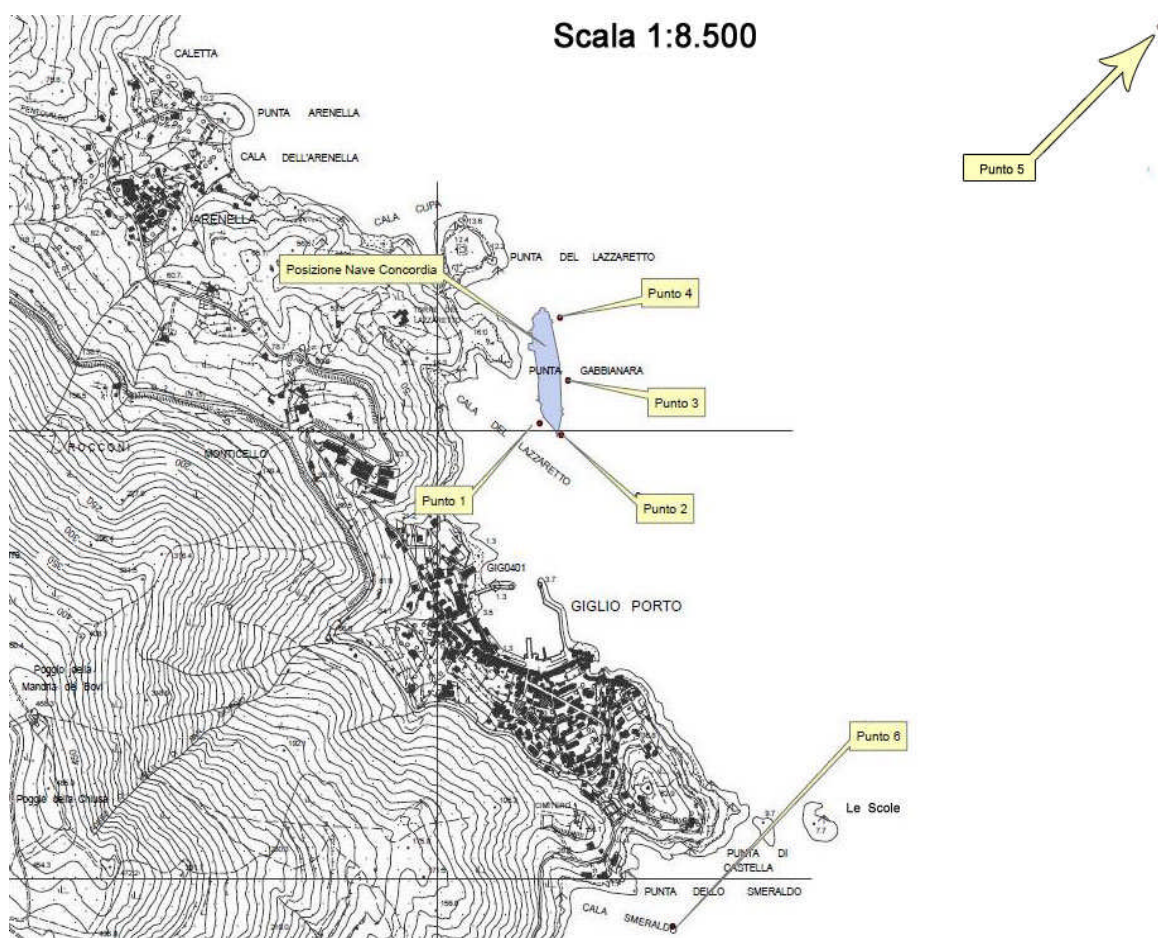
Il relitto della nave Costa Concordia si trova in prossimità di Punta Gabbianara, adagiato sul fianco di dritta, su un fondale roccioso, nelle vicinanze di una scarpata che porta ad una batimetria compresa tra i 50 ed i 90 metri. Il piano di monitoraggio, adottato nella sua versione definitiva il 14 febbraio 2012, si svolge su tre livelli d'intervento:

**Livello 1** – Monitoraggio svolto nei pressi della nave (nella fase iniziale) con lo scopo di tenere in sorveglianza l'entità dell'inquinamento e la sua diffusione. Sono previste analisi chimico-fisiche di base tramite sonde e strumentazione da campo e prelievo di campioni con

successiva analisi di laboratorio su altri parametri correlati alle sostanze che possono essere rilasciate o prodotte.

Sono stati individuati 6 punti di campionamento svolti nella colonna d'acqua: P1 – Centro nave lato dritta, P2 – Prua nave, P3 – Centro nave lato sinistra, P4 – Poppa nave, P5 – Bianco riferimento, P6 – Dissalatore, utilizzato come controllo dell'acqua utilizzata per la produzione di acqua potabile (Figura 4). La frequenza delle misure è stata stabilita come giornaliera per le prime 4 settimane; successivamente la frequenza è stata ridotta, garantendo comunque almeno un prelievo settimanale su 3 stazioni.

**Livello 2** – Monitoraggio per valutazioni di breve e medio periodo di danno ambientale – Programma concordato fra ARPAT e ISPRA tramite battello oceanografico, con indagini chimiche, ecotossicologiche, idromorfologiche e biologiche su colonna d'acqua, sedimento e biota, da effettuarsi nell'intorno del luogo di affondamento in punti da stabilire in corso d'indagine, e frequenze variabili in funzione dei parametri controllati.



**Figura 6 - mappa dei punti di prelievo per il monitoraggio marino-costiero nell'area di Giglio Porto.**

E' stato stabilito il monitoraggio aggiuntivo di due ulteriori punti di campionamento, il P12 e P13 (Figura 7, Tabella 5). Il battello *Poseidon* i primi due mesi dopo l'incidente poteva recarsi autonomamente sul luogo dell'incidente per fare i campionamenti in prossimità del relitto; una volta iniziati i lavori per la messa in sicurezza della nave nei quali tutta la zona è stata transennata, il battello non è più stato autorizzato ad avvicinarsi oltre una certa distanza dalla Concordia. Il sistema di monitoraggio è quindi cambiato. Nei punti di estrema vicinanza alla nave (P1, P2, P3, P4) si recavano i tecnici dei dipartimenti provinciali, accompagnati dalla vedetta della capitaneria di porto, per campionare l'acqua per ricercare dei parametri specifici ad alto rischio derivanti dalla dispersione di liquidi dalla Concordia. In particolare venivano

ricercati i tensioattivi (a causa dell'elevato numero di saponi a bordo), e gli idrocarburi per la paura di sversamenti in mare dai serbatoi del relitto.

A livello ministeriale (in collaborazione con la Regione Toscana e l'ARPAT) è stato invece concordato un programma di monitoraggio, nel quale il *Poseidon* ha il ruolo di effettuare i monitoraggi più a largo, nei punti P12 e P13, che vengono monitorati ogni due mesi, con la stessa cadenza di tutti gli altri punti di monitoraggio delle coste toscane.



**Figura 7 - dettaglio satellitare dei punti P12 e P13.**

**Tabella 5 - coordinate dei punti di campionamento del monitoraggio (WGS 84).**

PUNTI DI CAMPIONAMENTO	Latitudine	Longitudine
Punto 1- Centro nave lato dritta (15 m dalla nave)	42° 21'.774 N	010° 55'247 E
Punto 2 - Prua della nave (10 m dalla nave)	42° 21'.828 N	010° 55'297 E
Punto 3 - Centro nave lato sinistra (20 m dalla nave)	42° 21'.883 N	010° 55'339 E
Punto 4 - Poppa della nave (20 m dalla nave)	42° 21'.925 N	010° 55'344 E
Punto 5 - Bianco riferimento (1800 m dalla nave)	42° 22'.312 N	010° 56'347 E
Punto 6 - Dissalatore di superficie (1400 m dalla nave)	42° 21'.244 N	010° 55'485 E
Punto 12 - Punta Le Scole (a 1250 m dalla nave)	42° 21,344' N	10° 55,814' E
Punto 13 - Secca della Croce (a 2700 m dalla nave)	42° 23,106' N	10° 54,247' E

**Livello 3** – Monitoraggio per valutazioni di lungo periodo con lo scopo di valutare eventuali variazioni dello stato di qualità delle acque marino costiere rispetto agli standard di qualità previsti dalla normativa vigente. Il monitoraggio prevede un approfondimento svolto presso 5 stazioni vicine alla zona di affondamento. Tali punti di campionamento sono stati scelti in quanto già presenti nella rete di monitoraggio regionale dal 2001: Porto Santo Stefano, Montecristo, Foce Bruna, Cala Forno, Mola (Figura 8).



**Figura 8 - i cinque punti di monitoraggio intorno all'Isola del Giglio.**

I parametri ricercati nel Livello 1 del monitoraggio rappresentano indicatori generali di inquinamento per rilasci di varia natura e indicatori specifici per il rilascio di composti specifici presenti a bordo della nave. Sono stati determinati pH, ossigeno disciolto, trasparenza, cloro attivo, TOC (total organic carbon), azoto totale, azoto ammoniacale, fosforo totale, tensioattivi, solventi aromatici, solventi clorurati, trialometani, idrocarburi pesanti (C10-C40), idrocarburi leggeri (C6-C10), metalli, ecotossicità, coliformi totali, *Escherichia coli* ed enterococchi intestinali. Sono state inoltre eseguite misure di idrocarburi totali (C10-C40), ftalati, nonilfenoli, ottilfenoli, polibromodifenileteri, organostannici tramite sonde con sensori dedicati.

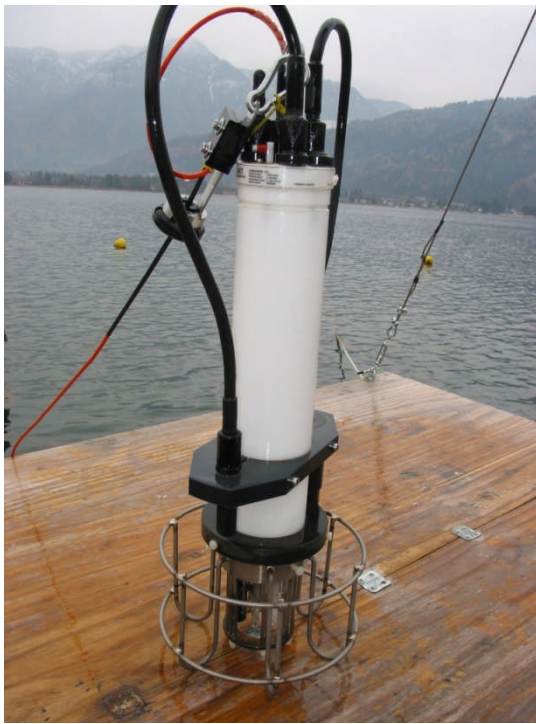
### **4.3 Metodologie di campionamento**

#### *4.3.1 Il campionamento della matrice acqua*

I parametri da analizzare per il calcolo del TRIX sono i seguenti: ossigeno disciolto, clorofilla "a", fosfato totale, azoto nitrico, azoto nitroso e azoto ammoniacale.

Per effettuare queste analisi, il *Poseidon* è stato attrezzato con la Sonda Multiparametrica IDRONAUT OCEAN Seven 316 (Figura 9) dotata di 7 sensori per: pressione, temperatura, conducibilità, pH, ossigeno disciolto (ppm), saturazione (%), torbidità (turbidimetro a luce diffusa a 880 nm) e clorofilla "a" (fluorimetro a 470 nm in eccitazione e 685 nm in emissione).

Durante la calata della sonda, permessa da un verricello elettrico posizionato a poppa dell'imbarcazione, l'acquisizione dei dati viene fatta di continuo, compatibilmente con le caratteristiche del sensore di profondità; tale acquisizione interessa l'intera colonna d'acqua del sito di indagine a partire da 50 cm dalla superficie dell'acqua, fino a circa 50 cm dal fondale.



**Figura 9 - sonda multiparametrica.**

Durante la rilevazione, la velocità di calata della sonda è di 0,5 m/sec con una capacità di acquisizione di 5 dati per parametro al secondo, l'imbarcazione deve essere ferma sul punto previsto che viene determinato attraverso il sistema di posizionamento satellitare DGPS in dotazione.

L'acquisizione in tempo reale dei valori relativi ai parametri d'indagine è eseguita da un operatore tramite una specifica interfaccia gestita da un sistema informatico presente a bordo. La misura della trasparenza, parametro massivo dello stato delle acque marino costiere, viene eseguita a bordo del *Poseidon* attraverso il disco del Secchi, un disco di plastica forata di colore bianco di 30 cm di diametro, vincolato alla parte superiore della gabbia di protezione della sonda stessa con la quale viene calato fino a quando l'operatore non legge la profondità di scomparsa con il sensore automatico di

profondità/pressione.

Per il prelievo di acqua superficiale (-0,5 m) si utilizza invece una pertica di acciaio alloggiante all'estremità una bottiglia chiusa apribile su comando dell'operatore attraverso la trazione di un tirante collegato al sistema di chiusura (Figura 10). Il volume di acqua normalmente campionato corrisponde a circa 2 L.



**Figura 10 - bottiglia per campionamento di superficie.**

I campioni di acqua destinati alle analisi di laboratorio sono prelevati mediante campionatore manuale. Due aliquote approssimativamente di 100 ml ciascuna sono travasate in bottiglie di polietilene e altre due di 250 ml circa, sono filtrate mediante filtri in esteri misti di cellulosa della porosità di 0.45 $\mu$ m (Millipore Serie HA 0.45 $\mu$ m, diametro 47 mm) e travasate anch'esse in bottiglie di polietilene.

L'apparato di filtrazione appartiene al tipo Millipore (capacità imbuto 300 ml, diametro beuta 140 mm). I campioni sono mantenuti a bordo del battello *Poseidon* a -18°C e scongelati immediatamente prima delle relative analisi, tramite microonde.

La determinazione delle sostanze nutrienti nelle loro forme solubili come ammoniaca, nitrati e nitriti, ortofosfati e la determinazione dell'azoto e del fosforo totale sono eseguite rispettando le metodiche ufficiali e i principi analitici di seguito descritti.

L'apparecchiatura utilizzata per la determinazione dei nutrienti solubili è un **autoanalizzatore  $\mu$ Mac-1000** (della Ditta Systea) che sfrutta il principio "loop flow analysis" (Figura 11). Lo strumento utilizzato per la determinazione dei nutrienti totali è un autoanalizzatore FlowSys, che sfrutta il principio dell'analisi a flusso segmentato (Figura12).



*Figura 11 - autoanalizzatore µMac-1000.*



*Figura 12 - flowsys.*

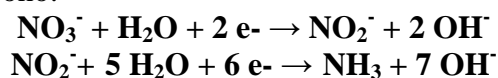
#### **4.4 Metodi di analisi**

La matrice acqua gode di un'elevata valenza in relazione alle indagini chimiche nella tematica affrontata, per questo motivo gran parte degli sforzi eseguiti su questa matrice interessano le determinazioni analitiche delle sostanze solubili disciolte.

##### *4.4.1 Analisi dei nitrati*

Per l'analisi dei nitrati è stata utilizzata la scheda 6 delle "Metodologie analitiche di riferimento" prodotte da ICRAM per conto del Ministero nel 2001.

La determinazione dei nitrati nelle acque è basata sulla loro riduzione, in fase eterogenea, a nitriti mediante una colonna di cadmio rameizzato e sul successivo dosaggio dei nitriti totali per via colorimetrica. Il metodo, introdotto da Morris e Riley (1963), è stato studiato approfonditamente da Nydhal (1976) e Grasshoff (1983) permettendo una chiara comprensione delle dinamiche delle reazioni coinvolte nella procedura analitica; queste, svolte in ambiente basico, sono:



L'ulteriore riduzione del N(III) risulta sfavorita in condizioni di pH elevato. Il riducente utilizzato è il cadmio il quale, dopo essere stato bene impaccato in una colonna nella quale successivamente fluirà il campione, viene parzialmente ricoperto dal rame attraverso la preventiva eluizione di una soluzione di solfato di rame al 2% con il ruolo di catalizzatore

della reazione. La lettura spettrofotometrica è eseguita alla lunghezza d'onda di 546 nm. Il limite di rilevabilità di questo metodo con la strumentazione utilizzata è 0,36 µmol/L.

#### 4.4.2 *Analisi dei nitriti*

Per l'analisi dei nitrati è stata utilizzata la scheda 5 delle "Metodologie analitiche di riferimento" prodotte da ICRAM per conto del Ministero nel 2001.

Il metodo utilizzato per la determinazione dei nitriti nelle acque marine si basa su una serie di reazioni che portano alla formazione di un composto diazoico colorato che viene dosato per via colorimetrica. Questa procedura, tra le più sensibili tra le analisi colorimetriche dirette, è specifica per i nitriti e non presenta alcuna variazione di efficienza in relazione alla forza ionica della soluzione in esame. Il metodo originale, proposto da Griess-Ilosvay (1899), è stato successivamente modificato da Shin (1941) e applicato all'analisi dell'acqua di mare da Bendschneider e Robinson (1952). La procedura analitica consiste nella formazione, in ambiente acido e temperatura non superiore a 40°C, di un sale di diazonio, precisamente il cloruro di diazosulfanilammide, che reagisce successivamente con naftiletildiammina per generare un colorante diazoico. La lettura spettrofotometrica è eseguita a 546 nm. Il limite di rilevabilità di questo metodo con la strumentazione utilizzata è: 0,06µmol/L.

#### 4.4.3 *Analisi dell'ammoniaca*

Per l'analisi dei nitrati è stata utilizzata la scheda 7 delle "Metodologie analitiche di riferimento" prodotte da ICRAM per conto del Ministero nel 2001.

Il metodo utilizzato si basa su una serie di reazioni, catalizzate fotochimicamente, che portano alla formazione del blu di indofenolo. La concentrazione del composto viene poi dosata per via colorimetrica. Per una buona resa il pH è tenuto necessariamente intorno a 10, permettendo così di eliminare l'influenza della forza ionica dell'acqua campionata; in questa maniera, tamponando adeguatamente il campione, è possibile applicare lo stesso metodo ad ambienti estuari ali (Catalano,1987). La lettura colorimetrica è eseguita a 630 nm. Il limite di rilevabilità di questo metodo è: 0,5µmol/L.

#### 4.4.4 *Analisi degli ortofosfati*

Per l'analisi dei nitrati è stata utilizzata la scheda 4 delle "Metodologie analitiche di riferimento" prodotte da ICRAM per conto del Ministero nel 2001.

Il metodo si basa sulla formazione di un complesso fosfomolibdenico di colore blu (del gruppo blu di molibdeno) la cui concentrazione viene determinata per via colorimetrica a 880 nm. Il limite di rilevabilità di questo metodo con la strumentazione utilizzata è di 0,1 µmol/L.

#### 4.4.5 *Analisi dell'azoto e fosforo totali*

Per l'analisi dei nitrati è stata utilizzata la scheda 9 delle "Metodologie analitiche di riferimento" prodotte da ICRAM per conto del Ministero nel 2001. Il metodo si basa sulla formazione di complessi colorati rivelabili a 546 e 880 nm rispettivamente, dopo una digestione fotoossidativa del campione. La digestione fotoossidativa sfrutta il principio combinato della lampada UV montata sull'autoanalizzatore e della reazione chimica condotta in ambiente basico con persolfato di potassio. Il limite di rilevabilità è rispettivamente di 0,36 e 0,1 µmol/L.

## 5. RISULTATI E DISCUSSIONI

Tutti i dati utilizzati in questa tesi per valutare l'andamento dei valori dei nutrienti e del TRIX intorno alla nave Costa Concordia, rilevati dalla strumentazione del *Poseidon*, sono stati elaborati tramite analisi descrittiva utilizzando il software Excell.

Dopo l'incidente della Costa Concordia, è stato effettuato un numero molto elevato di campionamenti da parte di ARPAT per il piano di monitoraggio previsto dal Ministero, come mostra la Tabella 6.

*Tabella 6 – l'attività di ARPAT per l'emergenza Costa Concordia.*

<b>Emergenza Costa Concordia (01/12-10/12)</b>	
N° sopralluoghi per campionamento*	88
N° campioni prelevati*	236
N° punti campionati prelevati*	13
<b>Totale complessivo analisi effettuate*</b>	<b>10000</b>
n° bollettini pubblicati	89
n° altre notizie pubblicate	23
n° video caricati su youtube	14
*dati del mese di ottobre parziali	

*Tabella 7 – parametri valutati nell'area intorno al relitto.*

<b>Totale parametri eseguiti per emergenza Concordia</b>	
Totale Parametri Chimico Fisici di Base	1189
totale metalli	678
totale pesticidi	71
Totale Detergenti	234
Totale idrocarburi	430
Totale IPA	88
Totale Solventi	5654
Totale Sostanza Organica e Nutrienti	1019
Totale Parametri Microbiologici	421
Totale Biotossicità	179
Totale Altri Parametri	37
<b>Totale complessivo</b>	<b>10000</b>

ARPAT ha effettuato nei punti previsti dal piano di monitoraggio circa diecimila analisi. Oltre ai parametri chimico fisici di base e ai nutrienti, utili per il calcolo del TRIX, il battello *Poseidon* ed i dipartimenti provinciali, hanno analizzato i metalli, i pesticidi, gli idrocarburi, la biotossicità e vari altri parametri.

Tutte queste analisi, indispensabili per avere un quadro completo del rischio ambientale che correva l'isola del Giglio e l'arcipelago toscano, hanno mostrato che

l'ecosistema non ha subito grossi danni in seguito all'incidente, e che i risultati di tutti questi parametri erano, a pochi giorni dal disastro, già tutti nella norma.

Per quanto riguarda il calcolo del TRIX dal giorno dell'incidente fino a metà febbraio 2012 per l'analisi a livello trofico dell'area, si è potuto attingere ai dati raccolti nei punti P1, P2, P3, P4 e P5. Dalla metà di febbraio a dicembre 2012 invece i dati disponibili per il calcolo del TRIX erano quelli dei punti P12 e P13, in quanto nei pressi della Concordia venivano effettuati una serie di campionamenti, principalmente mirati alla valutazione dei livelli di idrocarburi e di altri contaminanti.



Dal punto di vista della sostanza organica e dei nutrienti, i valori ricercati erano solo quelli dell'azoto ammoniacale, azoto totale e fosforo totale, utili per monitorare l'area, ma insufficienti per calcolare l'indice trofico TRIX che utilizza i dati dei nutrienti (fosfati, nitrati e nitriti, ammoniaca), i valori di ossigeno disciolto e di clorofilla.

Per poter fare quindi un'indagine oggettiva della situazione a livello trofico dell'area dopo l'incidente è stato fatto il confronto tra i valori raccolti presso l'isola del Giglio e quelli presenti nell'archivio ARPAT relativi ai cinque punti valutati dal protocollo (Porto Santo Stefano, Montecristo, Foce Bruna, Cala Forno, Mola) e al P5 che è stato preso come "Bianco" in quanto situato a 1 miglio dalla nave.

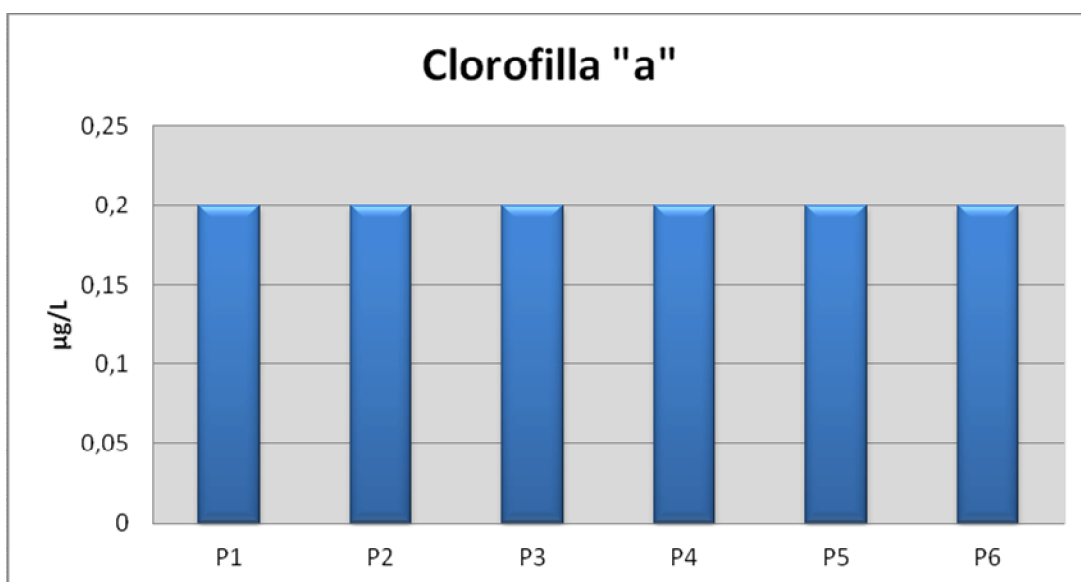
## 5.1 Analisi dei nutrienti intorno alla Costa Concordia

### 5.1.1 Analisi dei nutrienti dopo dieci giorni dall'incidente

Di seguito sono riportati principali risultati delle analisi effettuate sulla matrice acqua a dieci giorni dall'incidente (24 gennaio 2012) della nave da crociera Costa Concordia.

#### Clorofilla "a"

Nel grafico sottostante (Figura 13) possiamo osservare che i valori di clorofilla "a" riscontrati nei punti P1, P2, P3 e P4 (dritta, sinistra, prua e poppa della nave) sono identici a quelli misurati nei punti P5 (ad un miglio dalla nave) e P6 (dissalatore, ad oltre un miglio dal luogo dell'incidente). Questo ad indicare che non ci sono state variazioni significative nei livelli di clorofilla "a" che è rimasta costante in tutte le aree soggette ad analisi sia nei pressi del relitto, sia a notevole distanza da questo come i punti P5 (bianco) e P6 (dissalatore).

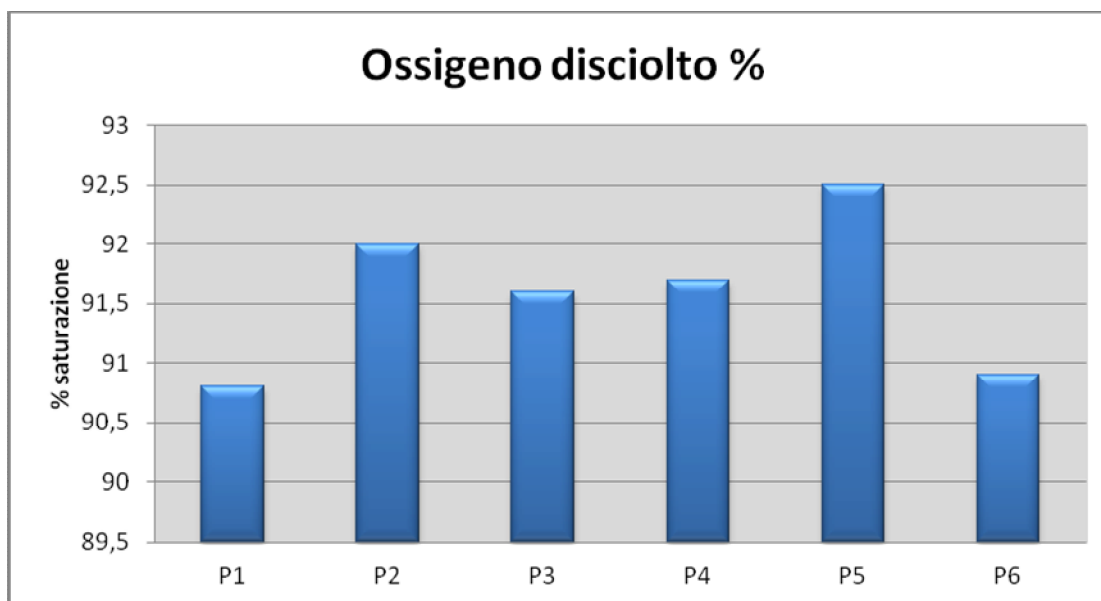


*Figura 13 – valori di clorofilla "a" misurati nei punti P1 (dritta), P2 (prua), P3 (sinistra), P4 (poppa), P5 (bianco) e P6 (dissalatore) a distanza di dieci giorni dall'incidente.*

#### Ossigeno disciolto

La figura 14 mostra il grafico della % di ossigeno disciolto nei sei punti presi in esame a dieci giorni dall'incidente (24 gennaio 2012). I valori riscontrati nei punti P1, P2, P3 e P4 (dritta, sinistra, prua e poppa della nave) sono simili a quelli misurati nei punti P5 (ad un miglio dalla nave) e P6 (dissalatore, ad oltre un miglio dal luogo dell'incidente). Il valore leggermente più elevato del punto P5 (bianco) preso a un miglio dalla costa è probabilmente dovuto ad una maggiore ossigenazione delle acque rispetto alla costa.

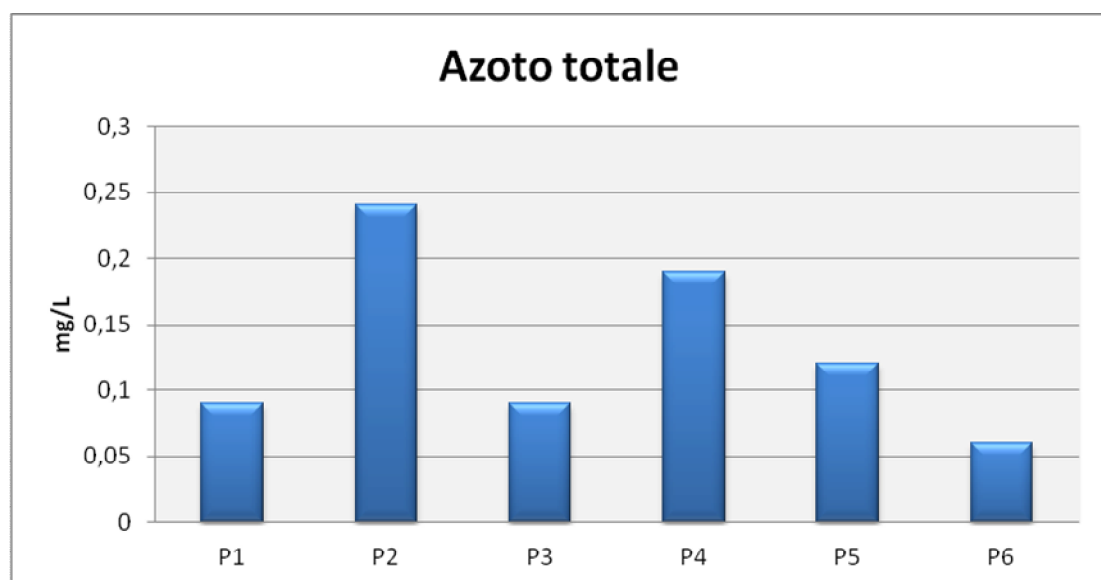
La quantità di ossigeno ha subito oscillazioni nella norma con un prevedibile valore leggermente superiore in mare aperto. Ricordiamo che l'ormai abrogato DPR 470/82 (decreto balneazione) dava come limite i valori compresi tra 70% e 120% e quindi i valori osservati sono pienamente nei limiti di legge.



**Figura 14 – % saturazione ossigeno disciolto misurata nei punti P1 (dritta), P2 (prua), P3 (sinistra), P4 (poppa), P5 (bianco) e P6 (dissalatore) a distanza di dieci giorni dall'incidente.**

### **Azoto totale**

I valori di azoto totale misurati nei punti P1 (dritta) e P3 (sinistra) sono simili a quelli del P6 (dissalatore), come mostra la figura 15. Inoltre i valori di P2 (prua) e P4 (poppa) sono, non soltanto superiori a P1 e P3, ma anche maggiori rispetto a quelli di P5 (bianco).



**Figura 15 – valori di azoto totale misurati nei punti P1 (dritta), P2 (prua), P3 (sinistra), P4 (poppa), P5 (bianco) e P6 (dissalatore) a distanza di dieci giorni dall'incidente.**

Nel punto P6 (dissalatore) si ha il valore relativamente più basso, ad indicare che la scelta di questo punto è stata determinata dalla assenza di qualunque apporto antropico vicino all'area. I valori di P2 e P4 sono leggermente più elevati rispetto agli altri punti campionati, probabilmente perché durante i prelievi stavano operando intorno al relitto più soggetti contemporaneamente essendo ancora in situazione di emergenza.

Nonostante le variazioni rinvenute nella vicinanza del relitto, tutti i valori rilevati sono comunque all'interno delle medie misurate da ARPAT nelle stazioni di monitoraggio più vicine al Giglio e nell'area della costa sud della Toscana nell'ultimo biennio.

### **Azoto Ammoniacale**

Tutti i valori di azoto ammoniacale misurati nei punti P1, P2, P3, P4, P5 e P6 sono minori del valore di <0,003 che è il minimo livello di determinazione strumentale.

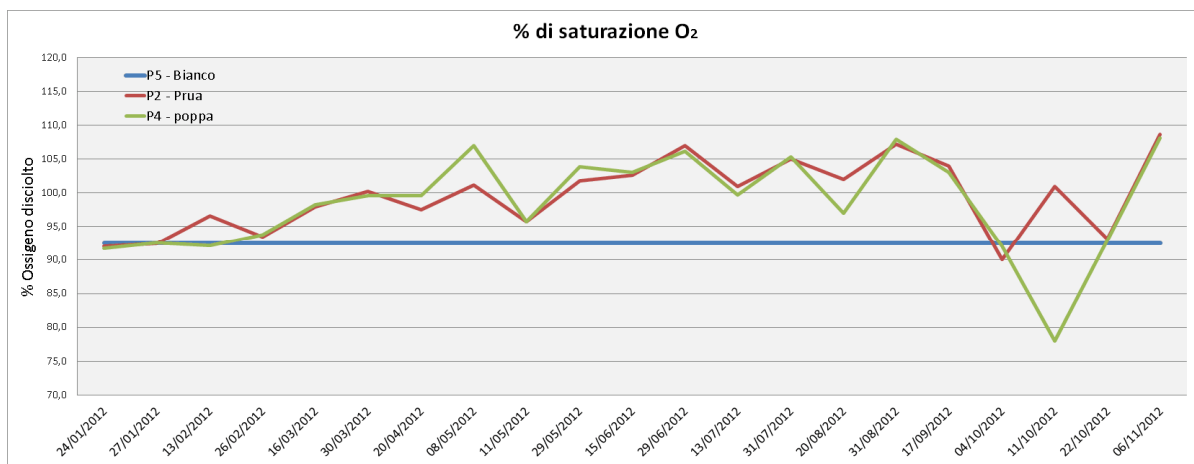
### **Fosforo totale**

Il fosforo totale ha tutti valori inferiori al minimo strumentale, ad eccezione del punto P3 (lato sinistro della nave) dove è stato misurato un valore comunque poco superiore a 0,012. Si può quindi ritenere che in tutta l'area i valori sono nella norma.

#### *5.1.2 Analisi dei nutrienti nel periodo gennaio-novembre*

Di seguito sono riportati i principali risultati dei nutrienti rilevati da ARPAT nei pressi del relitto di Costa Concordia (punti P2 - prua e P4 - poppa) nei successivi dieci mesi (febbraio-novembre 2012) dall'incidente. Tali dati sono stati confrontati con quelli di P5 (bianco).

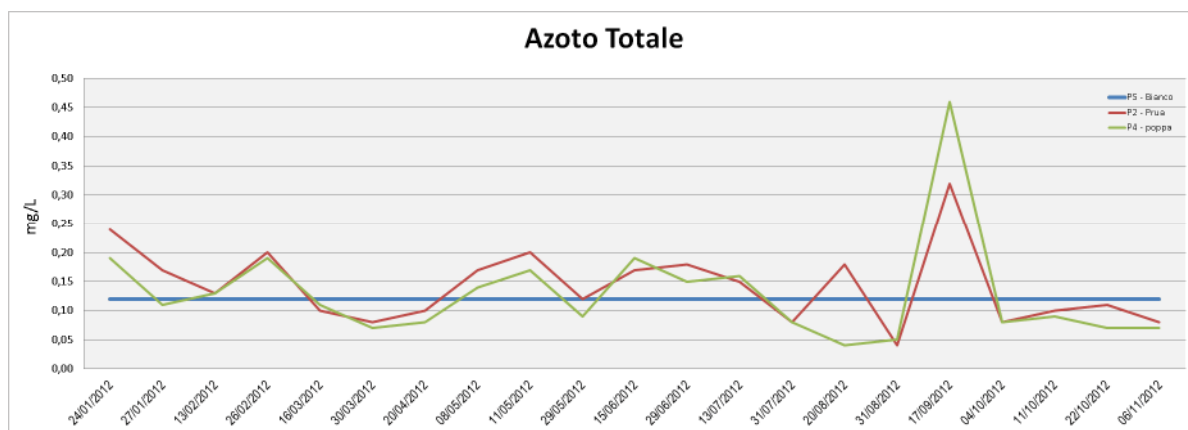
La figura 16 mostra l'andamento della % di ossigeno disciolto dove si vede chiaramente che a prua e a poppa della nave si ha una quantità di O<sub>2</sub> nell'acqua superiore a quella del P5 (bianco). Questo fenomeno è sicuramente dovuto al rimescolamento prodotto dalle eliche delle varie imbarcazioni operanti intorno al relitto. Si osserva inoltre in data 11 ottobre 2012 una differenza sostanziale tra le % di ossigeno a prua e poppa del relitto. Questa differenza è probabilmente dovuta, vista la distanza relativa tra i due punti nell'ordine di circa 300 m, in un errore di misurazione dovuto probabilmente ad una cattiva calibrazione dell'elettrodo della sonda multiparametrica.



**Figura 16 – % saturazione Ossigeno disciolto nei punti P2 e P4 dal 24-01 al 6-11-2012.**

La figura 17 mostra le concentrazioni di azoto totale misurate a poppa e a prua del relitto della “Concordia” nel periodo che va da fine Gennaio ai primi di Novembre. Questi valori sono confrontati con i valori del P5 (bianco), a 1 miglio dalla costa.

Possiamo osservare che tranne un unico dato che non è coerente con il resto dei dati misurati nel lungo periodo, i valori delle concentrazioni di azoto totale nell’acqua di mare a prua e poppa del relitto sono da considerarsi abbastanza uniformi e indicativamente nelle medie degli ultimi due anni rilevati da ARPAT nelle coste meridionali toscane. Il picco di azoto evidenziato in data 17 settembre 2012 probabilmente potrebbe essere dovuto ad un errore strumentale, in quanto già nel successivo campionamento effettuato dopo tre giorni (dati non mostrati), i valori sono in linea con quelli misurati nel punto preso come “bianco”.



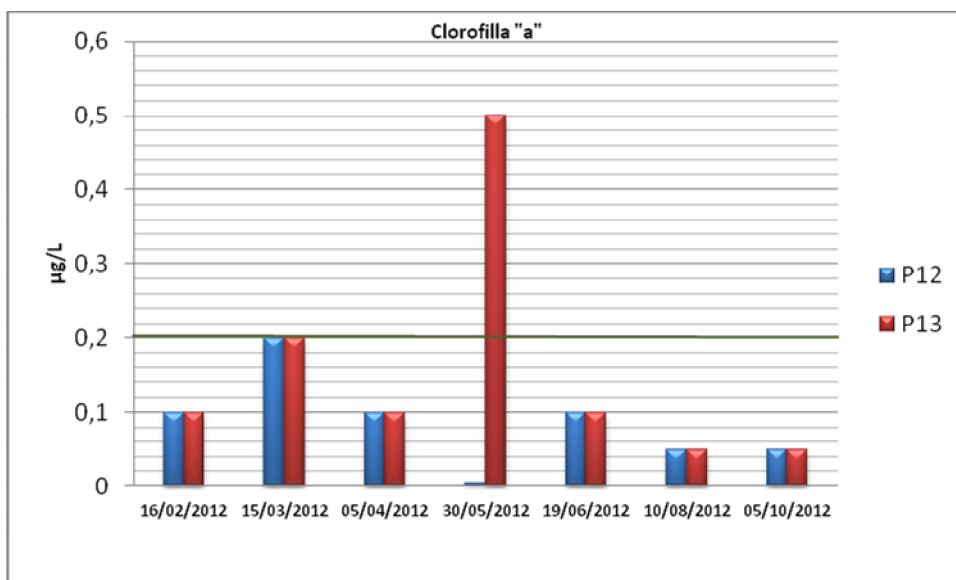
**Figura 17 – andamento dell’Azoto totale nei punti P2 e P4 dal 24-01 al 6-11-2012.**

### 5.1.3 Analisi dei nutrienti nei punti P12 e P13 nel periodo marzo-ottobre

Per un’analisi più approfondita dei nutrienti intorno all’area del relitto sono di seguito riportati i valori di clorofilla “a”, ossigeno disciolto % ed azoto totale nei punti P12 e P13.

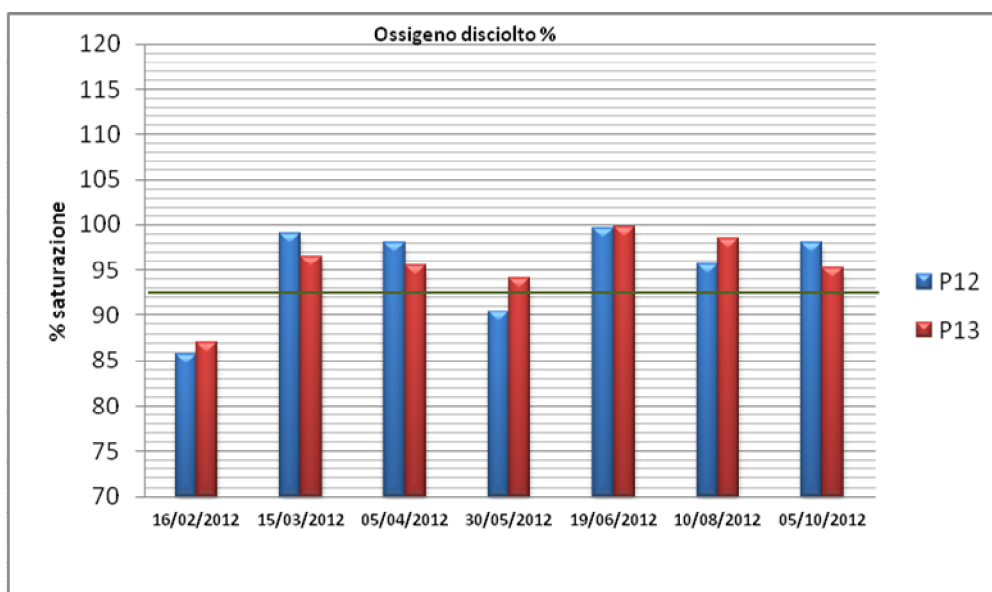
I due punti distano fra di loro circa 4 km e sono entrambi equidistanti sia dalla costa che dal relitto come già mostrato nella figura 7.

La figura 18 mostra che i valori di clorofilla “a” misurati nei punti P12 (Scole) e P13 (secca della Croce) sono in linea con il valore riscontrato in P5, considerato bianco. In data 30 Maggio si nota un notevole scostamento nel valore di P13 rispetto agli altri valori misurati in P12 e nelle altre date in P13 e dal bianco; questo potrebbe essere imputabile ad un qualche errore di laboratorio.



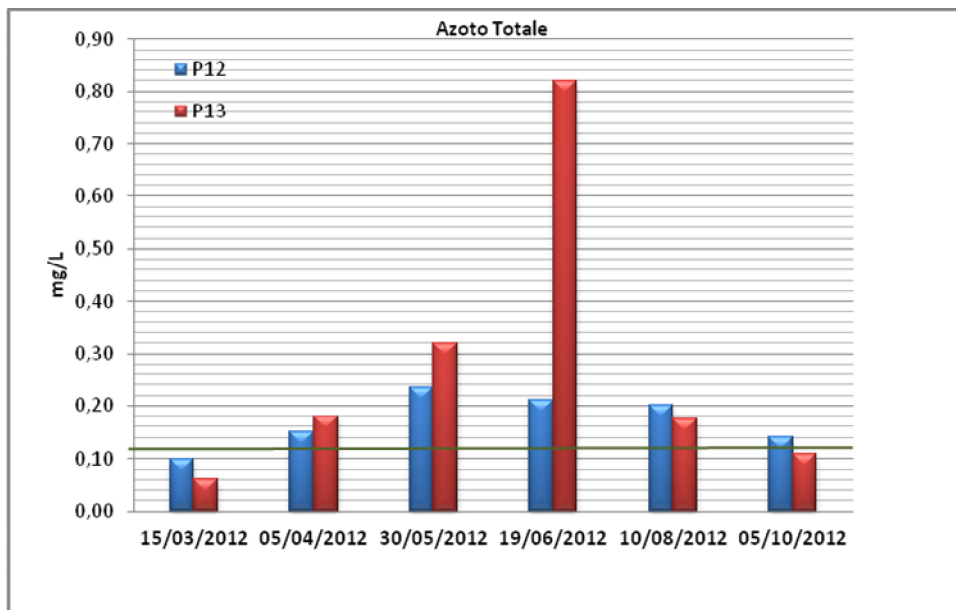
**Figura 18 – valori di clorofilla “a” misurati nei punti P12 (Scole) e P13 (secca della Croce). La linea indica il valore di bianco (P5).**

Nella figura 19 si può osservare che la quantità di ossigeno disciolto % nei punti P12 e P13 rimane costante per tutto il periodo di monitoraggio. Inoltre i valori osservati sono in linea con quello di bianco e nei limiti di legge (vedi Tabella 8).



**Figura 19 – valori ossigeno disciolto % misurati nei punti P12 (Scole) e P13 (secca della Croce). La linea indica il valore di bianco (P5).**

Osservando la Figura 20 è possibile notare una certa coerenza tra i valori di Azoto Totale raccolti dal battello nei due punti oggetto di analisi durante tutto il periodo, eccetto per la data del 19 giugno dove si osserva un picco in P13. Non possiamo conoscere le motivazioni di un simile differenza di valore tra i due punti, imputabile probabilmente ad un qualche errore di laboratorio. I valori di azoto totale mostrati in tutto il periodo di monitoraggio sono comunque in linea con quelli di bianco e con i valori di riferimento forniti da ARPAT (vedi Tabella 8).



**Figura 20 – valori di azoto totale misurati nei punti P12 (Scole) e P13 (secca della Croce). La linea indica il valore di bianco (P5).**

Osservando nel loro complesso i parametri valutati è quindi possibile osservare che le oscillazioni nei vari punti sono sempre state molto contenute, e inoltre che gli stessi metodi analitici hanno una certa variabilità dovuta alle componenti stesse delle acque marine. Inoltre tutti i valori misurati ricadono all'interno sia dei limiti di legge che dei valori proposti come riferimento da ARPAT.

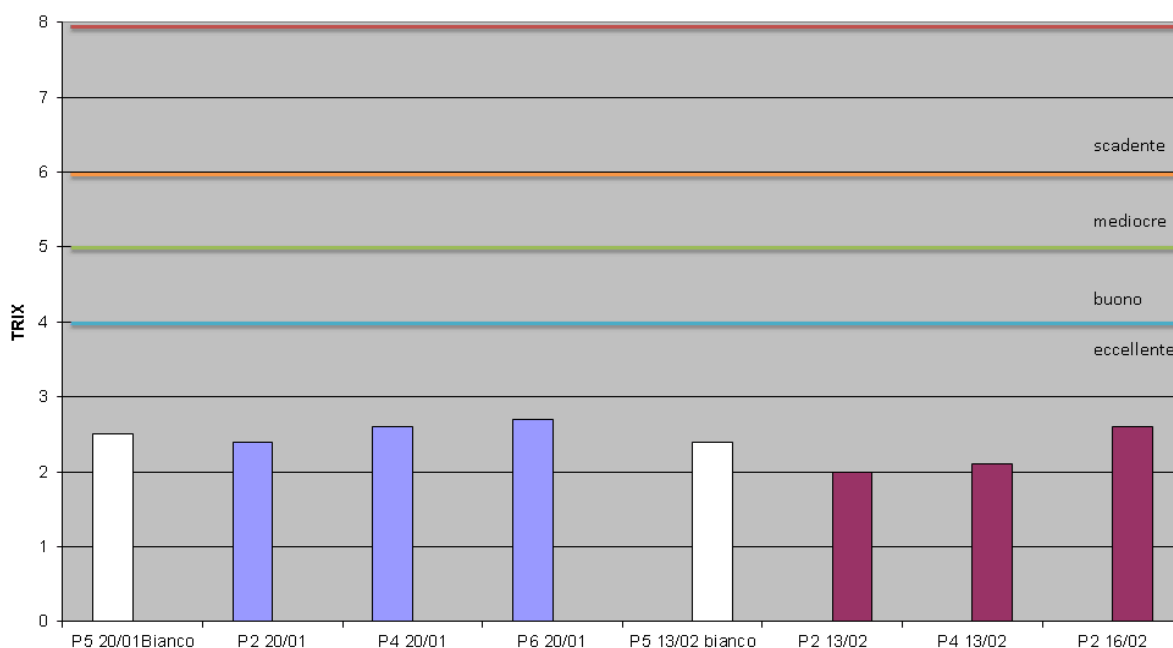
**Tabella 8 – valori limite o di riferimento per parametri fisici e per i nutrienti (fonte ARPAT).**

PARAMETRO	unità di misura	Limite / riferimento	Fonte Valori di riferimento
<b>PARAMETRI CHIM.-FIS. BASE</b>			
pH	UpH	6-9*	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato)
Ossigeno disciolto	mg/L		
Ossigeno disciolto	% sat	70-120*	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato)
Cloro attivo	mg/L	0,2	D.lgs 152/06 parte III Scarichi (in corpo idrico superficiale)
zolfo	mg/L	1	D.lgs 152/06 parte III Scarichi (in corpo idrico superficiale)
trasparenza	m	1,0	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato)
<b>SOSTANZA ORGANICA E NUTRIENTI</b>			
Total Organic Carbon (TOC)	mg/L		
ammonio	mg/L	min 0,010 - max 0,066	valori di riferimento calcolati sull'ultimo biennio di misure
azoto totale	mg/L	min 0,010 - max 0,245	effettuate presso le stazioni di monitoraggio più vicine al
Fosforo totale	mg/L	min 0,003 - max 0,046	Giglio

## **5.2 Indice trofico TRIX all'Isola del Giglio**

Di seguito viene mostrato, sulla base dei risultati raccolti dal *Poseidon*, l'andamento del TRIX nei pressi del relitto a dieci giorni di distanza dall'incidente.

I valori di TRIX disponibili, come detto precedentemente, sono quelli nella vicinanza del relitto per i primi due mesi circa, in quanto il battello *Poseidon* ha potuto effettuare campionamenti in quella zona. Tra le numerose analisi effettuate dal battello in questo periodo, i dati utili al calcolo del TRIX sono stati quelli relativi ai campionamenti del 20 gennaio, del 13 e del 16 febbraio, per i punti P2, P4, P5 e P6, come evidenziato nel grafico sottostante (Figura 21).



**Figura 21 – valori di TRIX nei pressi del relitto. In bianco è riportato il valore di P5 (bianco), in violetto i valori di P2-P4-P6 in data 20/01, in rosa i valori di P2-P4 in data 13 e16/02.**

I valori trovati sia a prua che a poppa della Concordia non si discostano dal valore di bianco (P5) e rientrano tutti ampiamente nei valori di eccellenza, in quanto tutti ampiamente al di sotto di 4.

### 5.3 Confronto tra il TRIX del Giglio e le stazioni della rete di monitoraggio regionale

Di seguito sono riportati i valori di TRIX raccolti da ARPAT negli ultimi 5 anni (2007-2011) nei 19 punti di monitoraggio previsti per le coste toscane (Tabella 9).

Come è possibile notare che le principali criticità sono presenti nel tratto di costa a nord della foce dell'Arno fino a Marina di Pietrasanta, caratterizzata da elevata antropizzazione e numerose aziende cartarie, mentre nella costa sud la situazione rientra ampiamente sotto il valore di 4 (eccellenza), eccetto Ansedonia nel 2008 e 2009 dove i valori sono solo "buoni" probabilmente a causa di una situazione particolare della laguna di Orbetello in quegli anni (Figura 22).

Il protocollo previsto per il monitoraggio dello stato trofico dell'area intorno al relitto della Concordia prevede un confronto tra i valori di TRIX trovati al Giglio e i valori misurati in cinque aree vicine (Cala di Forno, Foce Bruna, Mola, Porto S.Stefano, Montecristo). Un'area "non a rischio" che ha, per tutto l'anno risultati "eccellenti", l'anno successivo non viene campionata da ARPAT. Nel 2012 la campagna di monitoraggio di ARPAT prevedeva quindi il campionamento solo su tre dei cinque punti (Cala di Forno, Foce Bruna, Montecristo) previsti dal protocollo ministeriale.

**Tabella 9 – valori di TRIX presenti in tutti i punti monitorati da ARPAT dal 2007 al 2011. Con blu si indicano valori di "eccellente", con verde valori di "buono", con giallo valori di "scadente".**

Punto	Codice	2007	2008	2009	2010	2011
MARINA DI CARRARA	MC05		4,3	2,7	3,4	3,5

NETTUNO	NT05	4,1	4,2	5,2	4,9	4,5
FOCE ARNO	FA05	4,6	5,6	5,1		
FIUME MORTO	FM05				4,3	3,7
LIVORNO	LV02				3,3	
ANTIGNANO	ATO 1	3,1	3,7	3,1	3,2	
ROSIGNANO LILLATRO	RLO5				3,2	
MARINA DI CASTAGNETO	CS05	3,4	3,5	3,2	3,3	
SALIVOLI	SL05					2,7
CARBONIFERA	CR05	3,5	4,0	3,4	3,2	3,2
FOCE BRUNA	FB02				3,3	
FOCE OMBRONE	F005	3,4	4,0	3,8	3,1	
CALA DI FORNO	CF05				3,1	
FOCE ALBEGNA	AL02				3,1	
ANSEDONIA	AS05	3,4	4,1	4,6	3,5	
ELBA NORD	EB01	3,7	3,2	2,7		2,6
MOLA (ELBA SUD)	ML01					2,5
PORTO SANTO STEFANO	SS01					2,9
MONTECRISTO	MS01		3,2	3,8		

### TRIX 2007 - 2011 COSTA TOSCANA

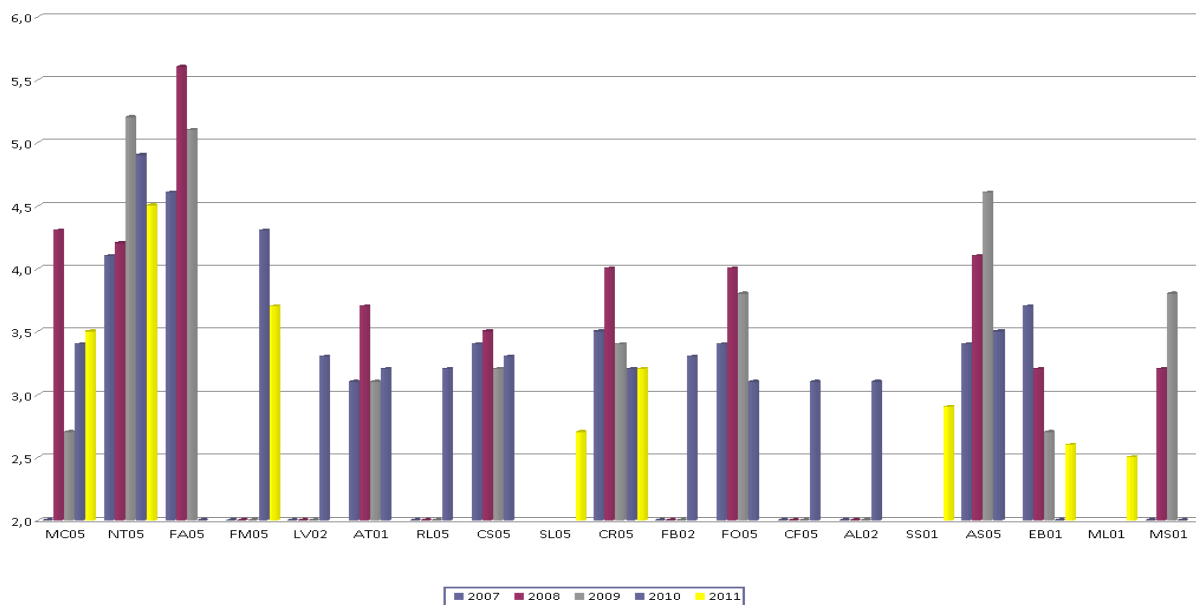
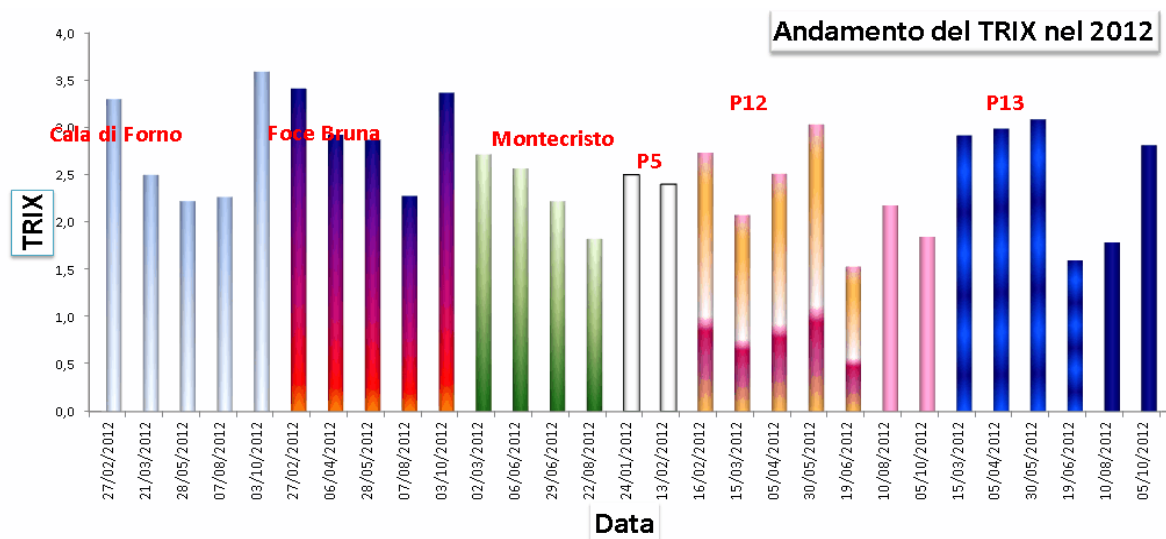


Figura 22 – valori di TRIX rilevati nei punti monitorati da ARPAT nel periodo 2007-2011.

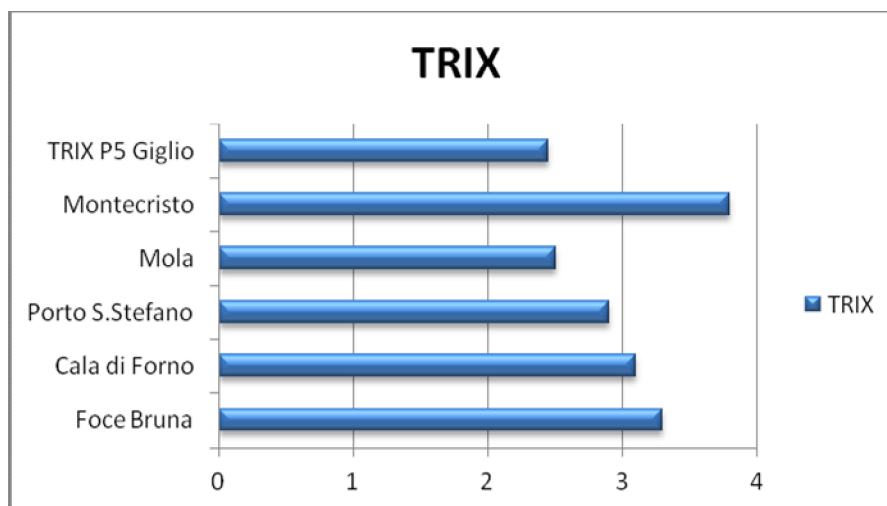
La figura 23 rappresenta l'andamento dell'indice trofico TRIX calcolato durante i campionamenti bimestrali di ARPAT a Cala di Forno, Foce Bruna e Montecristo. I valori di TRIX di questi tre punti sono confrontati con il valore di bianco (P5) campionato a 1 miglio dalla costa del Giglio a Gennaio e Febbraio, e con i punti P12 e P13 raccolti bimestralmente da febbraio ad ottobre. Tutti i valori di TRIX osservati mostrano essere compresi tra 1,5 e 3,5, ad indicare un livello di eccellenza su tutto il periodo.





**Figura 23 – valori di TRIX al Giglio e a Cala di Forno, Foce Bruna e Montecristo.**

Nel grafico sottostante sono stati poi confrontati i valori del P5 al Giglio, con le medie del triennio precedente nei 5 punti analizzati da ARPAT e inseriti nel piano di monitoraggio di Costa Concordia come definito dal Ministero dell'Ambiente (Figura 24).



**Figura 24 – valori di TRIX al Giglio e medie triennali di TRIX nei 5 punti di monitoraggio.**

In questo grafico è possibile notare che tutti i punti di campionamento, compresi quelli dell'isola del Giglio, rientrano nei valori di eccellenza, con un valore di TRIX inferiore a 4. Il dato relativo a Montecristo (TRIX=3,8), come può essere osservato nella tabella 9, risulta più alto rispetto agli altri, in quanto è ottenuto esclusivamente dalla media dell'anno 2009. Osservando invece i dati dell'anno 2012 (Figura 23) possiamo già affermare che i valori a Montecristo di TRIX si attestano intorno a 2,5.

## 6. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si inquadra nell'ambito del piano di monitoraggio attuato da ISPRA-ARPAT per il monitoraggio della qualità ambientale nelle acque dell'Isola del Giglio, dopo l'incidente della nave da crociera Costa Concordia che ha fatto naufragio nei pressi di Giglio Porto il 13 gennaio 2012.

In questo contesto ambientale, l'obiettivo dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) era quello di effettuare tutta una serie di campionamenti intorno al relitto per verificare la condizione trofica delle acque e la presenza di tensioattivi e contaminanti.

Di seguito sono riportate le principali conclusioni che sono state tratte grazie a questo studio.

I risultati hanno mostrato una situazione di normalità con valori di parametri fisici e dei nutrienti intorno al relitto sostanzialmente simili a quelli del punto di bianco a un miglio dalla costa (P5); soltanto i valori di Azoto Totale sono risultati leggermente superiori a prua e poppa del Concordia rispetto agli altri punti campionati, probabilmente perché durante i prelievi stavano operando intorno al relitto più soggetti contemporaneamente essendo ancora in situazione di emergenza.

Il confronto tra i valori dei parametri fisici e dei nutrienti riscontrati a prua e poppa della nave su un periodo più lungo che va da febbraio a novembre 2012 ha evidenziato una quantità di ossigeno disciolto superiore a quella mostrata nel P5 (bianco), dovuta probabilmente al rimescolamento prodotto dalle eliche delle varie imbarcazioni operanti intorno al relitto. I valori delle concentrazioni di azoto totale a prua e poppa del relitto sono da considerarsi abbastanza uniformi e indicativamente nelle medie degli ultimi due anni rilevati da ARPAT nelle coste meridionali toscane.

Il confronto tra i valori di clorofilla "a", azoto totale e ossigeno disciolto misurati nei punti P12 (punta Le Scole) e P13 (secca della croce), più lontani dal relitto, ed il valore di "bianco" non ha mostrato variazioni significative.

L'analisi dell'andamento dell'indice trofico TRIX intorno al relitto nei primi mesi dopo l'incidente ha mostrato valori uniformi e ampiamente sotto il valore limite di eccellenza, confermata anche dal confronto delle analisi del *Poseidon* effettuate negli ultimi anni nei cinque punti presi a riferimento dal piano di monitoraggio ministeriale del Costa Concordia.

Possiamo quindi concludere che fino ad oggi l'incidente, anche per tutta una serie di condizioni fortuite iniziali, prima fra tutte il mancato affondamento della nave che in quel momento viaggiava con i serbatoi pieni, non si è trasformato anche in un disastro ambientale, e il naufragio della nave Costa Concordia non ha portato mutamenti sullo stato trofico dell'ambiente marino sulla costa dell'isola del Giglio. D'altronde, in base alle numerose analisi effettuate nella zona, e risultate sempre nella norma, anche i parametri ritenuti più a rischio (tensioattivi e idrocarburi), hanno mostrato che non ci sono state fuoriuscite significative dal relitto, e che lo svuotamento dei serbatoi a fine estate 2012 è stato effettuato con perizia dalle ditte incaricate.

L'ultima fase di emergenza sarà quella che si avrà la prossima estate 2013 quando ci sarà il raddrizzamento e lo spostamento del relitto per la demolizione. In quelle fasi ci potranno essere ovviamente ulteriori piccole fuoriuscite che saranno monitorate dagli organi competenti.

## **7. RINGRAZIAMENTI**

I miei ringraziamenti vanno per primi alla mia famiglia e in particolare mia madre e mia moglie per la fiducia e la tanta pazienza mostrata nei miei confronti in tutti questi anni.

E poi alla Dr.ssa Ilaria Caliani, Dipartimento di Scienze Ambientali “G.Sarfatti” dell’Università di Siena, Relatore, per la disponibilità e cortesia dimostrata durante tutta la durata della compilazione di questa tesi.

Al Dr. Fabio Gambassi, biologo ARPAT - Area Mare Sede di Piombino, Correlatore, per la sua professionalità, disponibilità e l’insostituibile supporto per lo svolgimento di questo elaborato.

E alla Dott. Daniela Verniani, biologa, Area Mare del Dipartimento di Piombino e al Dott. Francesco Lavista, biologo, Servizio Sub-Provinciale di Piombino per le indicazioni fornite.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Ceccanti M., Verniani D. (2012). *Monitoraggio acque marino costiere della Toscana Anno 2011*. Firenze. ARPAT.

Cicero A.M., Di Girolamo I. (2001). *Metodologie analitiche di riferimento ICRAM*, Roma, Lo Studio Editoriale s.r.l..

Ramacci L. (2011). *Codice delle acque*. Roma. Casa editrice La Tribuna.

Mancusi C., Cecchi E., Piazzini L., Ria M., Silvestri R. (2010). *The assessment of the ecological quality of coastal water through the concurrent use of different biological indicators*. Biol. Mar. Mediterr., 17(1): 171-172.

Della Croce N., Cattaneo Vietti R. & Danovaro R. (1997). *Ecologia e protezione dell'ambiente marino costiero*. UTET.

D.Lgs. n.131/2008 (2008). *Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici*. Roma (Supplemento Ordinario n. 189 alla Gazzetta Ufficiale n. 187 del 11 agosto 2008).

D.Lgs. n. 152/2006 (2006). *Norme in materia ambientale*. S.O. a G.U. n. 88 del 14 aprile 2006.

D.Lgs. n.260/2010 (2010). *Criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali - Modifica norme tecniche Dlgs 152/2006*, Roma S.O. n. 31 a G.U. n. 30 del 7 febbraio 2011.

Delibera di Giunta Regione Toscana del 25 maggio 2009, n. 416. 2009 (2009). *Tipizzazione dei corpi idrici superficiali della Toscana. Attuazione delle disposizioni di cui allegato 3, punto 1, alla parte III del D.Lgs. 152/2006, come modificato dal decreto ministeriale, 16 giugno 2008, n. 131*. Firenze. BURT n.22 del 4.6.2009.

Delibera di Giunta Regione Toscana del 26 ottobre 2009, n. 939. 2009 (2009). *Individuazione e caratterizzazione dei corpi idrici della Toscana - Attuazione delle disposizioni di cui all'art. 2 del DM 131/08 (acque superficiali) e degli art. 1, 3 e all. 1 del D.Lgs. 30/09 (acque sotterranee)*. Firenze. Supplemento n. 109 al BURT Parte Seconda n. 44 del 4.11.2009.

ISPRA, 2008 (2008). *Protocolli per il campionamento e la determinazione degli elementi di qualità biologica e fisico-chimica nell'ambito dei programmi di monitoraggio ex 2000/60/CE delle acque di transizione*, Roma, Ispra.

ISPRA, 2009 (2009). *Implementazione della direttiva 2000/60/CE. Classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici delle acque marino costiere e di transizione*. Roma, Ispra.

ISPRA, ARPAT, 2012 (2012). *Piano di Monitoraggio della qualità ambientale. Incidente Costa Concordia nelle acque dell'Isola del Giglio*, Roma, Ispra.

Melley A., Iozzelli M. (2001). *Rapporto sullo stato delle acque marine in Toscana 2001*. Firenze. Regione Toscana.

Montanari g., Giovanardi F., Melley A. (2000). *Gli indici trofici per le acque marino costiere*, Roma. (RTI CTN\_AIM 1/2000). ANPA

Taylor, F. J. R., Fukuyo, Y. & Larsen, J. (1995). *Taxonomy of harmful dinoflagellates*. In Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M. & Cembella, A. D. [Eds.] *Manual on Harmful Marine Microalgae*. IOC Manuals and Guides No. 33. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, pp. 33.

**Siti consultati:**

<http://www.arpat.toscana.it/attivita/supporto-tecnico-scientifico/emergenze-ambientali/naufragio-nave-costa-concordia/>

<http://sira.arpat.toscana.it/sira/concordia.html>

[http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/mare/progetto\\_mare/eutrofizzazione.htm](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/mare/progetto_mare/eutrofizzazione.htm)

<http://www.gionha.it/risorse/pubblicazioni/report/il-monitoraggio-marino-costiero-in-toscana>