

Minerali di origine industriale nei sedimenti del litorale di Taranto

Antonio De Marco ¹, Luca Antonio Di Muccio ², Giuseppe Mastronuzzi ³,
Michelina Mazzarella ⁴, Amalia Sergio ³

¹ Dipartimento Geomineralogico, Università degli Studi di Bari, Italia.
Email: a.demarco@geomin.uniba.it.

² Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal.

³ Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università degli Studi di Bari, Italia.

⁴ Collaboratore esterno Dipartimento Geomineralogico, Università degli Studi di Bari, Italia.

Riassunto

Lungo il litorale nord-orientale del Golfo di Taranto la linea di costa disegna due profonde baie, il Mar Grande e il Mar Piccolo. Nella seconda metà del XX sec. l'area costiera ha subito estese trasformazioni con la realizzazione di un polo siderurgico e di una raffineria in un'area in cui già dalla fine del XIX sec. era stato realizzato un grande arsenale militare. Sedimenti di spiaggia, materiali di origine industriale versati a mare per il colmamento di aree destinate a strutture portuali, e materiali depositatisi dopo trasporto aereo sono stati sottoposti ad analisi mineralogiche. La loro composizione è stata confrontata con quella dei litotipi delle falesie in rapido arretramento delle due baie. Le sabbie delle spiagge sono alimentate dai crolli delle falesie e da bioclasti, e sono arricchite di clasti psammitici di origine industriale, quali scorie, loppe, scaglie carboniose e metalliche. Particolarmente alta è la concentrazione di tali materiali nei due seni del Mar Piccolo e nelle aree prossime agli stabilimenti industriali. Nell'area urbana scaglie di materiale carbonioso e metallico, sferulette di magnetite e particelle di loppe rappresentano l'indiscutibile apporto di polvere proveniente dal centro siderurgico. Tali materiali sono probabilmente i principali veicolanti nell'ambiente dei metalli tossici presenti nelle acque costiere.

Parole chiave: dinamica costiera, sedimenti di spiaggia, inquinamento marino, Taranto, Italia.

Abstract

The mineralogical study of coastal sediments in Taranto area permits the assessment of its pollution as consequence of the growth of the industrial area in the last century. An hydrodynamic study was performed to identify the source of the heavy minerals recognized in the littoral sediments. They come from direct discharge in to the sea by industrial buildings or by merchant ships, or sent out from the chimneys of industrial area as dust. The results of this study are: the coast sands still show an aspect which is characteristic of the terrigenous supply sediments which once derived from the long shore currents direct from west to east; at present, this provenance is hindered by structural changes produced in the harbour area; all examined sands are full of industrial psammitic clasts as well, such as scoriae, chaffs and carbonaceous and metallic shards; the pollution level from carbonaceous and metallic shards, magnetite spherules and chaffs particles is particularly high in Mar Piccolo and in the urbanized area of Tamburi district, which is very close to the ironworks areas and Military Arsenal. These industrial pollutants are probably the main cause of the pollution due to metals in littoral waters.

Key words: coastal dynamic, marine sediments, marine pollution, Taranto, Italy.

Introduzione

Negli ultimi cento anni la zona costiera di Taranto ha subito profonde modificazioni del suo assetto naturale con l'incremento demografico connesso alla crescente industrializzazione dell'area. La realizzazione alla fine del XIX secolo di un arsenale militare e, nella seconda metà del XX secolo, di uno stabilimento siderurgico, di una raffineria e di altre realtà industriali minori, hanno contribuito a far definire ad elevato rischio ambientale buona parte della provincia ionica (Ministero dell'Ambiente, 1992). Oltre all'ovvio impatto visivo, gli insediamenti industriali rappresentano fonte di inquinamento per tutto l'ambiente, con gravi ripercussioni nella qualità di vita della popolazione. Lo studio della contaminazione da metalli tossici, anche in aree destinate alla mitilicoltura, ha inoltre rivelato preoccupanti anomalie nei livelli di concentrazione di mercurio e stagno nei sedimenti marini con concentrazioni di questo ultimo sino a 1,53 mg/Kg di peso umido (pe.: Cardellicchio et al., 1989; Cardellicchio et al., 2004; Calacela et al., 2005). Nei mitili coltivati nella stessa area i livelli di concentrazione di stagno sono superiori a quelli dei sedimenti, confermandone la contaminazione da composti metallici potenzialmente dannosi (Cardellicchio et al., 1989a; 2004; Paterno et al., 1991). Diffusa è inoltre la presenza di idrocarburi policiclici aromatico legati alle attività navali e di raffineria (Cardellicchio et al., 1989 b; 1991; Lerario et al., 2003). Le analisi chimiche che periodicamente sono eseguite sulle acque costiere dell'area, se da un lato vi confermano la presenza di concentrazioni notevoli di metalli pesanti, dall'altro non forniscono alcuna indicazione sui possibili materiali veicolanti tali elementi chimici. Il presente lavoro ha l'obiettivo di individuare attraverso lo studio geoambientale dell'area e l'analisi mineralogica dei sedimenti di spiaggia, dei riporti antropici e delle polveri provenienti dai centri industriali, i materiali probabili veicolo di trasporto degli elementi chimici contaminanti le acque.

L'ambiente costiero

L'area di Taranto (Fig. 1) è caratterizzata da un substrato mesozoico di natura calcareo-dolomitica strutturalmente disposto a gradinata digradante verso mare (Pagliarulo e Bruno, 1990); su di esso sono in contatto trasgressivo calcareniti ed, eteropiche ad esse, argille plio-pleistoceniche. Le unità carbonatiche ospitano una consistente falda carsica di acqua dolce in pressione. Unità trasgressive biocalcarenitiche dei terrazzi marini del Pleistocene superiore chiudono la successione locale (pe. Belluomini et al., 2002). Depositi più recenti, olocenici, costituiscono verso Ovest la piana costiera metapontina.

I loro caratteri sedimentologici e litologici mostrano una prevalente origine appenninica della componente terrigena e indicano paleocorrenti cui imputare una deriva diretta da Ovest verso Est che trovano conferma nell'attuale regime costiero (Parea et al., 1980; Amore et al., 1988; AA.VV., 1995). Le condizioni locali di

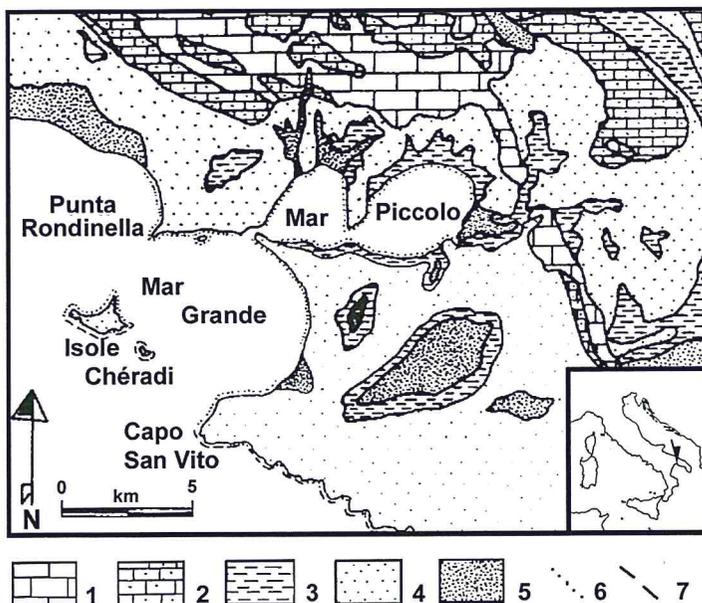


Figura 1 - Ubicazione geografica e carta geologica schematica: 1) Calcare di Altamura (Cretaceo sup.); 2) Calcarenite di Gravina (Pliocene medio-Pleistocene inf.); 3) Argille Subappennine (Pliocene sup. - Pleistocene inf.); 4) Depositi tipo *panchina* dei Terrazzi Marini (Pleistocene medio-Pleistocene sup.); 5) Depositi alluvionali e di spiaggia (Pleistocene sup. - Olocene); 6) falesie con spiaggia al piede; 7) coste rocciose digradanti piane (da Mastronuzzi e Sansò, 1998, modif.).

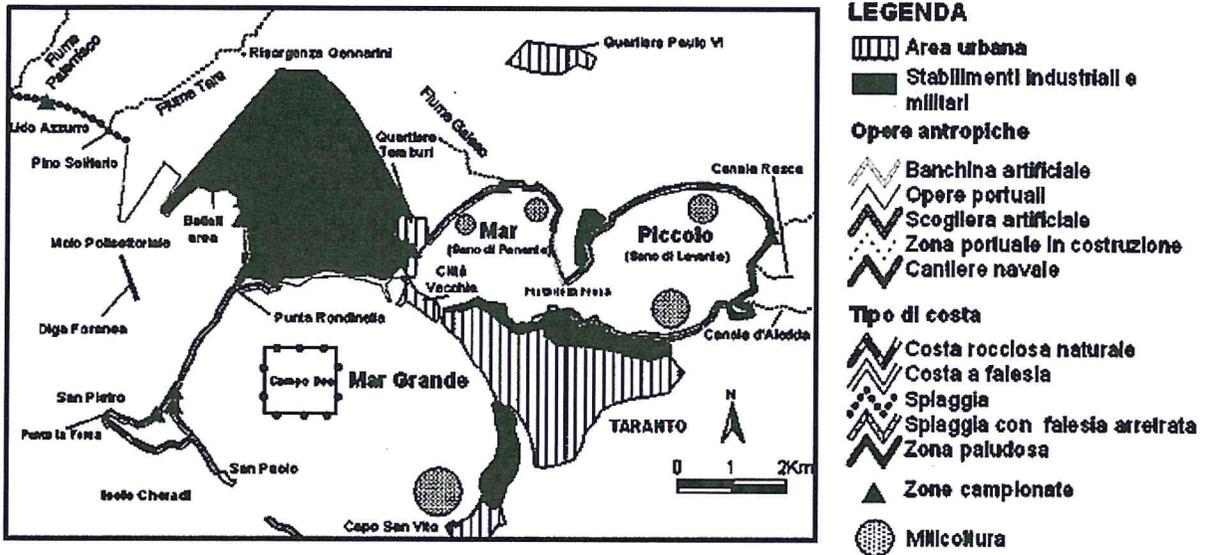


Figura 2 - Caratteristiche morfologiche della costa e distribuzione delle aree industriali.

forte permeabilità dei terreni e quelle climatiche caratterizzate da scarse precipitazioni e forte evapotraspirazione (Zito et al., 1988) negano al reticolo idrografico rilevanti portate, e i corsi d'acqua locali hanno carattere di risorgiva (Fiume Tara, Fiume Galeso e - in parte - il Canale D'Aiedda).

La costa di Taranto, frastagliata dalle profonde insenature del Mar Grande e del Mar Piccolo, è caratterizzata dall'alternanza di più morfotipi costieri (Figg. 1 e 2) (Mastronuzzi e Sansò, 1998; Mastronuzzi, 2001): ad Ovest di Punta Rondinella la costa è bassa e sabbiosa; da Punta Rondinella, tutto intorno alle Isole Chèradi e al perimetro del Mar Piccolo e nel Mar Grande, si osservano falesie modellate su argille ricoperte da spessori variabili di calcareniti dei terrazzi marini; al piede delle falesie sono spiagge stagionali poco estese ed alimentate dai materiali provenienti dal disfacimento delle falesie stesse e da consistenti contributi bioclastici delle biocenosi presenti (Caldara et al., 1998; Costantino et al., 1999); da Capo San Vito verso Sud la costa rocciosa digradante è segnata dai depositi ben cementati e bioclastici dei terrazzi marini posti a carapace sulle sottostanti argille; nelle insenature, corrispondenti a incisioni torrentizie relitte, si osservano piccole falesie in rapida evoluzione e spiagge alimentate dalle biocenosi sub-litorali e dalle falesie stesse. Due poco estesi sistemi deltizi sono nelle aree più orientali del Mar Piccolo - delta del Canale D'Aiedda - e del Mar Grande.

Antropizzazione e industrializzazione

Prima che, con l'Unità d'Italia, il Mar Grande e il Mar Piccolo fossero scelti per la costruzione di quella che diverrà la principale base navale della Marina Militare Italiana, i pochi abitanti della città erano concentrati nell'Isola della Città Vecchia (Fig. 2) in condizioni igienico-sanitarie considerate precarie (De Salis Marcschlins, 1789). Alla fine del XIX sec., la costruzione della base navale nel Mar Piccolo con l'apertura del Canale Navigabile e la costruzione della barriera foranea che limita il Mar Grande, segnano la prima fase di urbanizzazione e di condizionamento della dinamica costiera (Fig. 2). Il vero *boom* demografico si ha alla fine degli anni '50 del XX secolo con la costruzione di un imponente impianto siderurgico a ridosso delle aree residenziali, di una raffineria di petrolio, di un cementificio e di industrie minori e con l'espansione del porto. Negli stessi anni vengono costruiti nuovi comprensori residenziali senza soluzione di continuità rispetto alla zona industriale in realizzazione. Negli anni '80 si completa il raddoppio dell'area industriale e si dà avvio alla costruzione di una nuova area portuale oltre Punta Rondinella, fuori dal Mar Grande. Oggi, con una popolazione di circa 220 mila abitanti, parte degli scarichi urbani è riversata direttamente in mare, quasi come nel '700, quando la popolazione era fra i 12 mila e i 18 mila abitanti.

Nel tempo gli interventi antropici hanno interessato tutta la costa del Mar Grande con la costruzione dell'area portuale - mercantile e militare - e l'estensione dell'area residenziale tanto che il litorale che vi si affaccia non presenta più caratteri naturali. La fascia costiera del Mar Piccolo è quasi completamente urbanizzata nel Seno di Ponente - dove, fermi ormai i Cantieri Navali Tosi, insistono le attività dell'Arsenale Militare

-, mentre quella del Seno di Levante è ancora abbastanza naturale. Il Mar Piccolo comunica con il Mar Grande attraverso due stretti canali: il Canale di Porta Napoli, naturale, e il Canale Navigabile, artificiale. A causa dell'interrimento antropico del Canale di Porta Napoli, non più profondo di 3 m, si ha ricambio d'acqua significativo solo attraverso il Canale Navigabile; esso, quindi, è assicurato dal Fiume Galeso e dalle polle sorgive sottomarine (Cotecchia et al., 1989).

Nell'area industriale depositi di composti di Fe_2O_3 , $MgSiO_4$, $CoAl$, e Coke per la produzione di acciaio occupano circa 600 ha; essi sono stoccati, allo stato semitriturato, all'aperto in cumuli ad alta pendenza separati dall'area residenziale da "collinette ecologiche", alimentati da nastri trasportatori spesso a cielo aperto, esposti al vento. Nell'area urbana più prossima alle aree di stoccaggio sono stati registrati sino a 300/600 $mg/m^2/giorno$ di deposizione a fronte del limite di sicurezza valutato in $4g/m^2/mese$. I reflui dell'industria siderurgica contengono classi di inquinanti come fenoli, idrocarburi policiclici aromatici e metalli (Fe, Ni, Cd, Hg, As, Mn, Pb, V) potenzialmente tossici per gli ecosistemi litoranei (Cardellicchio, 1992). Per i circuiti di raffreddamento il centro siderurgico preleva circa 17×10^4 mc^3/h di acqua nel Seno di Ponente modificando l'originaria idrodinamica del bacino già condizionata dalla realizzazione del Canale Navigabile; nell'area portuale ad Ovest di Punta Rondinella da esso sono rilasciati circa 15×10^4 m^3/h di acqua. Lo stabilimento produce, in media, 170.000 t/anno di rifiuti solidi, in parte tossici e nocivi; essi sono riutilizzati da cementifici o avviati in discariche, interne o esterne allo stabilimento, anche a cielo aperto esposte a processi meteorici che dilavano e disperdono il materiale stoccato. Residui di produzione sono stati utilizzati per la colmata del tratto di mare ad Ovest di Punta Rondinella dove sorge il nuovo complesso portuale.

Il traffico marittimo interessa soprattutto il Mar Grande, essendo il Mar Piccolo limitato al traffico della flotta peschereccia e delle unità militari. Il movimento merci riguarda per il 48% minerali metallici destinati all'area siderurgica, per il 27% petrolio e suoi derivati, per il 24% combustibili solidi e per l'1% bitume. La continua presenza di navi nel Mar Grande (Fig. 2), ha come effetto anche il rilascio dagli scafi di componenti di vernici nonché lo sversamento accidentale di materiali e carburanti trasportati (Cardellicchio et al., 1991).

I caratteri meteomarini

I dati anemologici delle stazioni meteorologiche di San Vito Pugliese (TA) e di Ginosa Marina (TA) indicano quali venti dominanti e regnanti quelli del II e del IV quadrante (Fig. 3). In qualsiasi condizione di regime anemologico, il moto ondoso sviluppato contribuisce ad una deriva lungo la costa, ad Ovest della città, diretta verso NE e quindi verso E-SE fino a Punta Rondinella dove appare bloccata dalle opere portuali di nuova costruzione (anni '80-'90 del XX sec.). Nonostante piccole fluttuazioni stagionali nella direzione di propagazione della

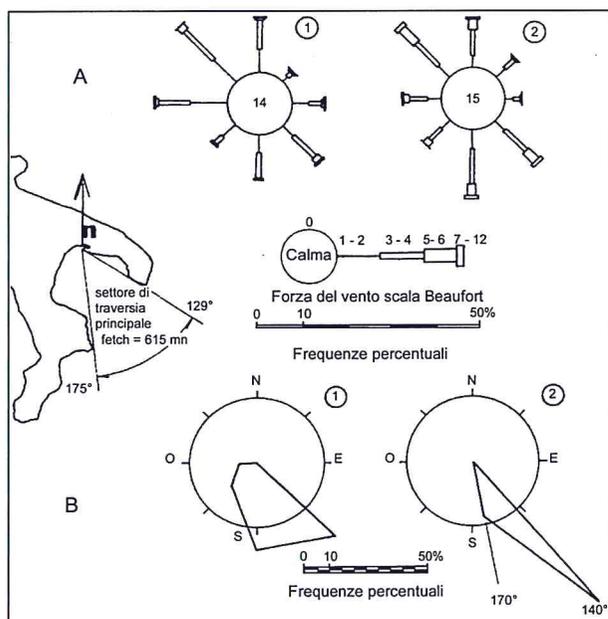


Figura 3 - Caratteristiche meteomarine del paraggio di Taranto: A) frequenze medie annuali percentuali del vento; B) direzione di provenienza delle mareggiate più intense ① Stazione di Capo San Vito; ② Stazione di Ginosa Marina. (da: Mastronuzzi e Sansò, 1998).

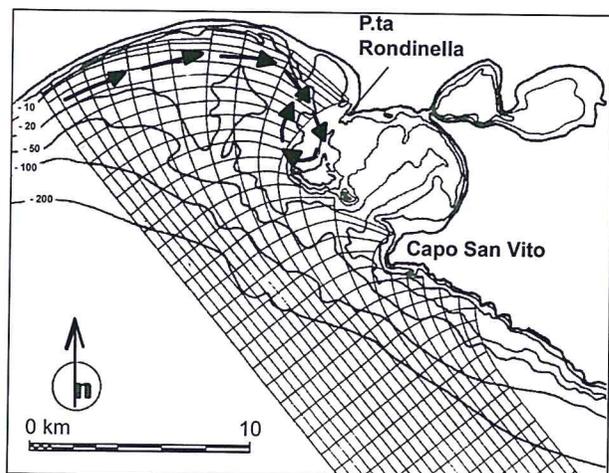


Figura 4 - Studio della rifrazione del moto ondoso con direzione N140°E e periodo 13.55 secondi e, in grassetto, direzione della deriva prevalente lungo costa (da: Pensaresi e Longo, 1989 - modificata).

corrente (trascurabile rispetto ai valori assoluti di velocità), può affermarsi la sua continuità lungo tutto il litorale settentrionale del Golfo di Taranto, con minimi intorno ai 10 km/d e massimi di 130 km/d durante le mareggiate. Questi valori si sommano alla normale corrente di deriva litoranea prodotta dalla circolazione ionica; essa risulta abbastanza veloce da agosto a marzo, in quanto in accordo con il movimento anticiclonico regnante (v_{max} tra novembre e dicembre, pari a 35 km/d), mentre risulta notevolmente ridotta da aprile a luglio, perché contrastata dalla circolazione ciclonica che si stabilisce in questi mesi nell'Alto Ionio e dalla penetrazione di acque adriatiche, che ne ostacolano il movimento verso SE (ossia verso le Isole Chéradi e il Mar Grande). Il movimento orario di deriva si spegne nel tratto di mare tra Lido Azzurro e Punta Rondinella. I venti occidentali possono imporre alle correnti di deriva, sempre dirette in senso orario, di superare le strutture portuali del molo polisettoriale; queste dopo aver costeggiato la diga foranea, instaurano un circuito di ordine inferiore a Nord dell'Isola di San Pietro. Infatti, alla forte opposizione della deriva da parte degli stessi venti di Ponente e di Libeccio si somma l'effetto dello Scirocco che proprio in questa zona risulta deviato per rifrazione verso Est.

Il ramo discendente della corrente, diretto verso SO viene dunque bloccato e respinto verso il Molo Polisettoriale e Punta Rondinella a causa della netta dominanza dei moti ondosi SSO e SSE su quelli orientali (Fig. 4).

Nel Mar Grande, a causa del ridotto *fetch* è trascurabile l'effetto dei venti che direttamente vi insistono; la circolazione è influenzata dai treni d'onda provenienti dal II quadrante che a causa di un marcato fenomeno di diffrazione fra Capo San Vito e l'Isola di San Paolo, si dispongono concentrici accumulando sedimenti nelle aree sottoflutto (Mastronuzzi e Sansò, 1998).

Lo studio della deriva litoranea nel Mar Piccolo non è stato eseguito sulla base delle analisi dei piani d'onda; infatti i venti del IV quadrante, seppure con caratteri anemometrici importanti, inducono moto ondoso con ruolo idrodinamico ridotto, in quanto hanno carattere instabile per *fetch* limitante (< 2 mn), per cui le onde raggiungono nel Mar Piccolo altezze di 1 metro (minimo significativo per la produzione di una corrente lungo riva) solo per venti superiori a 8 gradi Beaufort, ossia solo in casi eccezionali. Nel Mar Piccolo la circolazione idrica, condizionata essenzialmente dalle maree e da correnti di compensazione, ha poca capacità di trasporto e il materiale, non in grado di galleggiare, tende a concentrarsi nelle aree di provenienza.

Analisi mineralogiche

Il prelievo dei materiali da analizzare ha interessato sedimenti delle spiagge attuali, pulviscolo e materiali di riporto del vicino centro siderurgico (Fig. 2). Il campionamento dei sedimenti di spiaggia è stato effettuato in tratti di litorale differenti utilizzando un carotiere a mano con cui poter fissare lo spessore del campione al fine di prelevare il deposito più recente. Il materiale di riporto è stato prelevato nelle aree di interramento del Molo polisettoriale. Il pulviscolo industriale è stato prelevato dalle strade del quartiere Tamburi in estate, in area immediatamente prossima allo stabilimento siderurgico e nel centro cittadino (Tabb. 1, 2). Con tali accorgimenti si suppone minima nel campione l'aliquota dovuta al riscaldamento domestico e al traffico veicolare. Per confronto, e a costituire il bianco per i depositi di spiaggia, sono stati campionati i litotipi esposti sulle falesie in erosione presso Punta Rondinella e sull'Isola di San Pietro.

Tabella 1 - Granulometria delle sabbie di battigia esaminate (% in peso).

Tratti di litorale	Classi di diametro (ϕ)						Parametri Folk e Ward (1957) (ϕ)			
	<0	0-1	1-2	2-3	3-4	>4	Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis
Lido Azzurro	0,6	10,1	35,2	47,5	6,2	0,4	2,01	0,76	-0,14	1
Area Belleli	1,2	2,8	44,3	49,4	1,6	0,7	1,99	0,54	-0,11	1,04
Punta Rondinella	4,8	18,7	21,9	52,8	1,7	0,1	1,75	0,87	-0,48	0,9
Isola San Pietro	0,3	2,1	28,9	60,8	5,3	2,6	2,24	0,63	-0,02	1,28
Fiume Galeso	4,1	6,4	19,3	26,3	12,5	31,4	---	---	---	---
Canale D'Aiedda	---	2,5	4,9	10,3	3,5	78,8	---	---	---	---

I materiali incoerenti sono stati sottoposti a suddivisione granulometrica (Tab. 1), a separazione dei minerali magnetici, a riconoscimento per via ottica e diffrattometrica ed a stima semi-quantitativa. I campioni coerenti, sia naturali che industriali, sono stati esaminati in sezione sottile e sottoposti ad indagini diffrattometriche. L'esame dei minerali magnetici dei materiali incoerenti è stato eseguito su tutte le frazioni granulometriche, e in maniera più accurata sulla frazione 125-63 μ m. Su quest'ultima la separazione delle frazioni magnetiche è stata eseguita mediante l'elettromagnete isodinamico Frantz (condizioni di lavoro: I=1 Ampère; inclinazione della doccia in avanti di 20° e lateralmente di 15°). Le indagini microscopiche sono state eseguite al microscopio binoculare per i campioni incoerenti, e a quello polarizzatore su sezioni sottili per quelli coerenti; le riprese diffrattometriche su polveri sono state eseguite con un diffrattometro Philips PW 1710.

Tabella 2 - Aree di campionamento e risultati delle analisi con indicazione della frazione magnetica dei materiali analizzati, e loro stima semi-quantitativa.

Tratto di litorale	Punti di prelievo	Litologia	Frazione Magnetica (%)	Rv	Mag	Cpx	Amph	Gr	Ilm	Tur	Mi	Glau	Tit	Sc
Lido Azzurro	battigia	sabbie fini	7,1	A	R	R	d	d	d	-	-	-	-	d
Area Belleli	battigia	sabbie medie	7,2	I	I	I	-	-	-	-	-	-	-	C
"	materiale di riporto	detriti scuri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T
"	materiale di riporto	detriti chiari	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T
Punta Rondinella	battigia	sabbie medie	2,7	F	I	H	I	I	R	d	d	-	-	I
"	falesia	calcarenite tenera	0,8	-	B	I	D	d	-	-	I	-	-	-
"	falesia	conglom.	1,2	D	H	I	-	-	-	I	-	-	-	-
"	falesia	sabbie fini	1,4	D	I	I	I	I	-	-	-	-	-	-
"	falesia	suolo	0,2	C	H	I	-	-	-	-	-	-	-	-
Isola San Pietro	falesia	suolo	2,4	H	S	H	-	I	-	-	-	-	-	-
"	falesia	calcarenite tenera	0,7	I	G	G	I	I	-	-	I	-	-	-
"	battigia	sabbie fini	4,7	I	H	G	I	H	-	-	-	-	-	I
"	falesia	sabbie limose	0,2	-	C	H	R	R	-	-	d	-	-	-
Fiume Galeso	battigia	sabbie molto fini	3,2	-	R	R	R	-	-	-	-	-	-	B
Canale D'Aiedda	battigia	sabbie limose	1,9	R	d	R	-	-	-	-	d	-	-	B
Quartiere Tamburi	cimitero	pulviscolo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	G

Rv=Rocce verdi; Mag=Magnetiti; Cpx=Pirosseni; Amph=Anfiboli; Gr=Granati; Tur=Tormaline; Ilm=Ilmeniti; Mi=Miche; Glau=Glaucioni; Tit=Titaniti; Sc=Loppe e Scorie; T = >95%; A = 95-85%; B = 85-75%; C = 75-65%; D = 65-55%; E = 55-45%; F = 45-35%; G = 35-25%; H = 25-15%; I = 15-5%; R = 5-1%; d = <1%; - = assente o irrilevante.



Foto 1 - Falesia nei materiali di riporto in Zona Belleli.



Foto 2 - Area di campionamento presso la Palude La Vela nel secondo seno dal Mar Piccolo.

I minerali dei materiali di riporto

Il materiale di riporto studiato è di due tipi differenziabili a scala macroscopica in funzione del colore. L'osservazione del materiale chiaro (Foto 3a) indica che esso è costituito da granuli di colore bianco lattiginoso, ricoperti per la maggior parte da uno strato di colore bianco opaco, resinoso e con

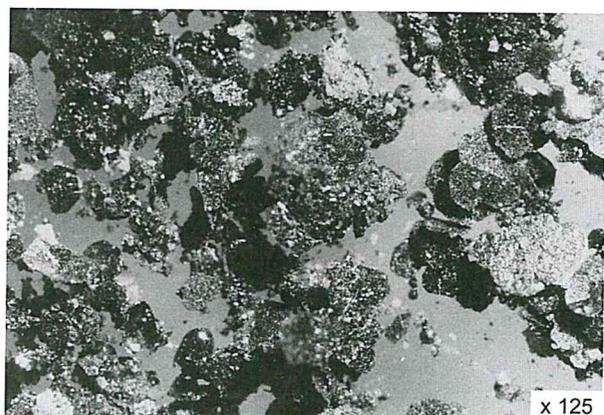


Foto 3 - Materiale di riporto campionato ad ovest di Punta Rondinella in Zona Belleli. Da sx a dx, dall'alto in basso: a - microfotografia del materiale di riporto chiaro della Zona Belleli costituito da loppe e scaglie resinose di chiara origine industriale, quarzo e feldspati; b - particolare delle loppe del materiale di riporto chiaro della Zona Belleli; c - microfotografia del materiale di riporto scuro della Zona Belleli i cui costituenti maggiori sono delle scaglie di ossidi e/o idrossidi di chiara origine industriale; d - microfotografia di una sezione sottile del materiale di riporto scuro della Zona Belleli (a nicol incrociati) in cui è ben evidente l'habitus aciculare dei cristalli.

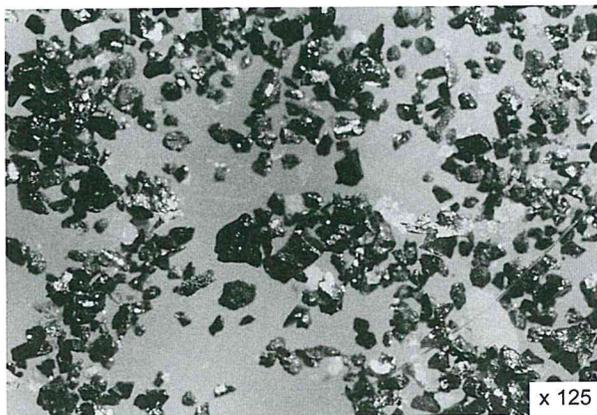


Foto 4 - Microfotografia della frazione magnetica delle polveri industriali con feldspati, ossidi e/o idrossidi di ferro, quarzo e calcite.



Foto 5 - Microfotografia della frazione magnetica del suolo della falesia di San Pietro con frammenti di rocce verdi, magnetite, pirosseni, anfiboli, granati e biotite; in piccolissime quantità si osserva olivina alterata in serpentino.

inclusioni grigie e rosse. I componenti del materiale chiaro hanno forma irregolare, con qualche granulo perfettamente sferico. Vi si trovano anche granuli e aggregati di colore grigio, di aspetto resinoso e di elevata suscettività magnetica (Foto 3b). L'analisi diffrattometrica ha rivelato che questo materiale è formato da un miscuglio di: calcite, quarzo, feldspati (microclino) e fillosilicati del gruppo del serpentino (Fig. 5A).

Il materiale scuro (Foto 3c) è costituito prevalentemente da aggregati di colore grigio, dall'aspetto resinoso e dalla superficie ricoperta di granulazioni di colore bianco opaco o da una patina di colore rosso-bruno; hanno per lo più elevata suscettività magnetica. Oltre agli aggregati sono presenti anche granuli di colore bianco vitreo, con abito irregolare o globulare e con inclusioni di colore rosso-bruno o grigio. In sezione sottile il materiale di riporto scuro (Foto 3d) risulta costituito da un insieme di cristalli aciculari, informi e sub-arrotondati. I cristalli aciculari presentano, a nicols incrociati, colori di rifrangenza bassi (bianco grigio-verde), mentre quelli irregolari e sub arrotondati presentano colori di rifrangenza alti (giallo-celeste-rosa-rosso). L'analisi diffrattometrica indica un miscuglio di calcite, quarzo, minerali del gruppo del serpentino, huntite [$Mg_3Ca(CO_3)_4$], rodocrosite ($MnCO_3$), siderite, maghemite, magnetite, northupite [$Na_3Mg(CO_3)_2Cl$] e wustite (FeO) (Fig. 5B).

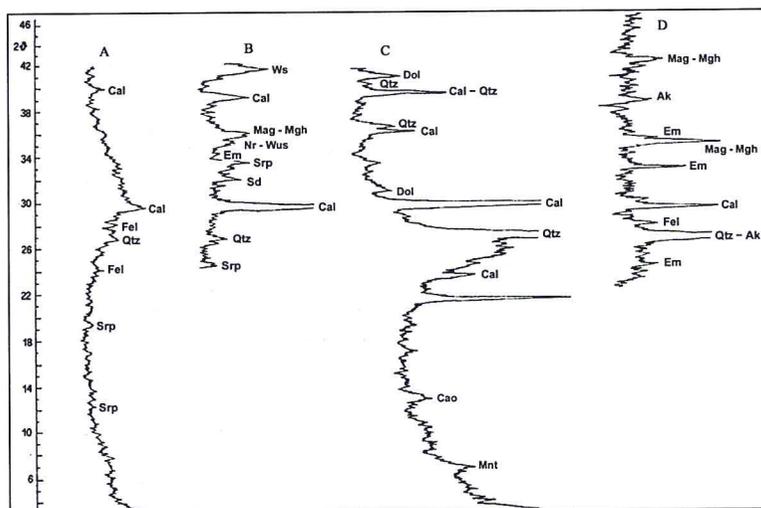


Figura 5 - Spettri DRX dei materiali di riporto dell'Area Belleli e delle polveri industriali del Quartiere Tamburi: A - materiale chiaro; B - materiale scuro; C - frazione non magnetica del pulviscolo; D - frazione magnetica del pulviscolo.

I minerali delle polveri industriali

Per quanto riguarda il campione di polveri, l'osservazione al microscopio binoculare (Foto 4) ha evidenziato che la frazione magnetica è costituita prevalentemente da magnetite di aspetto vario (sferule, scaglie e granuli irregolari). Le sferule sono cave, con aspetto bolloso, e riempite da altri granuli più piccoli e dello stesso tipo; le scaglie sono per lo più frammenti di magnetite pseudomorfa su ematite (legata a processi di riduzione dell'ematite in magnetite); i granuli irregolari sono costituiti da feldspati compenetrati a magnetite. La frazione non magnetica è costituita soprattutto da scaglie appiattite di colore grigio lucente o grigio resinoso, tappezzate da granulazioni di colore rossastro o lattescente (tipo loppe), il più delle volte riunite a forma di aggregati tondeggianti. Infine si trovano anche lamelle intrecciate, sempre di colore grigio, con superfici resinose. Dall'analisi diffrattometrica risulta che la parte magnetica della polvere è un miscuglio di ossidi e idrossidi di ferro mal cristallizzati (magnetite, ematite, maghemite, ecc.), con quarzo, feldspati e calcite (Fig. 5D); la parte non magnetica è un miscuglio di quarzo, calcite, dolomite, feldspati alcalini, grafite, maghemite e minerali argillosi del tipo caolinite e montmorillonite (Fig. 5C).

Il materiale magnetico delle sabbie di spiaggia

La frazione magnetica delle sabbie di battigia, campionate nei vari tratti considerati, è costituita da granuli di rocce verdi e di minerali pesanti, ma arricchita, talora in tenori notevoli, anche di materiali di origine industriale, riferibili a scorie, loppe e scaglie carboniose.

I rapporti di abbondanza tra i vari componenti sono molto variabili da luogo a luogo; i frammenti di rocce verdi sono presenti in percentuali che vanno da meno dell'1% nel Seno di Levante del Mar Piccolo ad un massimo dell'85% nella zona occidentale dello stesso; i minerali pesanti sono particolarmente abbondanti a Punta Rondinella (Foto 6a) e all'Isola di San Pietro (Foto 6b) e appena in tracce nel Mar Piccolo. I materiali di origine industriale sono diffusi in tutta l'area esaminata, compresa l'Isola di San Pietro e i due seni del Mar Piccolo (Foto 7a, b).

Le tipologie dei minerali pesanti sono ovunque le stesse (Tab. 2) e riferibili, in ordine di abbondanza a: pirosseni, vitrei, con abito prismatico o informe, di colore verde/verde-chiaro, il più delle volte alterati e con inclusioni di magnetite; magnetite, rappresentata da più granulazioni inserite nei pirosseni e nelle rocce scistose, e da pochi granuli isolati, per lo più arrotondati o con abito cubo-ottaedrico, dalla tipica lucentezza metallica; anfibioli bruni e blu, tabulari e fratturati; granati in granuli vitrei, rosati e bruni; tracce di ilmenite, rappresentata da frammenti tabulari e lucentezza metallica; tormalina, presente in prismi perfetti, pleocroica, con riflessi rossicci; tracce di biotite in lamine brune e alterate. I materiali industriali sono rappresentati da: loppe, in granuli globulari bianchi o lattiginosi, con inclusioni brune; residui carboniosi, in scaglie appiattite di colore grigio e dall'aspetto resinoso; scorie, in masse informi e rugose.

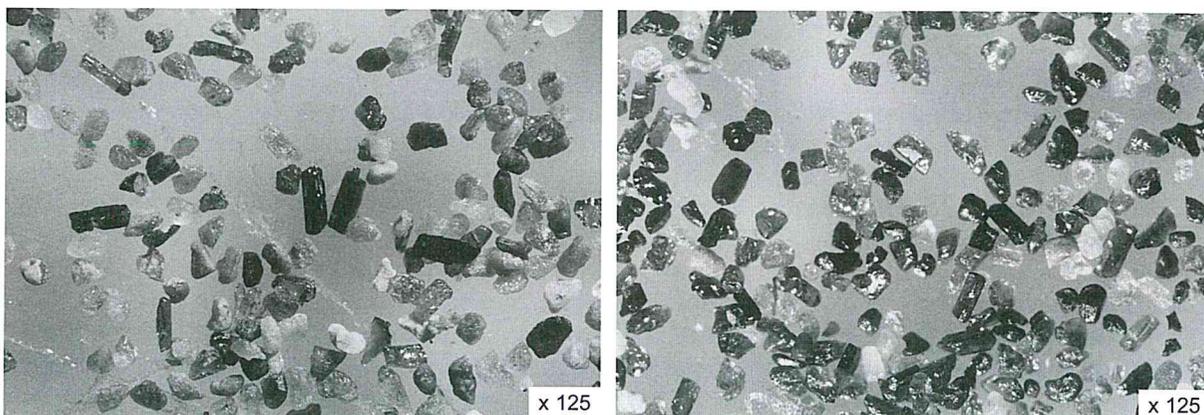


Foto 6 - Sabbie di battigia campionate nella baia a nord delle Isole Chéradi: a - microfotografia della frazione magnetica delle sabbie di battigia di Punta Rondinella con frammenti di rocce verdi, pirosseni, magnetite, anfibioli, granati, ilmenite, tormalina, biotite e scorie, loppe, materiale carbonioso di chiara origine industriale; b - microfotografia della frazione magnetica delle sabbie di battigia di San Pietro con frammenti di rocce verdi, pirosseni, magnetite, anfibioli, granati, ilmenite, tormalina, biotite e scorie, loppe, materiale carbonioso di chiara origine industriale.

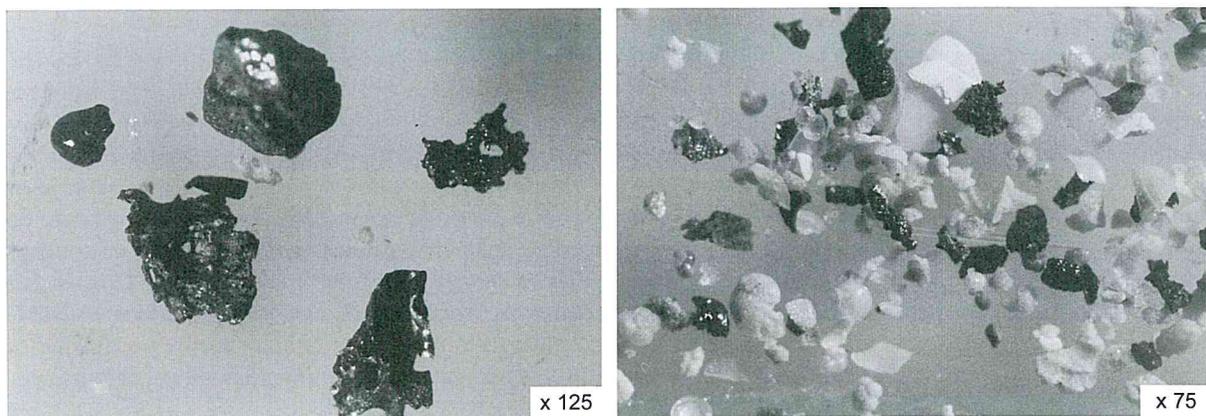


Foto 7 - Sabbie di battigia campionate nel Mar Piccolo: a- microfotografia della frazione magnetica delle sabbie di battigia presso il Fiume Galeso con scorie e loppe industriali frammiste a magnetite e biotite; b - microfotografia della frazione magnetica delle scorie industriali, con magnetite, nelle sabbie di battigia presso il Canale D'Aiedda.

I minerali magnetici delle falesie

I depositi sabbiosi campionati sul fronte della falesia di Punta Rondinella hanno un tenore di frazione magnetica non superiore all'1%, che scompare quasi del tutto verso l'alto della successione stratigrafica. Nello strato calcarenitico tenero di base, essa è costituita prevalentemente da magnetite e in subordine da biotite e pirosseni verdi; nello strato di conglomerato essa è costituita in prevalenza da frammenti di rocce verdi, da magnetite in granuli scheggiati, da pirosseni di colore verde chiaro e verde scuro con abito prismatico perfetto o scheggiato e da tormalina arrotondata. Nello strato di sabbia fina la frazione magnetica, rispetto a quella dello strato conglomeratico, è arricchita di anfiboli e di granati, ma manca la tormalina. I granati sono vitrei e di colore rosa chiaro (piralspiti), mentre gli anfiboli sono tabulari, resinosi e di colore bruno. Nello strato di suolo la frazione magnetica è costituita prevalentemente da frammenti di rocce verdi e in subordine da magnetite e da pirosseni.

Lungo la falesia di San Pietro i diversi litotipi affioranti sono meno ricchi di frazione magnetica rispetto a quelli di Punta Rondinella, ma il suolo al contrario ne risulta arricchito (Foto 5). I materiali magnetici sono rappresentati prevalentemente da magnetite, a lucentezza metallica e con abito cubico o cubo-ottaedrico, da frammenti di rocce verdi, da pirosseni prismatici, interi o fratturati di colore verde chiaro e verde scuro, da anfiboli tabulari bruni e con superficie resinosa, da granati bruni di tipo ugranditico, rosati di tipo piralspítico e da biotite lamellare e alterata. In tracce è presente anche olivina di colore variegato, con abito spesso prismatico e a superficie resinosa, alterata in serpentino.

Discussione

Le sabbie di battigia campionate all'esterno del Mar Grande hanno composizione essenzialmente terrigena legata agli apporti dei fiumi della vicina Basilicata, ridistribuiti da una corrente di deriva diretta da SO a NE; secondaria è la componente bioclastica (Dell'Anna e De Marco, 1977; Caldara et al., 1998). Le sabbie della battigia del Mar Grande e del Mar Piccolo sono invece costituite da materiali provenienti dalla demolizione delle falesie e da materiali bioclastici.

Le sabbie dell'area a Nord dell'Isola di San Pietro contengono pirosseni che hanno ruolo importante nella definizione degli apporti, sia per quanto riguarda la loro abbondanza che per i caratteri morfoscopici. Prevalgono i cristalli di colore verde oliva, in prismi perfetti e in schegge trasparenti e vitree, insieme a cristalli di colore giallo verdastro, vitrei, trasparenti e con punteggiature nere e bolle lattiginose. Questi pirosseni sono in parte di origine vulcanica, presi in carico e recapitati a mare dai fiumi che incidono il versante ionico dell'Appennino e i depositi del ciclo bradanico (De Marco, 1990), e in parte di origine industriale. Fra quelli naturali parte proviene dai livelli cineritici presenti a Punta Rondinella e sull'Isola di San Pietro, caratterizzati da minerali vulcanici, quali sanidino, pirosseni verde-oliva, magnetite e granati ugranditici che possono essere messi in relazione con quelli dei livelli cineritici presenti nei depositi pleistocenici. I pirosseni di colore giallo verdolino sono invece di origine industriale, parte delle loppe e delle scorie che si formano durante le fasi di raffreddamento dei prodotti siderurgici.

Il confronto mineralogico dei materiali di battigia con quelli provenienti direttamente dagli interrimenti del costruendo molo polisettoriale, indica che il tratto fra la Foce Tara, Punta Rondinella e San Pietro, corrispondente alla zona in cui sono avvenute le maggiori modificazioni strutturali, è quello più soggetto all'inquinamento antropico. La deriva litorale e il suo andamento annuale fa sì che il materiale derivante dalle scorie e dalle loppe d'altoforno, immesse in mare o perché utilizzate per la realizzazione di nuovi moli, o tramite gli scarichi industriali, si concentrino in questa area arricchendone la sabbia di componenti antropogenici: scaglie di magnetite e carbone, schegge di minerali di colore bianco lattiginoso e aspetto resinoso, contenenti inclusioni nerastre, e lamelle intrecciate di colore grigio, tutti di chiara provenienza industriale. Nella stessa area è possibile che si concentrino le precipitazioni dei materiali di inquinamento atmosferica che costituiscono il *fall-out* diretto condizionato dai venti, secondari, del I quadrante. La presenza della diga foranea impedisce, o riduce al minimo, che il materiale che la raggiunge per deriva litoranea entri, quindi, nel Mar Grande. Qui e nel Mar Piccolo, il materiale rappresentato da scaglie di carbone e di particellato delle scorie e delle loppe d'altoforno è in frazione principale poco rimaneggiato dal trasporto in mare; esso è pulviscolo di ricaduta meteorica distribuito dai venti del IV quadrante e in parte legato alle attività navali. Data la limitata circolazione delle acque in questi bacini essi sono in alte concentrazione.

In definitiva le sabbie delle spiagge attuali dell'area prospiciente la Città di Taranto sono il risultato di una alimentazione mista naturale (C, D in Fig. 5) ed antropica (A, B in Fig. 5). I componenti granulometricamente più fini dello stesso materiale sono diffusi nell'area urbana più prossima agli stabilimenti industriali e nel centro di Taranto, sottesa ai venti dominanti e regnanti del IV quadrante. Le polveri presenti nell'area urbana, campionate in agosto quindi nel periodo di minor uso dei riscaldamenti domestici e di minor traffico veicolare, rappresentano pertanto, almeno in parte, il materiale di ricaduta dei gas di scarico immessi in atmosfera dalle ciminiere degli alto forni.

	Naturali	Industriali	
	<i>Falesie</i>	<i>Polveri</i>	<i>Riporto</i>
Minerali scuri	magnetite	magnetite	serpentinite
	biotite	ematite	untite
	pirosseni	maghemite	rodocrosite
	rocce verdi	grafite	siderite
	tormalina	caolinite	maghemite
	anfibioli	montmorillonite	northupite
	granati	-	wustite
	olivina	-	-

Tabella 3 - Tipologia di apporti sedimentari alle spiagge attuali.

Conclusioni

Le spiagge dei mari di Taranto ricevono, o hanno ricevuto, minerali di origine industriale sia in modo diretto che indiretto (Tab. 3). Direttamente, attraverso l'immissione in mare di detriti solidi dello stabilimento siderurgico per la costruzione delle aree portuali ad Ovest di Punta Rondinella; indirettamente attraverso la circolazione atmosferica, che disperde le polveri delle ciminiere sotto il dominio dei venti. Durante le manovre di attracco e carico/scarico delle navi, avvengono fenomeni usuali in aree portuali: sversamenti accidentali di carburante o di prodotti industriali ferrosi e rilascio di vernici antifouling dagli scafi. Non trascurabile è la diffusione in atmosfera di materiale esposto agli agenti meteorici durante il trasporto su nastri trasportatori e lo stoccaggio in aree scoperte. I risultati dell'analisi del regime anemometrico e delle correnti litoranee e quello delle analisi mineralogiche hanno consentito di riconoscere la presenza e il tracciato di dispersione di alcuni dei materiali solidi di origine industriale presenti nelle spiagge attuali dell'area compresa fra Lido Azzurro e Capo San Vito, discriminandoli dai sedimenti naturali. In particolare è stato possibile valutare, nell'ambito della contaminazione marina costiera, la presenza ed il tipo di dispersione nei vari tratti considerati dei materiali solidi inquinanti, sia come detriti di riporto che come polveri disperse nell'atmosfera.

Le sabbie delle spiagge esterne al Mar Grande conservano tuttora il carattere di materiale detritico essenzialmente terrigeno, ereditato dal passato regime di alimentazione da correnti litorali provenienti da Ovest. In esse sono presenti minerali di origine vulcanica ottimi traccianti della deriva costiera. Anche nelle insenature del Mar Grande e del Mar Piccolo, dove prevalgono coste a falesia che incidono depositi argillosi e calcarenitici, in arretramento per scalzamento al piede, le sabbie risultano arricchite di minerali vulcanici (sanidino, pirosseni, granati, magnetite) provenienti dai livelli cineritici presenti nelle suddette formazioni. Tutte le spiagge esaminate hanno sabbie arricchite di clasti psammitici di origine industriale, quali scorie, loppe e scaglie carboniose e metalliche che per caratteri strutturali possono contenere quantità significative di metalli pesanti quali As, Cd, Cr, Hg, Sn, Pb, estremamente pericolosi per l'ambiente tanto se immessi nella catena alimentare, ad esempio attraverso i prodotti dell'acquacoltura, tanto se inalati direttamente. I materiali solidi di origine industriale presenti nei sedimenti dell'area tarantina, così, considerate la loro diffusione e abbondanza, sono almeno in parte fonte di diffusione dei metalli tossici riscontrati nelle acque marine costiere.

Analisi di tipo geochimico sui materiali solidi industriali rinvenuti nei sedimenti delle spiagge attuali e dei fondali potrebbero permettere di riconoscere e quantificare i metalli pesanti da loro veicolati e di distinguerli da quelli eventualmente immessi nell'ecosistema marino da attività portuali ed urbane.

Ringraziamenti

Gli Autori esprimono gratitudine ai due anonimi referee per i preziosi suggerimenti forniti in fase di revisione. Si ringrazia quindi il Prof. Umberto Simeoni del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Ferrara per la lettura critica del manoscritto e per i suggerimenti forniti.

Lavoro realizzato e pubblicato con contributi di Ateneo del Prof. A. De Marco e del Dott. G. Mastronuzzi.

Bibliografia

- AA.VV. (1995). *Atlante delle spiagge*. CNR.
- Amore C., D'alexandro L., Di Geronimo S., Giuffrida E., Lo Iudice A. e Zanini A. (1988) - *Dinamica litorale del Golfo di Taranto tra Capo Spulico e Punta Rondinella*. Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat., 21: 39-74.
- Belluomini G., Caldara M., Casini C., Cerasoli M., Manfra L., Mastronuzzi G., Palmentola G., Sanso' P., Tuccimei P. e Vesica P.L. (2002) - *Isoleucine epimerization ages and Th/U analyses on raised quaternary marine deposits in the Chèradi Islands and in the Taranto area (Apulia - Southern Italy)* - Quaternary Science Revue.
- Calacela N., Ciardullo S., Petronio B. M., Pietrantonio M., Abbondanzi F., Campisi T. e Cardelicchio N. (2005) - *Influence of chemical parameters (heavy metals, organic matter, sulphur and nitrogen) on toxicity of sediments from the Mar Piccolo (Taranto, Ionian Sea, Italy)*. Microchemical Journal, 79: 243 - 248.
- Caldara M., Centenaro E., Mastronuzzi G., Sanso' P. e Sergio A. (1998) - *Features and present evolution of Apulian Coast (Southern Italy)*. ICS'98, Palm Beach, Florida 5/1998, Journal of Coastal Research, SI (26): 55-64.
- Cardelicchio N. (1992) - *Monitoraggio in continuo dei fenoli in acque di scarico di cokeria*. Istituto Sperimentale Talassografico, CNR, Taranto. Atti del Congresso: Il monitoraggio automatico dell'Inquinamento Marino.
- Cardelicchio N., Annicchiarico C., Leone G., Marra C., Paterno P., Piraino S. e Ragone P. (1991) - *I mari di Taranto: problematiche di impatto ambientale*. Istituto Talassografico, CNR, di Taranto.
- Cardelicchio N., Annicchiarico C., Di Leo A. e Giandomenico S. (2004) - *Mercury in marine sediments and mussels from Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy)*. Atti 7th International Conference on Mercury as a Global Pollutant. Lubiana (June 27- July 2, 2004).
- Cardelicchio N., Paterno P. e Marra C. (1989a) - *Accumulo di mercurio e stagno in sedimenti e mitili del Golfo di Taranto*. Istituto Sperimentale Talassografico, CNR, Taranto.
- Cardelicchio N., Ragone P., Annicchiarico C. e Rochira M. (1989b) - *Inquinamento da idrocarburi policiclici aromatici nell'area costiera tarantina*. Istituto Sperimentale Talassografico, CNR, Taranto. Atti del Convegno Nazionale I.S.T.
- Cotecchia V., Lollino G., Pagliarulo R., Stefanon A., Tadolini T. e Trizzino R. (1989) - *Studi e controlli in situ per la captazione della sorgente sottomarina Galeso, Mar Piccolo di Taranto*. Conv. Int. Geoling. SUO-LOSOTTOSUOLO, Torino, 27-30 Settembre 1989, pp. 475-484.

- Costantino G., Mastrototaro F., Mattarrese A. e Tursi A. (1999) - *I fondali delle Isole Chèradi: aspetti bioce-notici*. In: Mastronuzzi G., Marzo P. (eds.). *Le Isole Chèradi fra natura, leggenda e storia*. Fondazione Ammiraglio Michelagnoli - Università degli Studi di Bari, Stampasud, Mottola (Ta), pp.171-180.
- Dell'Anna L. e De Marco A. (1977) - *Ulteriori dati sulla composizione mineralogica e granulometrica delle sabbie del litorale ionico tra Metaponto e Taranto*. Boll. Soc. Geol. Ital., 96: 569-585.
- De Marco A. (1990) - *Rapporti tra geodinamica e sedimentazione nella Fossa Bradanica durante il Pleistocene: testimonianze mineralogiche*. Boll. Soc. Geol. Ital., 109: 313-324.
- De Salis Marschlins C.U. (1789) - *Nel Regno di Napoli: viaggi attraverso varie provincie nel 1789*. Trani, pp. 73.
- Folk R.L. e Ward W.C. (1957) - *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journ. Sed. Petrol., 27: 3-26.
- Lerario V.L., Giandomenico S., Lopez L. e Cardellicchio N. (2003) - *Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from the Mar Piccolo of Taranto, Ionian Sea, Southern Italy*. Annali di Chimica, 93: 397-406.
- Mastronuzzi G. (2001) - *Indagine conoscitiva geologico ambientale del sistema del Mar Piccolo (Taranto): caratteri evoluzione, dinamica, valore e pericolosità di un potenziale geosito*. In: Atelier Taranto, Comune di Taranto. Progetto Posidonia, Unione Europea, Commissione Europea - DG XVI, Art. 10 FESR, Azioni Innovatrici, Programma Terra, Progetto n. 55 Posidonia, Comune di Taranto, VII Settore Governo del Territorio, CD rom, <http://www.comune.taranto.it>.
- Mastronuzzi G. e Sansò P. (1998) - *Morfologia e genesi delle Isole Chèradi e del Mar Grande (Taranto, Puglia, Italia)*. Geogr. Fis. Din. Quat., 21: 131-138.
- Ministero dell'Ambiente (1992) - *Relazione sullo stato dell'ambiente*. Ist. Pol. Zecca dello Stato, Roma. 490 pp.
- Pagliarulo R. e Bruno G. (1990) - *Implicazioni tettonico - strutturali nella circolazione idrica profonda nell'area del Mar Piccolo di Taranto (Puglia)*. Boll. Soc. Geol. It., 109: 307-312.
- Paterno P., Cardellicchio N., Marra C. e Leone G. (1991) - *Distribuzione di elementi metallici in Posidonia oceanica (L.) Delile del Golfo di Taranto*. Istituto Sperimentale Talassografico, CNR, Taranto.
- Parea G.C., Fontana D., Valloni R. e Vinci A. (1980) - *Dispersione dei sedimenti ed evoluzione della costa fra Capo Spulico e Taranto durante il Quaternario*. Geogr. Fis. Din. Quat., 3: 3-15.
- Pesaresi P. e Longo S., (1989) - *Nuova stazione navale a Taranto*. Edilizia Militare, 10: 25-26, Geniodife, Roma.
- Piraino S., Fanelli G., Alabiso G., Brandini E., Buia M.C., Petrocelli A., Prato E., Saracino O. D. e Pastore M. (1997) - *Ecologia del settore marino antistante il Polo Industriale di Taranto*. Istituto Sperimentale Talassografico, CNR, Taranto. Atti del Congresso Nazionale di Chimica Ambientale.
- Zito G., Ruggiero L. e Zuanni F. (1988) - *Zone climatiche omogenee in Puglia*. Atti del II Colloquio "Approcci metodologici per la definizione dell'ambiente fisico e biologico Mediterraneo", pp. 15-40.

Manoscritto ricevuto il 03/03/2004, accettato il 18/05/2005.