

La gestione integrata della fascia costiera: studio e correlazione di variabili a carattere biologico, ecologico, chimico e sedimentologico del Litorale Domitio, in Provincia di Caserta

Giovanna D'Ambra, Daniela Ruberti, Rosa Verde, Marco Vigliotti, Valentina Roviello

Dipartimento di Scienze Ambientali - Seconda Università di Napoli, Via Vivaldi, 43, 81100 Caserta, +39 0823 274607
giovanna.dambra@unina2.it, daniela.ruberti@unina2.it, rosa.verde@unina2.it, marco.vigliotti@unina2.it

Riassunto

Il Litorale Domitio e relativa piana alluvionale costiera, sono da tempo oggetto di studi multidisciplinari condotti presso il Dipartimento di Scienze Ambientali di Caserta, che confluiscono in un SIT (Sistema Informativo Territoriale) in cui sono archiviati dati di molte delle componenti naturali ed antropiche che insistono sull'area di studio. I dati, acquisiti in campo e presso enti locali e nazionali, sono stati raccolti in *geodatabase*, realizzati in accordo con gli standard ISO/TC 211 *Geographic information/Geomatics* 19115 Metadata. Analogamente sono stati esaminati i dati annuali di campionamento riguardanti analisi geochimiche delle acque e dei sedimenti marini e fluviali. Il Sistema Informativo Costiero realizzato integra gli aspetti morfoevolutivi del litorale, gli usi del suolo e dati di monitoraggio dell'ambiente costiero. L'analisi dei dati, effettuata in ambiente GIS, ha portato all'elaborazione di ulteriori documenti riguardanti la valutazione qualitativa delle acque di balneazione e la dinamica del paesaggio costiero.

Tali documenti rappresentano interessanti informazioni sulle dinamiche complessive e le condizioni degli ecosistemi, di fondamentale importanza in una gestione corretta di un sistema complesso come quello costiero.

Abstract

The Domitia coastal zone have long been the subject of multidisciplinary studies conducted at the Department of Environmental Sciences of Caserta, which are included in a GIS (Geographic Information System) that stores data from many of natural and anthropogenic components that stress on study area. The data, acquired in the field and from local and national authority, were collected in *geodatabase*, made in accordance with ISO/TC 211 *Geographic Information/Geomatics* 19115 Metadata. Similarly were examined annual data of the sample for geochemical waters analyses and marine and river sediments. The Coastal Information System integrate aspects morphoevolution of the shoreline, the land uses and data monitoring of the coastal environment. Data analysis, performed in a GIS environment, has led to the development of additional documents relating to the qualitative assessment of bathing waters and the dynamics of the coastal landscape. These documents represent interesting information on the complex dynamics and the conditions of ecosystems, essential in proper management of a complex system such as coastal.

Introduzione

Le zone costiere rappresentano dei sistemi ambientali, dinamici e fragili, caratterizzati da una peculiarità di elementi (meteoclimatici, geologici, biologici) che li rendono estremamente vulnerabili.

La dinamica dei processi costieri naturali – ivi compresi i collegamenti idrologici tra il bacino imbrifero e la costa – è stata in molte parti del mondo ampiamente influenzata dalle attività antropiche, il cui sviluppo “irresponsabile” ha provocato la perdita di habitat naturali ad elevata biodiversità quali gli ambienti di transizione e un aumento dei rischi per le infrastrutture e le popolazioni residenti lungo la fascia costiera.

La consapevolezza della criticità e vulnerabilità di tali aree ha portato la comunità scientifica internazionale ad identificare dei criteri generali di Gestione Integrata della Fascia Costiera (GIFC)

(COM/00/547 del 27.09.2000; COM/00/545 del 08.09.2000; cf. COM/07/308 del 07.07.2007), ossia un processo dinamico, interattivo e interdisciplinare inteso a promuovere il loro assetto sostenibile attraverso la partecipazione e collaborazione informata di tutti i soggetti interessati. La conoscenza dello stato fisico del sistema costiero nel suo quadro naturale ed antropico, è il necessario presupposto per gli studi ecologici e socio-economici finalizzati alle scelte di Gestione Integrata sulla base del modello DPSIR (*Drivers, Pressure, State, Impact, Response*). Su tale schema si è sviluppato il seguente lavoro, che attraverso l'utilizzo di tecnologie GIS, ha gestito, integrato e analizzato, con relativa semplicità, una variegata tipologia di informazioni.

Il SIT raccoglie dati multidisciplinari di monitoraggio sedimentologico, chimico, biologico e biochimico, a loro volta messi in relazione con gli usi e le attività svolte lungo la fascia costiera della provincia di Caserta, nota come Litorale Domitio. L'intero ambiente, condizionato prevalentemente dalla dinamica fluviale dei fiumi Garigliano e Volturno, risulta fortemente compromesso per effetto di un'intensa urbanizzazione, di attività agricole e zootecniche e di opere costiere, che ne hanno profondamente modificato l'assetto morfologico ed il paesaggio naturale.

1. Inquadramento territoriale

Il Litorale Domitio è caratterizzato da costa bassa e sabbiosa che si estende dalla Piana del Garigliano fino a Monte di Procida per circa 50 km. Rappresenta il margine occidentale della Piana del Garigliano e della Piana Campana, due depressioni strutturali bordate da lineamenti tettonici acquisiti essenzialmente durante il Pleistocene e legati alle vicissitudini neotettoniche del margine peritirrenico della catena appenninica (Cinque et al., 2000; Bruno et al., 2000).

Il settore costiero domitio sottende tre principali bacini idrografici, quello del Garigliano, del Volturno e dei Regi Lagni, e rappresenta il punto di recapito anche di altri corsi d'acqua minori, quali il Fiume Savone, il Canale Agnena, l'alveo dei Camaldoli ed il termine ultimo del bacino del Lago di Patria. Quasi tutti i corsi d'acqua versano in condizioni di inquinamento a causa dell'immissione di reflui civili ed industriali, e dell'abbandono incontrollato di rifiuti solidi.

L'intero Litorale Domitio rientra nell'elenco dei progetti integrati definitivi promossi e sostenuti dal Parlamento Europeo per la Gestione Integrata delle Zone Costiere attraverso 2 atti: EU COM 2000/547 (ICZM – una strategia per l'Europa) e EU Racc. 2002/413 (Raccomandazione agli stati Membri per l'implementazione dell'ICZM).

La ricchezza naturalistica del territorio, seppur gravemente minacciata ed in parte compromessa, è stata riconosciuta attraverso l'istituzione di Zone a Protezione Speciale (ZPS) e Siti di Importanza Comunitaria (SIC) da parte dell'Assessorato delle Politiche Territoriali ed Ambientali della Regione Campania nel 2005.

2. Metodologia

Al fine di caratterizzare in maniera esaustiva la fascia costiera, considerando le componenti naturali e antropiche, sono stati acquisiti dati inerenti l'assetto geologico/geomorfologico, l'idrografia e l'uso del suolo. Tali dati in parte bibliografici, sono stati forniti da enti locali e nazionali, raccolti in *geodatabase* realizzato in ambiente MS ACCESS, in accordo con gli standard ISO/TC 211 *Geographic information/Geomatics* 19115 Metadata, come proposto dall'Intesa Stato/Regioni/Enti Locali per l'impianto del Repertorio Cartografico Nazionale. Tutti i dati sono stati georiferiti nel sistema cartografico nazionale Gauss-Boaga Zona 2 Roma 40 e la gestione è stata affidata a un Sistema Informativo Territoriale (SIT), realizzato in ambiente Geomedia di Intergraph, che risponde ai requisiti di scalabilità, interoperabilità e integrabilità, denominato *SIC* (acronimo di Sistema Integrato Costiero), in analogia con quanto realizzato dalla Regione Emilia Romagna (2006). Il SIT è basato sulla Carta Tecnica Regionale, alla scala 1:5000, sulla quale si sovrappongono i diversi tematismi atti a descrivere gli aspetti naturali ed antropici del territorio (Fig. 1).

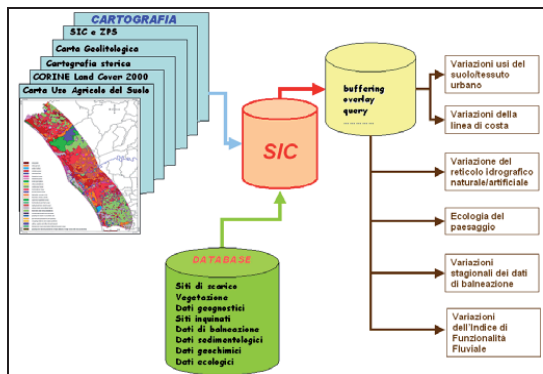


Fig. 1 – Struttura del SIC Litorale Domitio

La georeferenziazione e la digitalizzazione di cartografia, realizzata direttamente in ambiente GIS, ha permesso la ricostruzione dell'evoluzione della linea di costa e della rete idrica, le variazioni del paesaggio in termini di uso del suolo ed impatto delle attività antropiche (Ruberti et al., 2008).

Le maggiori modificazioni morfologiche avvenute nell'area riguardano l'assetto idrografico e sono legate alle importanti opere di bonifica avvenute a partire dall'epoca Borbonica. Nei due documenti riportati in Fig. 2 (a,b) è ben visibile l'aspetto del territorio ad inizio '800 e alla fine del '900.

3. Risultati

3.1 Evoluzione del territorio in epoca storica

Per comprendere e stimare le maggiori modificazioni intervenute negli ultimi duecento anni è stata acquisita una corposa documentazione cartografica pre-geodetica e geodetica, a differente scala di dettaglio, e foto aeree del 1972, 1984, 1999, 2006, georeferite considerando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale della Regione Campania (CTR a scala 1:25000). I documenti cartografici e le foto aeree sono stati acquisiti in formato raster rispettivamente a 300 e 1200 dpi.

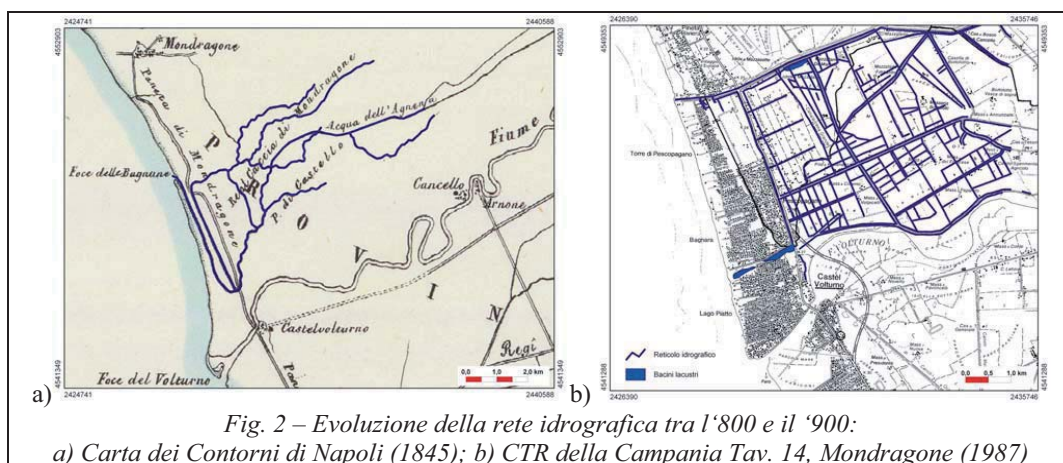


Fig. 2 – Evoluzione della rete idrografica tra l'800 e il '900:

a) Carta dei Contorni di Napoli (1845); b) CTR della Campania Tav. 14, Mondragone (1987)

Nella *Carta Dé Contorni di Napoli* del 1845 (Fig. 2a) è evidente la scarsa o nulla antropizzazione del territorio costiero caratterizzato dalla presenza di numerose aree paludose (*Pantano di Castello*, *Stagno Lavapiatti* o *Focella*) che sono, nella CTR della Campania del 1987, sostituite da una fitta rete di canali di drenaggio (per una lunghezza pari a ca. 141 km) con la completa rettilineizzazione del corso dell'*Acqua dell'Agnena*, trasformatosi in *Canale dell'Agnena* (Fig. 2b). La foce a delta del Volturno si è nel tempo evoluta in un tipico delta-estuario, fortemente asimmetrico nella forma, a causa dell'intenso sviluppo urbano dell'abitato di Castelvoturno principalmente in destra orografica.

Parallelamente, gli interventi sui corpi idrici superficiali, anche a scala di bacino, hanno indotto un arretramento fino alla completa rettificazione della linea di costa, con contemporanea distruzione della cuspideltizia del Volturno (Fig. 3).

A partire dagli anni '70, inoltre, si registra in area una vistosa quanto rapida espansione urbanistica. La possibilità di analizzare la cartografia geodetica dell'I.G.M.I. del XX secolo in ambiente GIS ha

consentito di quantificare le variazioni intervenute durante questo arco di tempo. L'evoluzione del tessuto urbano è stata desunta attraverso la digitalizzazione dei singoli edifici o di limitati agglomerati, ricavando così, per ogni singolo anno, l'estensione delle aree edificate (Fig. 4). Sono stati infine valutati gli usi del suolo, attraverso l'uso della CORINE Land Cover (AA.VV., 1993). La riduzione delle aree umide avvenuta a seguito degli interventi di bonifica sopra menzionati si accompagna alla presenza di pericolosi contatti lineari tra le tipologie urbano-aree umide (protette ai sensi della Direttiva di Ramsar) e la totale assenza di zone ecotonali (Fig. 5): infatti, mentre le aree di contatto tra due tipologie di vegetazione naturale (ecotoni) sono considerate nell'ecologia del paesaggio ad elevata ricchezza specifica, e quindi di un certo pregio, in questo caso le aree umide ai margini dell'urbanizzato, con segnalate specie vegetali sinantropiche e diffuse discariche, marcano uno scadimento della qualità ambientale (D'Ambra et al., 2005).

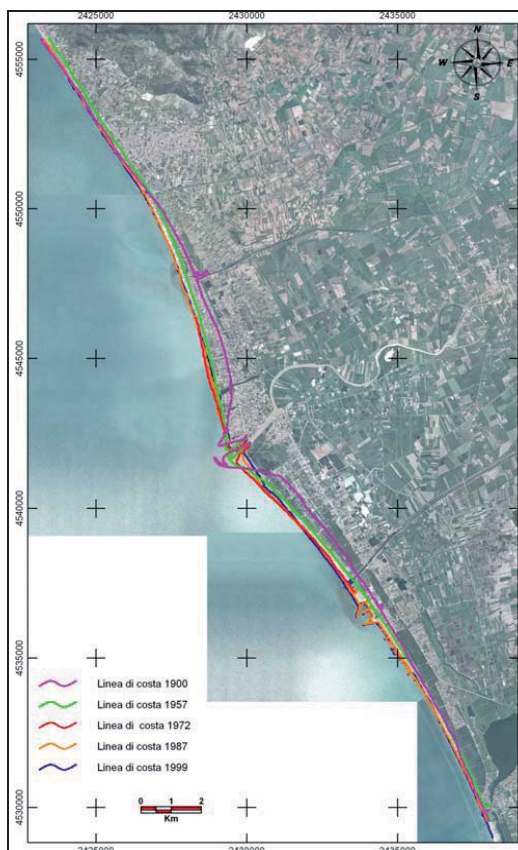


Fig. 3 – Evoluzione della linea di costa

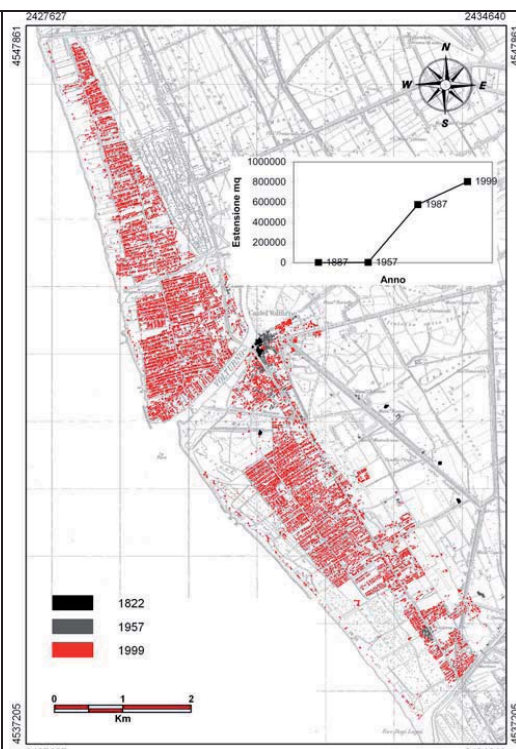


Fig. 4 – Evoluzione del tessuto urbano dal 1822 al 1999 e relativo trend di espansione urbanistica dal 1887.

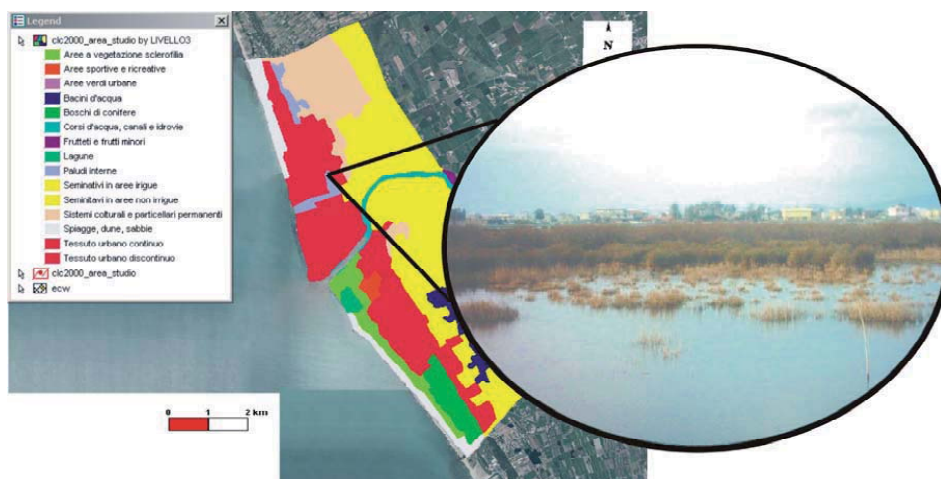


Fig. 5 – Analisi dell'uso del suolo e particolare del contatto tra le tipologie “urbano” e “palude”

3.3 Caratterizzazione del tratto terminale del Fiume Volturno

Gli ambienti costieri sono luoghi estremamente fragili la cui evoluzione è influenzata non solo dall'interazione fra tutto ciò che accade all'interfaccia terra-mare ma anche dall'entroterra. Per tale motivo sono state condotte analisi anche su acque e sedimenti del tratto terminale del fiume Volturno.

3.3.1 Analisi su sedimenti

Nel periodo luglio-settembre 2008 sono stati effettuati campionamenti dei sedimenti di fondo e delle acque fluviali lungo il tratto terminale del fiume Volturno (Fig. 6).

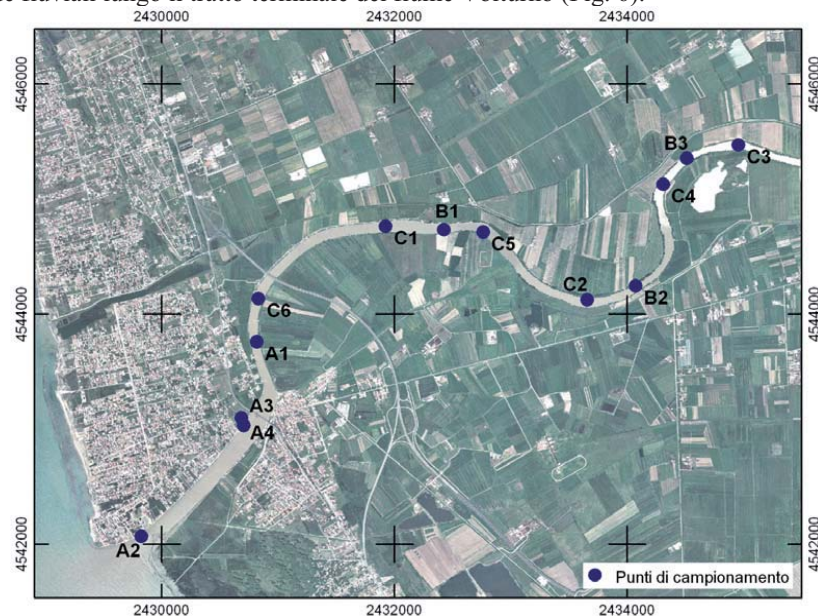


Fig. 6 – Localizzazione dei punti di campionamento lungo il tratto terminale del Fiume Volturno

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi granulometrica condotta mediante setacciatura, attraverso l'utilizzo di una pila della serie ASTM con maglie di 2000, 1000, 500, 250, 125 e 63 μm . I valori di ogni singola pesata sono riferiti alle classi granulometriche appartenenti alla scala Udden-Wentworth (1922) ed elaborati statisticamente mediante l'applicazione di metodologie di analisi univariate e bivariate. Le variabili sedimentologiche analizzate sono il granulo medio, la deviazione standard, l'asimmetria, la curtosi e la mediana.

Dalle analisi emerge che i campioni sono costituiti da classi granulometriche alquanto omogenee, rappresentate in prevalenza da sabbie medio-fini con un moderato grado di classazione.

3.3.2 Analisi delle acque

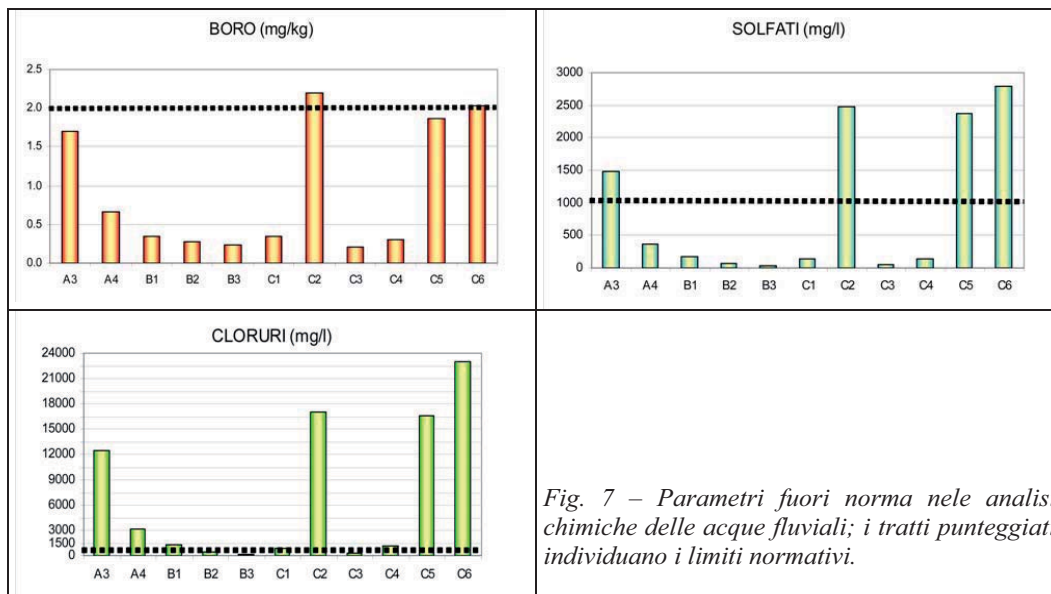
La qualità delle acque è stata desunta attraverso l'analisi comparata dei valori di temperatura, pH, presenza di ammoniaca e/o altri composti azotati, quantitativo di ossigeno consumato per la stima del contenuto di sostanza organica, nonché la presenza di metalli pesanti in tracce e composti organici aromatici. Tali dati sono stati integrati in una banca dati contenente analoghe informazioni, acquisite presso l'ente Provincia di Caserta, settore Ambiente, Ecologia e Tutela del Territorio, relative al monitoraggio delle caratteristiche chimiche, fisiche e microbiologiche delle acque degli impianti di depurazione dei reflui comunali e delle singole attività aziendali rilasciate nel fiume.

Dalle analisi è emerso che degli 11 campioni esaminati, tutti i campioni non superano i limiti imposti dal D.Lgs. 152/06 per Temperatura, pH, BOD₅, Azoto nitrico, Azoto ammoniacale, Fosfati, Fluoruri, Composti Organici Volatili, Cromo totale, Bario, Ferro, Nichel, Rame, Zinco. Per quasi tutti i campioni i parametri fuori norma sono rappresentati invece da COD, Boro, Cloruri e Solfati (Fig. 7).

I metalli in tracce rispettano complessivamente i limiti, anche se si mantengono comunque alti i valori delle concentrazioni di cromo, ferro e nichel per alcuni campioni provenienti dal settore prossimo alla foce e il tratto più interno considerato. Il BOD₅ assume valori variabili tra 2 mg/L e 7 mg/L; sapendo che, nei corsi d'acqua non inquinati il valore di BOD₅ dovrebbe essere inferiore a 3 mg/L (Ghetti, 1997), tutti i siti, ad eccezione del sito A3, risultano inquinati.

Il COD sono apparsi particolarmente elevati nei siti A4 (556 mg/L) e B1 (203 mg/L) rispetto a tutti gli altri siti, superando il valore limite di emissione in acque superficiali, pari a 160 mg/L, previsto dalla Legge 152/06. E' da sottolineare che, in tutti i siti, i valori di COD hanno superato sia il limite di 5 mg/L, indicato per acque idonee alla vita dei specie salmonidi, che quello di 20 mg/L, indicato per le acque idonee alle specie ciprinicole (Provini et al., 1998).

Il rapporto BOD₅/COD, indica che l'elevata frazione di sostanza organica mostra un'elevata resistenza alla degradazione biologica. Nei diagrammi triangolari delle concentrazioni dei principali anioni e cationi, tutti i campioni tendono a distribuirsi verso valori elevati di cloro, sodio e potassio, e bassi di solfato e magnesio, secondo un comportamento tipico delle acque marine. Ciò fa presumere la presenza di ingressione marina nelle zone della foce fluviale. Nei campioni C1, C2 e C3, prelevati in prossimità di scarichi non ufficialmente censiti, sono stati rilevati picchi elevati di *dimethylsilanediol* [HOSi(CH₃)₂OH= DMSD], una molecola costituita da silice che si forma in seguito all'idrolisi dei polimeri del silicone, utilizzati in molti prodotti di cosmesi. Tali composti possono ritrovarsi nelle acque reflue degli impianti di trattamento, dove sono associati ai fanghi, il cui smaltimento come fertilizzanti nei campi e nei pascoli li conduce nel suolo (Lehmann et al., 1996; Sabourin et al., 1996).



3.3.3 L'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF)

Per valutare lo stato complessivo dell'intero ecosistema fluviale è stato calcolato l'Indice di Funzionalità Fluviale lungo il tratto terminale del Fiume Volturno che va dalla confluenza con il Fiume Calore Irpino alla sua foce nel Tirreno, per una lunghezza complessiva di 82,96 km. Tale indice consente, attraverso la descrizione di parametri morfologici, strutturali e biotici di tratti omogenei, di calcolare il grado di allontanamento del fiume dalla condizione di massima funzionalità (Fig. 8; ANPA, 2000) espressa mediante 5 Livelli di Funzionalità (I-V) cui corrispondono altrettanti Giudizi di Funzionalità (da elevato a pessimo).

Valore di I.F.F.	Livello di Funzionalità	Giudizio di Funzionalità	Colore
261-300	I	Elevato	Blu
251-260	I-II	Elevato-Buono	Blu Verde
201-250	II	Buono	Verde
181-200	II-III	Buono-Mediocre	Verde Giallo
121-180	III	Mediocre	Giallo
101-120	III-IV	Mediocre-Scadente	Giallo Arancio
61-100	IV	Scadente	Arancio
51-60	IV-V	Scadente-Pessimo	Arancio Rosso
14-50	V	Pessimo	Rosso

Fig. 8 – Livelli di Funzionalità, relativi Giudizi e colore di riferimento.

L'applicazione dell'IFF al Fiume Volturno (Ruberti et al., 2007), attraverso l'individuazione di 58 tratti omogenei (ognuno con una lunghezza media di 1430 metri), evidenzia una marcata condizione di degrado: il livello di funzionalità prevalente nel 47,6% del tracciato è mediocre, seguito da buono-mediocre (23%), mediocre-scadente (19,5%), scadente (7,4%) e buono (2,5%) senza mostrare un particolare trend man mano che ci si sposta dalla foce alla confluenza con il Calore (Fig. 9).

Nell'andare a considerare le singole sponde, l'andamento della sponda in destra orografica è lo stesso di quello appena descritto, mentre è ben più grave la situazione della sponda sinistra in cui il giudizio di funzionalità prevalente è mediocre-scadente (46,94%).

Al fine di individuare la distribuzione delle classi di qualità rispetto all'uso del territorio è stata effettuata un'intersezione spaziale della mappa di Funzionalità Fluviale con la Carta dell'Uso Agricolo del Suolo (SESIRCA, 2004).

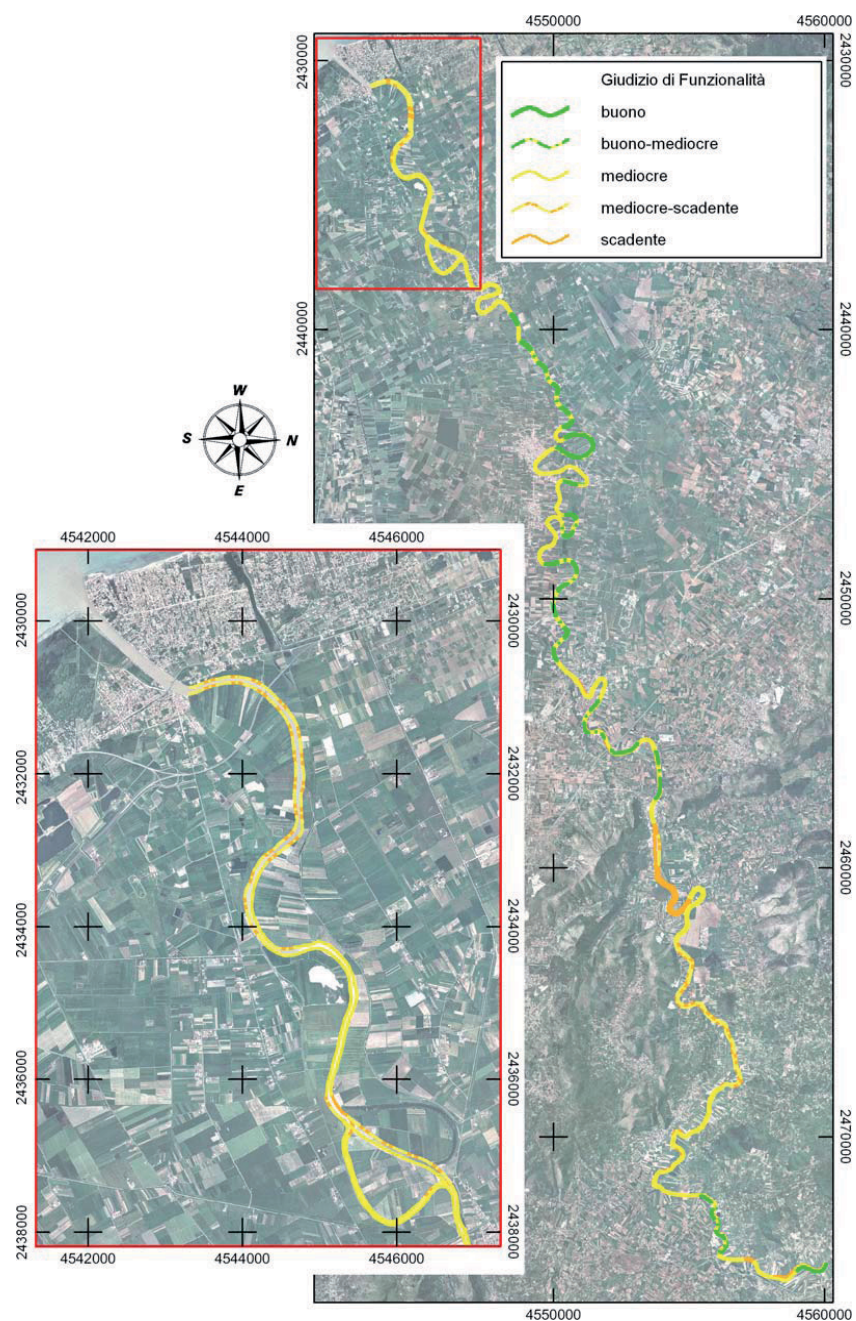


Fig. 9 – Indice di Funzionalità Fluviale applicato al tratto del Volturno che va dalla confluenza con il fiume Calore Irpino alla sua foce nel Tirreno e particolare del tratto terminale nella fascia costiera.

Il valore percentuale calcolato rapportando la superficie coperta di ciascuna tipologia culturale rispetto al totale che essa occupa nell'ambito di tutte le classi di funzionalità considerate sono riportate in Fig. 10.

% di Classi di CUAS	Buono (2,46%)	Buono-medio (23,06%)	Medio (47,61%)	Medio-Scadente (19,49%)	Scadente (7,36%)
Aree artificiali	0	5,56	72,22	5,56	16,67
Aree con vegetazione rada	0	0	50	0	50
Boschi di latifoglie	7,69	23,08	38,46	23,08	7,69
Cereali da granella autunno-vernini	0	57,14	42,86	0	0
Cereali da granella autunno-vernini (irriguo)	8,11	13,51	51,35	16,22	10,81
Cereali da granella primaverili-estivi	0	15,38	61,54	7,69	15,38
Cereali da granella primaverili-estivi (irriguo)	3,08	13,85	58,46	20	4,62
Cespuglieti ed arbusteti	0	0	75	25	0
Culture industriali	0	33,33	66,67	0,00	0
Culture industriali (irriguo)	6,25	18,75	37,50	25	12,50
Erbai (irriguo)	0	5,88	23,53	70,59	0
Frutteti	3,90	29,87	49,35	10,39	6,49
Ortive	0	33,33	66,67	0	0
Ortive (irriguo)	3,70	14,81	44,44	18,52	18,52
Pascolo naturale	0	0	0	100	0
Pioppeti, saliceti ed altre latifoglie	0	0	0	100	0
Prati e pascoli	0	0	0	100	0
Rocce nude ed affioramenti	0	0	100	0	0

Fig. 10 – Relazione percentuale tra le tipologie di uso del suolo e le classi di funzionalità fluviale derivanti dall'intersezione spaziale CUAS-IFF

Da tale ripartizione si evidenzia che:

- il Giudizio di Funzionalità Fluviale “Medio” è quello su cui vanno ad incidere il maggior numero di tipologie culturali (15). Fra queste vi è prevalenza di cereali da granella primaverili-estivi (25%) ad uso irriguo, seguiti dai frutteti (24,36%);
- il Giudizio di Funzionalità “Scadente” è associato alla presenza di Ortive irrigue (18,52%); mentre i Frutteti prevalgono in corrispondenza della Classe di Funzionalità “Buono”.

L'incidenza negativa di pratiche agricole, non sempre condotte in maniera appropriata, è amplificata dalle pessime condizioni in cui si trova la vegetazione periferica, particolarmente frammentata e spesso mancante, che pone a diretto contatto le colture con le acque fluviali. In una condizione di maggiore naturalità, infatti, le due tipologie di uso del territorio, seppur confinanti, sono separate dalla presenza di vegetazione spontanea.

4. Caratterizzazione della spiaggia sommersa

4.1 Caratterizzazione sedimentologica

I sedimenti costituiscono per la loro modalità d'accumulo e formazione, una sorta di “memoria storica” e, quindi, permettono di trarre indicazioni non solo su eventi d'inquinamento recenti, ma anche su quelli pregressi. I micro-inquinanti sia inorganici che organici, generalmente associati al particolato presente in acqua, arrivano al mare attraverso i fiumi e gli scarichi dei reflui. Tenuto conto di tali caratteristiche, nel quadriennio 2004-2008 sono stati campionati sedimenti di spiaggia sommersa lungo dei transeetti normali alla costa (Fig. 11). I campioni prelevati mediante benna “Van Veen”, localizzati con un GPS, sono stati sottoposti ad analisi granulometriche, geochimiche ed ecologiche. Le campionature del 2004-2005 sono state attuate durante la costruzione di una barriera frangiflutti, completata nel settore più meridionale, solo nel 2007.

Normalmente, in un ambiente naturale di spiaggia, la distribuzione granulometrica della spiaggia sottomarina è ben classata, con la dimensione media dei granuli che diminuisce gradualmente verso il fondo, l'asimmetria negativa e la percentuale di pelite che aumenta con la batimetria. Dati relativi ai campionamenti di maggio-novembre 2005 evidenziano la prevalenza di sabbie grossolane caratterizzate da condizioni di instabilità imputabili all'inizio di lavori di costruzione della barriera

emersa parallela alla costa. Invece, i dati relativi ai campionamenti del 2007-2008 mettono in evidenza la presenza di sabbie medie tendenti al grossolano, indice di un raggiunto equilibrio dinamico.

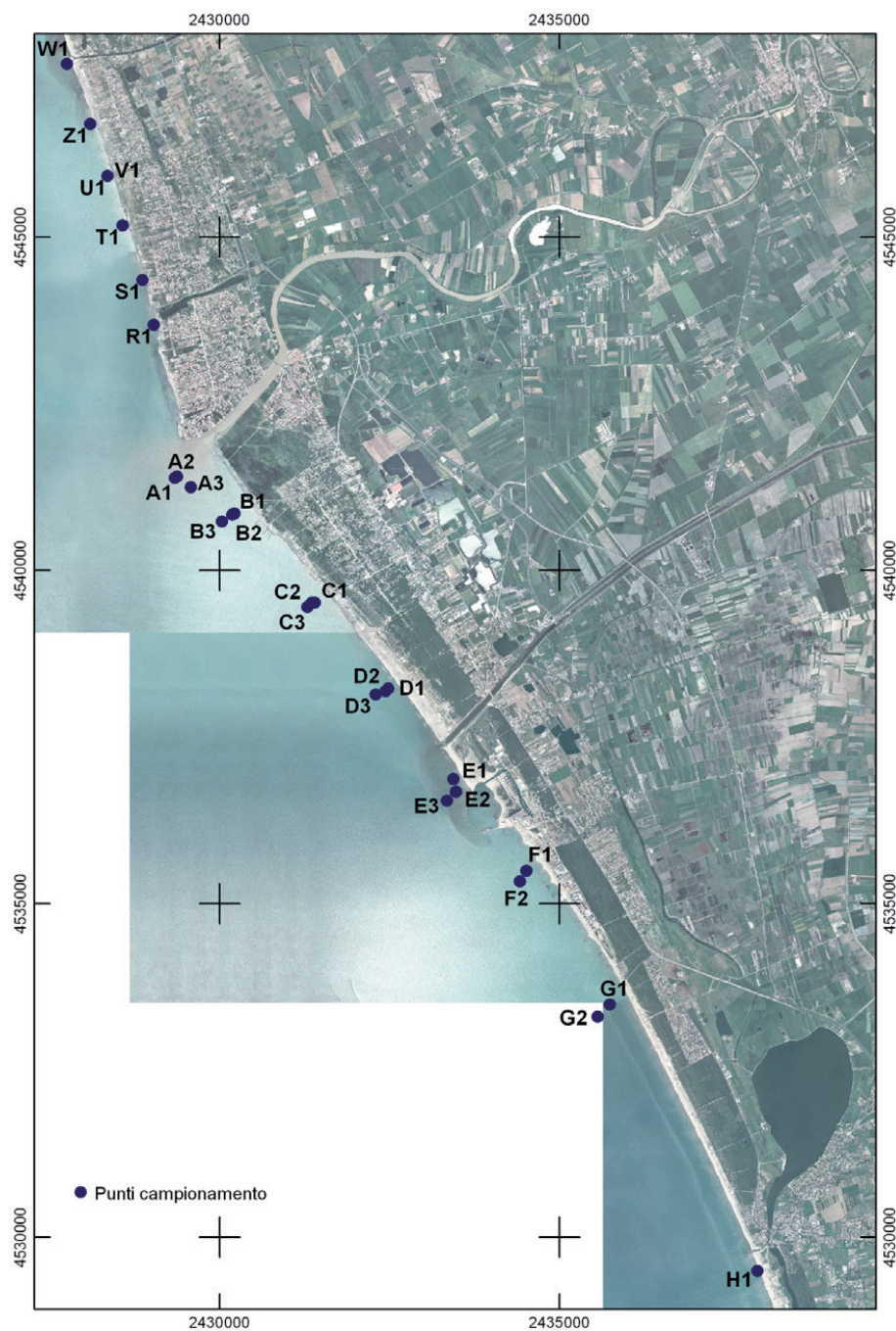


Fig. 11 – Localizzazione dei punti di prelievo dei sedimenti lungo la fascia costiera

4.2 Caratterizzazione geochimica

Le analisi geochimiche hanno previsto la stima delle concentrazioni dei metalli pesanti condotte attraverso il metodo EPA 3051 (1995), mediante la digestione pseudo-totale del sedimento tramite mineralizzazione con miscela di acidi forti a caldo ($\text{HNO}_3:\text{HCl}:\text{HF} = 9:2:3$ a pressione e temperatura controllata) in “digestori” a microonde sotto pressione. La determinazione delle concentrazioni di As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Se e Hg sono state rilevate con spettrometria ad emissione atomica mediante plasma induttivamente accoppiato (ICP-OES).

L'analisi del contenuto di IPA e PCB è stato effettuato secondo il metodo EPA n° 8275 (EPA, 1996). Sono stati analizzati solamente gli IPA (naftalene, acenaftilene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k,j)fluorantene, benzo(a)pirene, benzo(e)pirene, indeno(1,2,3,cd)pirene, dibenzo(a,h)antracene, benzo(g,h,i)terilene) indicati dalla US Agenzia Americana per la Protezione dell'Ambiente nel “Clear Water Act” (US-EPA, 1993) e i tredici PCB congeneri (28, 52, 77, 81, 101, 118, 126, 128, 138, 153, 156, 169, 180) più significativi sotto il profilo ambientale.

Le concentrazioni dei metalli pesanti, IPA e PCB sono state confrontate con i limiti normativi stabiliti dal D.M. 06/11/2003 n. 367 e del D.Lgs. 152/06.

Le concentrazioni limite dei metalli pesanti sono stati raffrontati anche con i valori di *background* relativi ai sedimenti dell'area antistante Punta Licosa, in corrispondenza del limite meridionale del golfo di Salerno, rappresentante una zona naturale a basso impatto antropico (Sprovieri et al., 2006). Per effettuare delle comparazioni con aree incontaminate in assenza di riferimenti di *background* a livello locale e nazionale, le concentrazioni medie di ciascun metallo sono state confrontate con i dati desunti dalla letteratura per le medie dei valori geochimici mondiali (*average shales*) riferiti ai sedimenti marini di *off-shore* (Wedepohl, 1978).

I valori medi sperimentali relativi alle concentrazioni di Cu, Ni, Zn, Pb, V e Hg sono compresi nel range di *background* e sono inferiori ai rispettivi *average shales*. Cd, Cu, Zn e V risultano in alcuni punti superiori a tali valori. Per discriminare le fonti naturali o antropiche dei differenti metalli presenti nell'area sono stati calcolati i fattori di arricchimento (EF) degli elementi in traccia sia rispetto ai valori medi mondiali (Wedepohl, 1978) sia a quelli continentali regionali (De Vivo et al., 2003).

Cr, Cu e V presenti nei sedimenti marini esaminati hanno una probabile origine antropica legata alle intense attività agricole poiché presenti nei fertilizzanti e nei pesticidi (ANPA, 2000). Il fattore di arricchimento per l'arsenico, considerato rispetto al valore di *background* risulta molto basso poiché le concentrazioni prese a riferimento sono peculiari di un'area influenzata da circolazione idrotermale di origine vulcanica, attiva nell'area di Punta Licosa (Sprovieri et al., 2006) in accordo con quanto descritto da De Vivo (1989, 2001) per diverse aree del Golfo di Napoli e dell'area Flegrea. I valori delle concentrazioni degli IPA rientrano nei limiti normativi mentre i PCB sono inferiori ai limiti anche perché il loro utilizzo è vietato da anni per legge.

4.3 Analisi della comunità microfitobentonica: diatomee.

L'utilizzo dei sistemi biologici per il monitoraggio ambientale ha il vantaggio di valutare gli effetti di un inquinante sugli organismi viventi e di evidenziare eventuali sinergie tra più sostanze tossiche. Le peculiarità che rendono le diatomee ottimi indicatori biologici rispetto ad altri gruppi di organismi acquatici sono costituite dalla loro ampia distribuzione con un elevato numero di specie e facilità di raccolta, l'elevata sensibilità ad un vasto numero di fattori chimico-fisici; la formazione di associazioni che riflettono le condizioni dell'ambiente acquatico (Round, 1991).

Con l'obiettivo di caratterizzare la comunità diatomica marina è stato effettuato uno studio innovativo, per il tratto costiero in esame, sulla composizione della comunità delle diatomee epipeliche e endopsammiche attraverso una procedura definita sulla base di esperienze condotte in laboratorio. Le osservazioni in microscopia elettronica a scansione (SEM SS 6060LV) sono state condotte a 1000 ingrandimenti per la distinzione tra diatomee centriche e pennate e la conta delle

sole diatomee pennate. L'analisi qualitativa della comunità diatomica evidenzia la prevalente presenza di specie caratteristiche di ambienti eutrofici come quelle appartenenti ai generi *Navicula*, *Nitzschia*, e *Pleurosigma*. La comunità diatomica risulta inoltre costituita in maggioranza da specie epipeliche ed epifittiche di ambienti degradati con la totale assenza di specie epipsammiche ed endopsammiche. Questo è un dato importante, in quanto, le specie epipeliche ed epifittiche, al contrario di quelle epipsammiche ed endopsammiche, sono dotate di una certa mobilità e il ritrovamento solo di tali specie è probabilmente imputabile ad un tale grado di inquinamento della matrice sedimentaria tanto da non permettere la sopravvivenza delle specie diatomiche tipiche del sedimento.

5 Parametri microbiologici delle acque di balneazione

In Campania la salvaguardia delle acque adibite alla balneazione, finalizzata alla tutela della salute umana, rappresenta una priorità sia per le politiche sanitarie e ambientali che per quelle di sviluppo economico, soprattutto per gli aspetti connessi al turismo.

La valutazione igienico-sanitaria delle acque adibite alla balneazione rappresenta un presupposto sostanziale per la gestione sostenibile della fascia costiera e criterio indispensabile per predisporre interventi mirati in grado di gestire, proteggere e valorizzare l'ambiente marino. Il programma di sorveglianza è regolamentato dal DPR n.470 dell'8 giugno 1982 attraverso l'analisi delle caratteristiche chimico-fisiche (Colorazione, Trasparenza, Ossigeno disciolto, pH, Oli minerali, Fenoli e Sostanze Tensioattive) e microbiologiche (Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali; in alcuni casi anche Salmonelle ed Enterovirus) delle acque costiere su punti prefissati al fine di verificarne l'idoneità alla balneazione. Il decreto stabilisce indagini con frequenza bimensile dal 1 aprile al 30 settembre, imponendo standards di qualità delle acque, dettando le modalità dei prelievi ed indicando le metodiche di analisi. La misura dell'indicatore "balneabilità", inteso come rapporto percentuale tra la lunghezza della costa dichiarata balneabile e quella controllata, fornisce, su base normativa, un'informazione utile per valutare la qualità igienico-sanitaria delle acque adibite alla balneazione. Un'ulteriore descrizione delle acque di balneazione si ottiene con l'Indice di Qualità Batteriologica (IQB) che è in diretta relazione con la presenza di fonti di inquinamento localizzate, soprattutto di origine antropica (scarichi civili o agricoli) e consente pertanto di valutare la pericolosità di un'eventuale contaminazione di origine fecale. L'IQB è quindi un indicatore indiretto dei livelli di deterioramento della qualità delle acque adibite alla balneazione e utilizza i dati microbiologici con una valenza ambientale.

I dati batteriologici dell'anno 2007, relativi alle quantità e alla rispondenza ai limiti normativi dei Coliformi fecali e degli Streptococchi fecali, sono stati utilizzati per la creazione dell'IQB secondo la metodologia impiegata dall'ARPA Toscana (Melley et al, 2004). In base alle frequenze di comparsa delle diverse concentrazioni, sono stati attribuiti dei punteggi per i due parametri considerando le situazioni che indicano una buona qualità delle acque (punteggi positivi) e quelle che mostrano un grado di contaminazione meno intensa (punteggi negativi). Una volta calcolata la percentuale di comparsa di ciascuno dei parametri, si sommano i punteggi ed il totale darà luogo alla classe di valutazione. Tali batteri non sono direttamente responsabili di patologie legate all'attività balneare, ma danno un'indicazione sulla presenza di eventuali patogeni, difficilmente rilevabili in un monitoraggio routinario per l'estrema variabilità temporale e spaziale della composizione batterica. Sia i Coliformi fecali che gli Streptococchi fecali provengono dall'apparato intestinale ma mentre i primi, più abbondanti nell'intestino umano, con minor resistenza nell'ambiente esterno ed una vita media in mare di qualche giorno, sono indicatori di un inquinamento di origine fecale recente, i secondi, invece, presenti nell'intestino animale, più resistenti e con una vita media in mare di parecchi giorni, indicano una contaminazione fecale di tipo agro-zootecnico non recente.

Lo stato di degrado che interessa il territorio *domitio* si rispecchia nella qualità delle acque costiere come dimostrato dai risultati dei dati di monitoraggio ambientale forniti dall'ARPAC relativi ad

analisi condotte sulle acque di balneazione, sui 46 punti di campionamento della Provincia di Caserta, nel triennio di campionamento aprile-settembre 2006-2007-2008.

L'indice di balneabilità, relativo ai dati dell'anno 2007, calcolato sui 44,888 km di costa, evidenzia che il 66% risulta non balneabile per motivi legati all'inquinamento, 1,8% non balneabile per motivi diversi dall'inquinamento e solo 32,2% delle acque risultano balneabili.

Il calcolo dell'IQB, relativo agli stessi dati, evidenzia una condizione di inquinamento organico delle acque di balneazione che, percentualmente, sono comprese nelle classi: 33% fortemente contaminate, 37% contaminate, 7% mediocri, 24% sufficienti, 0% incontaminate (Fig. 12).

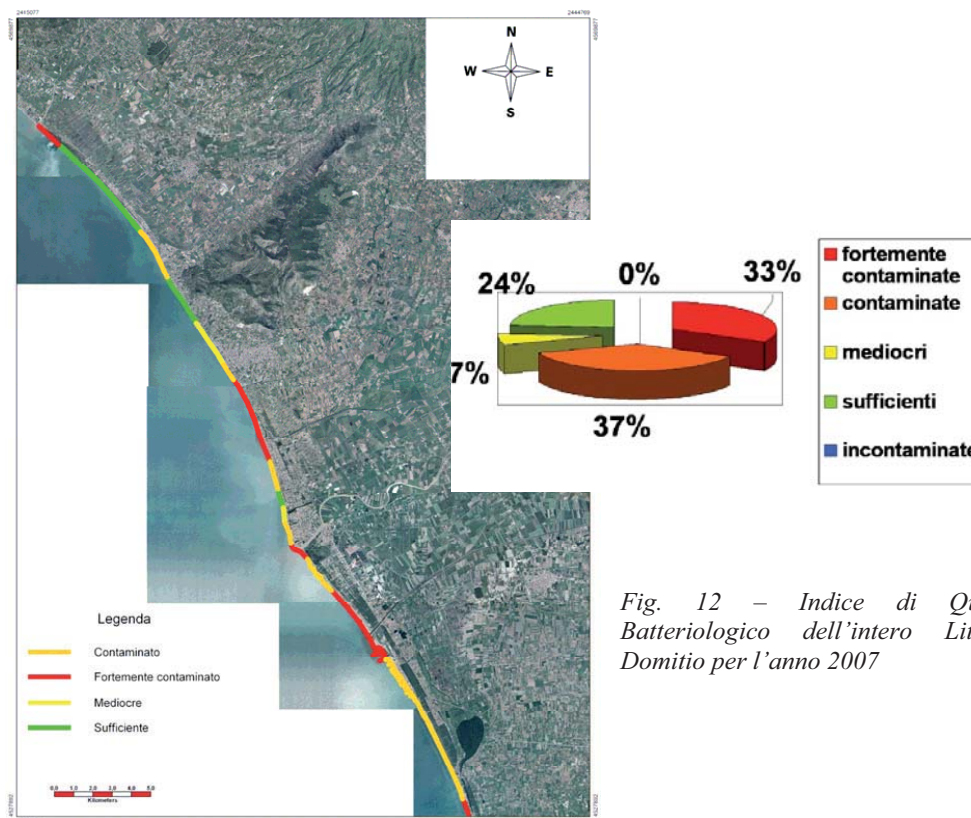


Fig. 12 – Indice di Qualità Batteriologico dell'intero Litorale Domitio per l'anno 2007

6. Conclusioni

Le informazioni acquisite nel presente studio offrono un quadro abbastanza chiaro, ancorché inquietante, dello stato "di salute" del tratto costiero *domitio*. L'integrazione dei dati in ambiente GIS ha permesso di avanzare ipotesi sulle possibili relazioni di causa-effetto tenendo conto anche dell'evoluzione subita dal territorio nell'ultimo secolo.

Le coltivazioni, legate innanzitutto all'allevamento bufalino (considerando la principale vocazione socio-economico del territorio), fertilizzate con metodi tradizionali, unitamente alla presenza di una falda idrica molto superficiale e ai numerosi canali di bonifica abbandonati che solcano l'area, oltre alla presenza di un intenso sviluppo urbano privo di rete fognaria, sono responsabili dell'inquinamento organico delle acque di balneazione. I risultati del monitoraggio delle caratteristiche fisico-chimiche, microbiologiche ed ecologiche evidenziano uno stato di inquinamento pronunciato sia delle acque di balneazione dell'intero litorale, sia dei sedimenti del tratto compreso dalla foce del fiume Volturno alla foce dei Regi Lagni. Le acque di balneazione sono interessate da un inquinamento per lo più organico, come dimostrato dall'IQB in cui

prevalgono le classi contaminate e fortemente contaminate. Tali dati sono confermati dai risultati delle analisi biologiche effettuate sulla matrice sedimentaria che evidenziano un'alterazione della comunità diatomica epipsammica costituita in prevalenza da specie eutrofiche.

La determinazione delle concentrazioni dei metalli pesanti (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn) presenti nei sedimenti e il calcolo degli EF indicano un arricchimento in Cd, Cr e V di probabile origine antropica. Il mal funzionamento del depuratore di Castelvoturno, che tra tutte le attività in esercizio sul fiume rilascia il maggior quantitativo di metalli pesanti, è probabilmente la maggiore responsabile della contaminazione dei sedimenti marini. L'elevato potenziale di impatto sulle acque costiere è dato dal suo posizionamento prossimo alla foce e quindi dalla scarsa possibilità di diluizione delle acque prima dell'arrivo a mare.

Di più ampia portata sono le vistose modificazioni morfologiche che hanno portato ad una perdita areale di arenile stimata in 34 ettari ca in 27 anni (dal 1972 al 1999), nonché alla sparizione di ampia parte del sistema dunare legata alla completa distruzione della cuspidale deltizia del Voltorno. Lo studio evidenzia la necessità di mettere in relazione dati, che solitamente vengono gestiti in maniera separata da più enti, quando si devono prendere decisioni sul governo del territorio. Molto spesso la parcellizzazione delle indagini può condurre a conclusioni fuorvianti ed indirizzare opere di intervento non efficaci. La gestione dei dati attraverso un sistema integrato garantisce, oltre ad una visione complessiva delle dinamiche che insistono sul territorio, anche un continuo processo di aggiornamento ed implementazione.

Bibliografia

- AA.VV. (1993), *CORINE Land Cover. Technical guide*. ECSC-EEC-EAEC, Brussels, Luxembourg.
- ANPA (2000), *I.F.F. Indice di Funzionalità Fluviale*. Roma.
- Bruno P.P., Di Fiore V., Ventura G. (2000), *Seismic study of the '41st Parallel' Fault System offshore the Campanian-Latinal continental margin, Italy*. Tectonophysics, 324, 37-55.
- Cinque A., Ascione A. & Caiazzo C. (2000), *Distribuzione spazio-temporale e caratterizzazione della fagliazione quaternaria in Appennino meridionale*. In: Galadini F., Meletti C. & Melez. A., *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*, CNR-GNDT Spec. Publ., Roma, 203-218.
- D'Ambra G., Petriccione M., Ruberti D., Strumia S., Vigliotti M. (2005), *Analisi multidisciplinare delle dinamiche dei caratteri fisici, antropici e vegetazionali nella Piana Campana* (CE), Atti della 9ª Conferenza Nazionale ASITA. Catania 15-18/11/05, vol.1, 843-851.
- De Vivo B., Belkin H.E., Barbieri M., Chelini W., Lattanzi P., Lima A., Tolomeo L. (1989), *The Campi Flegrei (Italy) Geothermal System: a fluid inclusion study of the mofete and san vito fields*. J. Volcanol. Geotherm. Res., vol. 36, 303-326.
- De Vivo B., Boni M., Marcello A., Di Bonito M., Russo A. (2001), *Environmental Geochemistry at global scale*. Appl.Geochem., vol.16, 1291-1308
- De Vivo B., Lima A., Albanese S., Cicchella D. (2003), *Atlante di Geochimica-Ambientale della Regione Campania*. De Frede (Ed.).
- Decreto del Presidente della Repubblica, 8 giugno 1982 n. 470, in attuazione della direttiva CEE n.76/160 dell'8/12/75 *Qualità delle acque di balneazione*.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 *Norme in materia ambientale*. Supplemento Gazzetta Ufficiale del 14 aprile 2006 n. 88.
- Decreto Ministeriale 6 novembre 2003, n. 367 *Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose*, ai sensi dell'articolo 3, comma 4, del D.Lgs 11 maggio 1999, n. 152 [Gazzetta Ufficiale 8 gennaio 2004, n. 5].
- EPA Method 3051 (1995), *Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*. ITTest Methods for evaluating Soil Waste, 3ª ed. Environmental protection Agency: Washington, DC.

- EPA Method 8275 (1996), *Semivolatile organic compounds (PAHs and PCBs) in soil/sludges and solid wastes using thermal extraxtion/gas chromatography mass spectrometry (TE/GC/MS)*, Rev.1.
- Ghetti P.F. (1997), *Manuale di applicazione dell'indice biotico esteso, I.B.E. I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*. Provincia autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente.
- Lehmann, J. R. Miller And H. P. Collins (1996), *Microbial degradation of dimethylsilanediol in soil*. Chemosphere.Vol.38, n.6, 1461-1468.
- Melley A., Bertolotto R., Gaino F., Intravaia F., Sirchia B., Migliore M.C., (2004), *Indicatori biologici per le acque marine costiere*. Melley A. (ed.), AIM_T_RAP_03_15, APAT - ARPAT, 2004.
- Provini A., Galassi S., Marchetti R. (1998), *Ecologia Applicata*. Città degli studi, Edizione Torino.
- Regione Emilia Romagna (2006), *Per la sicurezza del territorio 2005/2006*. Assessorato alla sicurezza territoriale Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile. Bologna.
- Round F.E. (1991), *Diatoms in river water-monitoring studies*. Journal of Applied Phycology 3Ê, 129-145.
- Ruberti D., Strumia S., Vigliotti M., D'Ambra G., D'Angelo C., Verde R., Palumbo L. (2008), *La gestione integrata della fascia costiera: un'applicazione al litorale Domitio, in provincia di Caserta*. Atti del Convegno Nazionale "Coste Prevenire, Programmare, Pianificare". Maratea 15-17/05/2008. Studi e ricerche della collana dell'Autorità di Bacino della Basilicata n. 9, 309-319.
- Ruberti D., Vigliotti M., Biccardi P., Catalanotti A.E., Grassi N. (2007), *Applicazione dell'indice di Funzionalità Fluviale ad un settore del Fiume Volturno (Campania)*, Atti dell'11ª Conferenza Nazionale ASITA. Torino 6-9/11/07, vol.2, 1895-1904.
- Sabourin C. L., Carpenter J. C., Leib T. K., And Spivack J. L. (1996), *Biodegradation of dimethylsilanediol in soils*. Applied and environmental microbiology, vol. 62, n.12, 4352-4360.
- SESIRCA Settore Sperimentazione Informazione Ricerca e Consulenza in Agricoltura della Regione Campania (2004), *Carta dell'Utilizzazione Agricola dei Suoli della Campania. Carta in scala 1/50.000*.
- Sprovieri M., Sammartino S., Salvagio Manta D., Marsella E., Ferraro L. (2006), *Heavy metals in top core sediments from the southern Campania shelf (Italy): Hints to define large-scale geochemical backgrounds*, Chemistry and Ecology, vol. 22, n. 1, 65-91.
- US Environmental Protection Agency (US EPA, 1993), *Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. EPAy600yRy089. Office of Research and Development, US EPA, Washington, DC.
- Wedepohl K.H. (1978), *Handbook of Geochemistry*, Springer, Berlin.

