

## L'érosion des plages de poche de la Ligurie: le cas d'étude de Bonassola (La Spezia, Italie)<sup>3</sup>

### The erosion of pocket beaches in the Ligurian coast: the case study of Bonassola (La Spezia Italia)

Ileana BALDUZZI<sup>1</sup>, Carlo CAVALLO<sup>2</sup>, Nicola CORRADI<sup>1</sup> & Marco FERRARI<sup>1</sup>

**Abstract:** A 2006 research by GNRAC (National Research Group for Coastal Environment issues - *Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero*) indicate that the 39% of the Italian beaches are represented by cliffs. The 2/3 of the Ligurian beaches are represented by cliffs and pocket beaches. They have a special importance because of their naturalistic significance and the economical activities.

The Bonassola beach is located in the homonymous bay, in the East side of the Cinque Terre National Park (Eastern Liguria). The beach is limited by two headlands, "Punta Levante" in the East and "Punta della Madonna" in the West. It is about 410 meters long and it is not characterized by human defenses.

The remote sensing analysis used the 1973, 1983, 1993 and 2003 air photos and the "SICoast" geodatabase by Liguria Region in order to study the evolutive trends of the coastline, consequently to the erosive events and the beach nourishments.

The most recent studies (Liguria Region, Municipality of Bonassola in 2005-2006-2007-2009 and University of Genoa in 2011) have been done in order to monitoring the 2003 nourishment (about 13000 cube meters). Results highlight the erosive process in the beach and in the nearshore zone too. Sediments are mainly transported with a cross-shore movement and, sometimes, they settled beyond the depth of closure.

Keywords: Pocket beach, Beach erosion, Bonassola, Liguria

**Résumé :** Une recherche de 2006 conduite par le Groupe National pour la Recherche sur le Milieu Côtier (GNRAC) indique que 39% des côtes italiennes sont des côtes hautes et rocheuses. En Ligurie, les 2/3 du littoral sont représentés par des côtes hautes et des petites plages de poche. Ils revêtent une importance particulière tant pour leurs caractéristiques paysagères et naturelles que pour les activités économiques qui s'y déroulent.

La plage de Bonassola, située dans la baie homonyme, est localisée à l'ouest du Parc national des «Cinque Terre» (Ligurie orientale) dans une zone de valeur environnementale élevée. La plage est comprise entre deux promontoires dénommés « Punta Levante », vers l'est, et « Punta della Madonna », vers l'ouest. La petite plage s'étend sur 410 mètres environ et ne comporte aucun ouvrage de défense.

Une recherche basée sur des photos aériennes de 1973, 1983, 1993 et 2003 et sur le *geodatabase* "SICoast" de la Région Ligurie a permis d'observer les tendances évolutives de la ligne de rivage, suite aux événements érosifs et aux alimentations artificielles de sédiments.

Les recherches les plus récentes (Région Ligurie, Municipalité de Bonassola en 2005-2006-2007-2009 et Université de Gênes en 2011) ont été effectuées pour le suivi d'une alimentation d'environ 13.000 m<sup>3</sup>. Les résultats ont mis en évidence des processus érosifs encore en activité, tant sur la plage émergée que dans la partie submergée. La migration des sédiments résulte surtout des courants perpendiculaires au trait de côte entraînant des sédiments au-delà de la profondeur de fermeture de la plage.

Mots clés: Plage de poche, Erosion des plages, Bonassola, Ligurie

## INTRODUCTION

Les côtes hautes et rocheuses représentent 51% des côtes de la Terre (SHORT & MASSELINK, 1999). Les plages de poche (*pocket beaches*) sont souvent protégées entre des promontoires et, grâce à leur importance environnementale sont insérées dans des parcs naturels marins et terrestres. Les *pocket beaches* ou *embayed beaches* constituent souvent des unités physiographiques avec un bilan sédimentaire assez réduit

---

<sup>1</sup> DISTAV, Università degli Studi di Genova, C.so Europa, 26 16132 Genova, Italia. corradi@dipteris.unige.it

<sup>2</sup> Regione Liguria, Settore Ecosistema costiero, Via D'Annunzio, 111, 16121 Genova, Italia

<sup>3</sup> Cette communication a été présentée à l'Université d'Oujda (Maroc) lors du colloque international "Géomatique et gestion des risques naturels" en hommage au Professeur Ozer /6-8 mars 2012.

et principalement dû aux falaises et à l'apport solide de petits cours d'eau qui, quelquefois, définissent aussi de petites plaines côtières (SCHWARTZ, 1982; FINKL, 2004; PRANZINI, 2004).

L'équilibre et la morphologie des *pocket beaches* dépendent du bilan sédimentaire, des caractéristiques météo-marines et de la diffraction de la houle sur les promontoires (KLEIN & MENEZES, 2001).

Les processus érosifs, assez connus à l'échelle mondiale (BIRD & SCHWARTZ, 1985) pour les grandes plages sableuses, s'étendent aussi aux plages de poche; en effet, la réduction de l'apport solide des cours d'eau, qui est souvent due à l'aménagement des bassins versants ou aux modifications de l'affectation du territoire et à l'érosion limitée des falaises et des promontoires, a déterminé l'érosion de la plage qui, même si, en général, elle est soumise à des pertes latérales de sédiments, est souvent exposée à une houle très énergétique qui détermine d'importants apports (SALLENGER *et al.*, 2002) et des flux sortant (DAIL *et al.*, 2000).

En Italie, 39% environ du littoral est représenté par les côtes hautes et rocheuses (AA.VV., 2006). Les études précédentes (LA MONICA, 1984; FIERRO, 1999, 2004; FIERRO & IVALDI, 2001; DEL GROSSO & PRANZINI, 2003; CIPRIANI *et al.*, 2004) et celles liées au projet italien «*Le pocket beach delle coste italiane: dinamica, bilancio sedimentario e modelli evolutivi*» (les plages de poche des côtes italiennes : dynamique, bilan sédimentaire et modèles évolutifs - MIUR-PRIN, 2008) mettent en évidence que les phénomènes érosifs sont très actifs et développés aussi dans les *pocket beaches*. En Ligurie, où elles représentent les 2/3 des côtes hautes, les *pocket beaches* sont insérées entre des promontoires avec des degrés différents de sédimentation (SHORT & MASSELINK, 1999) et elles sont caractérisées par des sédiments grossiers (graviers) ou mixtes (BUSCOMBE & MASSELINK, 2006). La pression anthropique très élevée et la réduction des apports sédimentaires ont abouti à des processus érosifs très développés (FERRARI *et al.*, 2004; CORRADI *et al.*, 2008; FERRARI *et al.*, 2008), déjà actifs à partir du XIX siècle sur toute la côte de la Ligurie (ARTOM, 2004). Les petites *pocket beaches* se détachent de cette tendance évolutive grâce à la présence de petits villages à accessibilité réduite. En effet, elles sont comprises entre les parcs naturels marins ou proches de ceux-ci. La protection fournie par les promontoires limite les processus érosifs, les variations de la ligne de rivage sont contenues dans l'unité physiographique et la perte de sédiments est principalement due aux courants de retour.

## PRESENTATION DU SITE D'ÉTUDE

La baie de Bonassola est située sur la côte orientale de la Ligurie, à l'ouest du Parc national des « Cinque Terre ». Elle est délimitée par deux promontoires (*Punta de la Madonna* à l'ouest et *Punta Levante* à l'est) (Figure 1).

La baie est insérée dans les côtes rocheuses de l'Apennin (FANUCCI *et al.*, 1990), où l'orientation de la côte et la morphologie du profil côtier sont influencées principalement par les lignes directrices de la tectonique, la dynamique des versants et l'action érosive des vagues sur les falaises. En particulier, la côte, orientée NO-SE, est intéressée par les linéaments de la tectonique du Miocène supérieur avec les directions apennine, anti-apennine et Est-Ouest (ABBATE *et al.*, 2005).

Les promontoires du Mont Pastorelli (à l'ouest) et du Mont La Guardia (à l'est) qui délimitent la plage sont constitués par des gabbros (ophiolites de l'Unité « Bracco »), des basaltes et des brèches (CORTESOGNO *et al.*, 1981; ZANZUCCHI *et al.*, 1994), Figure 2.

La plage, longue d'environ 410 mètres, ne comprend pas d'ouvrages de défense. Elle représente le front d'une petite plaine côtière alimentée par les torrents San Giorgio (à l'ouest - bassin de 3.3 km<sup>2</sup>) et Rossola (à l'est - bassin de 1.7 km<sup>2</sup>).

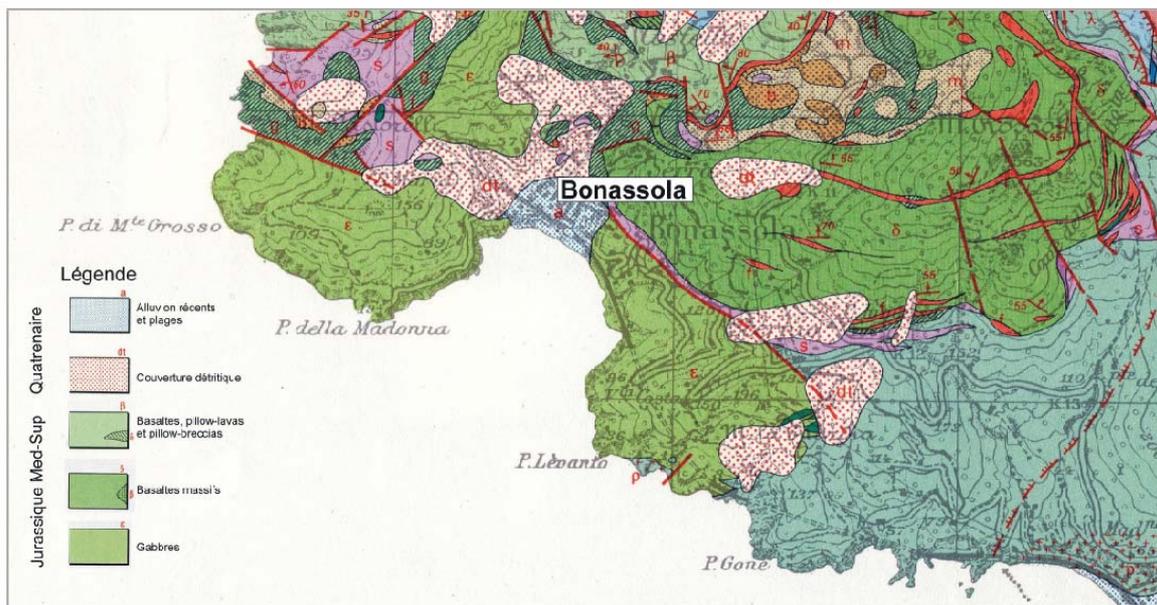
L'ampleur de la plage et sa texture ont subi des modifications au cours du temps. En 1937, SANGUINETI G. évaluait la plage comme « *arenosa et ciottolosa* » (sableuse et caillouteuse) avec une longueur d'environ 100 mètres et une largeur de 25-30 mètres. La bibliographie historique indique que la plaine côtière progradait progressivement et pendant le XIV<sup>ème</sup> siècle sa position était matérialisée par la première ligne d'habitations et, au XIX<sup>ème</sup> siècle, le tracé du chemin de fer occupait le front de mer. SANGUINETI indiquait que la plage était en train de reculer même si elle était protégée par les promontoires et que, à l'est de celle-ci en 1904, le mur de la ligne du chemin de fer fut détruit par une tempête. Le dédoublement de la ligne ferroviaire et son déplacement vers l'entre-terre pendant les années '60 a été l'occasion pour le rechargement artificiel de la plage et pour lui donner sa forme actuelle même si elle n'était pas exemptée de phénomènes érosifs.

Les images suivantes (Fig. 3a) montrent l'état érosif de la plage avant les rechargements liés aux travaux du chemin de fer (ARTOM *et al.*, 2008 ; LAMANNA, 2008). En particulier, le secteur le plus sensible à

l'érosion était (et il en est de même encore aujourd'hui) en correspondance avec la pointe orientale de la plage, en conséquence de la houle de Sud-Ouest. En conséquence, les versements artificiels de sable ont donc principalement intéressé le secteur oriental (Fig. 3b).

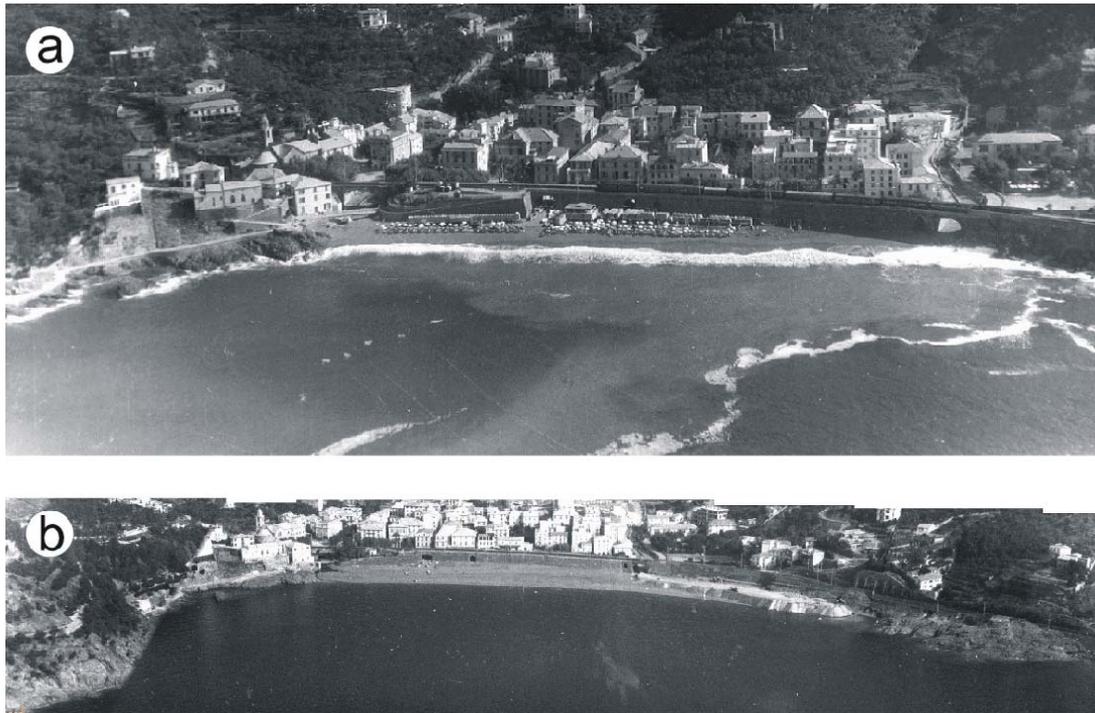


**Fig. 1** – Localisation de la baie de Bonassola.



**Fig. 2** – Géologie de la zone d'étude  
(d'après CORTESOGNO *et al.*, 1981 modifié).

Même s'il y a eu le versement de matériaux venant des travaux du chemin de fer et de l'autoroute, les processus érosifs ne se sont pas arrêtés et de nouveaux apports ont été nécessaires à cause d'une érosion notable de la plage, surtout à partir du 2000 et à la suite de tempêtes exceptionnelles. L'intervention a commencé en 2003 avec le projet et l'exécution d'un rechargement qui a prévu le versement de 13000 m<sup>3</sup> de matériel d'une carrière locale, constitué par des gabbros et avec une distribution granulométrique de 65% de cailloux et 35% de sable. Le but étant d'obtenir une augmentation de la largeur de la plage d'environ 15 mètres.



**Fig. 3** – (a) La plage de Bonassola (années '50-'60) avant les rechargements de la plage et (b) pendant les apports. Photos historiques de l'ICCD-Aerofototeca Nazionale – SiCoast – Région Ligurie (modifié).

## MATERIELS ET METHODES ET DISCUSSION DES DONNEES

Pendant cette étude, il a été possible d'utiliser les données disponibles à la Région Ligurie concernant le projet et la réalisation du rechargement de 2003 et le suivi de 2005-2008. Il s'agit d'études bathymétriques MultiBeam et de l'analyse d'échantillons provenant du fonds de la mer à partir de la ligne de rivage jusqu'à la profondeur de 30 mètres.

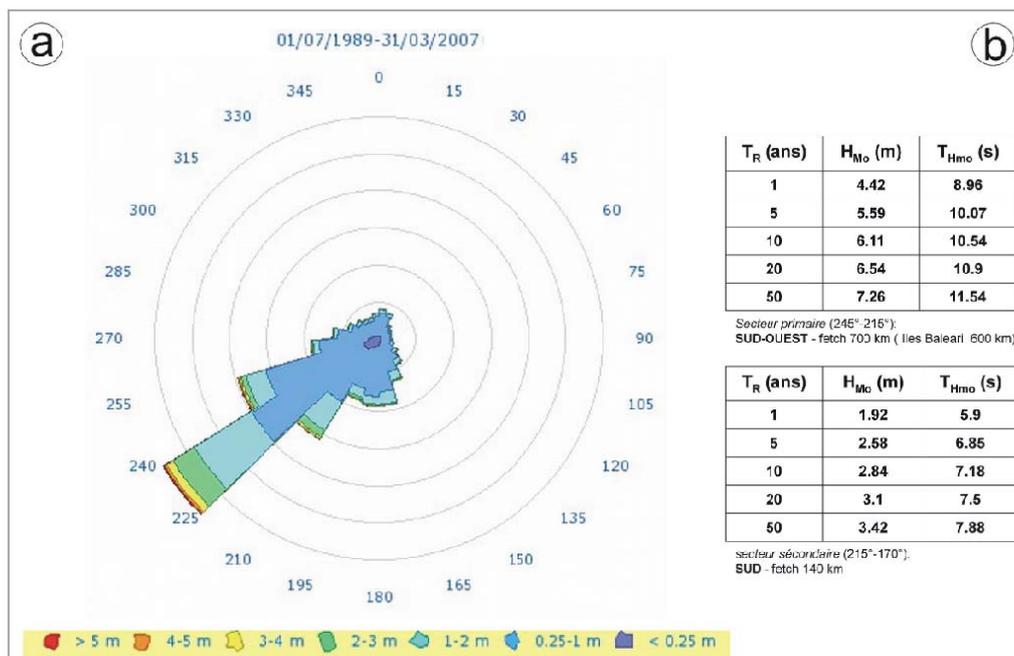
En 2011, l'Université de Gênes a exécuté un nouveau relief bathymétrique et prélevé des échantillons superficiels du fonds.

### Conditions météo-marines

La côte de Bonassola est orientée Sud-Est/Nord-Ouest et la plage se positionne perpendiculairement ( $215^\circ$ ), avec un angle maximum de  $30^\circ$  à la houle qui vient du Sud-Ouest ( $215^\circ$ - $245^\circ$ ). Cet angle expose la plage à la houle principale (Sud-Ouest) ce qui engendre une dérive littorale vers l'est ; il en résulte aussi qu'elle est protégée de la houle de Sud-Est. L'exposition au sud ( $170^\circ$ - $215^\circ$ ) influence par contre la côte en créant une dérive littorale vers l'ouest, en direction du secteur le plus protégé de la baie. La figure 4 (a) et (b) montre les données fournies par le Réseau Italien des Bouées (*Rete Ondametrica Nazionale*, [www.IDROMARE.com](http://www.IDROMARE.com)) relatives à la bouée de La Spezia (01/07/1989-31/03/2007) et montre les caractéristiques de la houle des deux principales expositions, avec une référence particulière à la fréquence en pourcentage et à la hauteur de la houle venant du Sud-Ouest.

L'étude des conditions de la houle dans la baie et son incidence sur la plage a été menée en 2002 par la faculté d'Ingénierie de l'Université de Gênes (LANDO REBAUDENGO *et al.*, 2002) et elle a mis en évidence les caractéristiques de la houle dans les différentes périodes de retour et des deux expositions qui incident sur la plage de Bonassola (Sud-Est et Sud).

Les graphiques produits par LANDO REBAUDENGO *et al.* (2002), pour les différentes périodes de retour ont mis en évidence les diffractions des directions de propagation de la houle et l'influence des promontoires et des fonds; en particulier, la houle de Sud-Ouest produit des directions de transport sédimentaire vers l'est avec une concentration de l'énergie dans le secteur oriental de la plage, surtout pour les fronts de la période de retour de 50 ans. La houle venant du sud, par contre, produit des directions de transport vers l'ouest avec des intensités liées aux différentes périodes de retour.



**Fig. 4** – (a) Fréquence de provenance de la houle. D’après IDROMARE –ISPRA – Institut Supérieur pour la Protection et la Recherche Environnementale.

(b) Caractéristiques de la houle avec période de retour de 1-50 ans.

Légende :  $T_R$  = période de retour;  $H_{m0}$ =hauteur spectrale;  $T_{H_{m0}}$ = période de  $H_{m0}$  (LANDO REBAUDENGO *et al.*, 2002, *mod.*).

### Caractéristiques physiographiques de la plage

Les caractéristiques morphodynamiques et physiographiques de la plage de Bonassola ont été résumées dans un tableau proposé par SIMEONI *et al.* (2009, 2012) à partir des données bibliographiques les plus significatives. Le tableau 1 montre les valeurs obtenues selon la classification proposée.

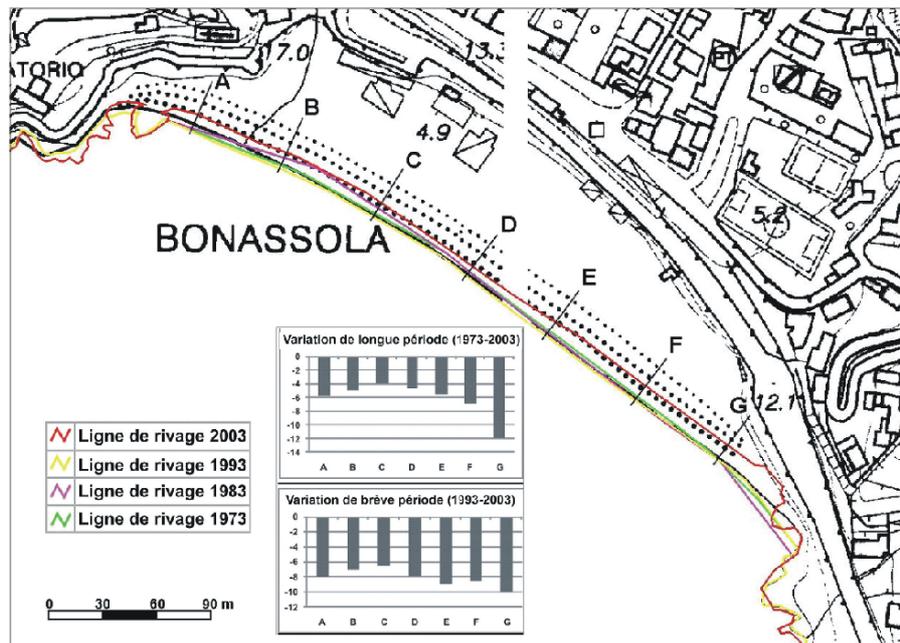
Largeur de la baie = 900 m
Embayment = 550 m
Longueur de la plage = 410 mètres
Embayment - scaling parameter (MARTENS <i>et al.</i> , 1999) = 0,66
Exposition = SW
Hauteur de la vague significative (période de retour de 10 ans) = 6,1 m
Profondeur de fermeture de la plage = 8,1 m
Pente de l’isobathe de 5 mètres = 8,3%
Pente de la profondeur de fermeture = 5,5%
Bassin versant = San Giorgio (3,3 km <sup>2</sup> ), Rossola (1,7 km <sup>2</sup> )
Sédiments de la ligne de rivage = cailloux - sable
Ouvrages de protection = pas présents

Tableau 1 – Paramètres morphodynamiques de la plage de Bonassola proposés par SIMEONI *et al.* (2009, 2012).

### Evolution de la ligne de rivage et des fonds

L’évolution de la ligne de rivage a été étudiée à partir de l’interprétation des photos aériennes disponibles à la Région Ligurie. Les vols datent de 1973, 1983, 1993 et 2003. A partir de la position des

différentes lignes de rivage, il a été possible de reconstruire la tendance évolutive dans la longue (1973-2003) et courte période (1993-2003), le long de transects significatifs de la plage (Fig. 5).

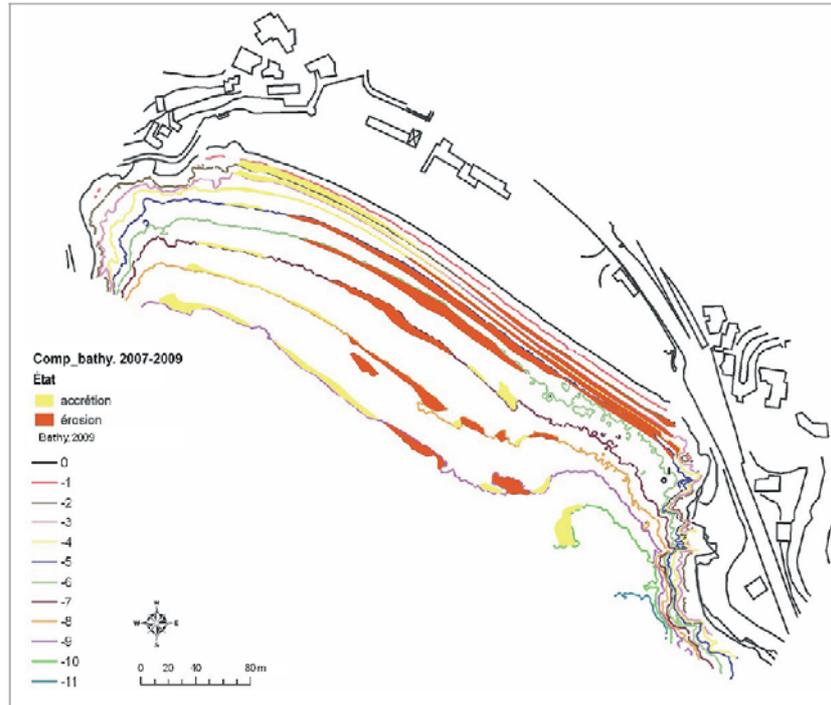


**Fig. 5** – Variation de la ligne de rivage de la plage de Bonassola dans la longue et courte période (30 et 10 ans). Base cartographique : CTR 1:5.000, SICoast, Région Ligurie (CORRADI *et al.*, 2012 *mod.*).

L'analyse des transects montre que la ligne de rivage a subi une érosion évidente surtout dans le secteur oriental de la plage. Le graphique obtenu pour la longue période (30 ans) montre l'érosion de l'ensemble de la plage et les foyers érosifs et aussi les effets de la rotation de la ligne de rivage suite à la diffraction de la houle. Les comparaisons des transects pour la courte période (1993-2003) montrent des effets plus contenus de la rotation de la ligne de rivage et ils mettent aussi en évidence que l'érosion a été concentrée, dans les derniers 20 ans, en démontrant l'augmentation des déséquilibres morpho-dynamiques.

Les nourrissements exécutés à partir du 2000 à la suite de l'érosion ont prévu une augmentation de la ligne de rivage de 15 mètres. La comparaison des bathymétries des fonds a été obtenue en analysant cinq reliefs MultiBeam Echosounder (2005-2009) prévus dans le suivi financé par la Mairie de Bonassola. Il montre que, même si la ligne de rivage a avancé par rapport à celle du 2003 (maximum de l'érosion), les processus érosifs ne se sont jamais arrêtés et ils se poursuivent, même s'ils sont contrastés par la nouvelle disposition des fonds nourris artificiellement et donc capables de dissiper plus la houle. En particulier, la comparaison entre les bathymétries de 2007 et de 2009, obtenues avec une méthode similaire, la même instrumentation, les mêmes points de repère topographiques et les mêmes opérateurs (DRAFIN SUB SURVEY, 2007; 2009), montre que les processus érosifs sont toujours présents surtout pour les fonds (Fig. 6).

La comparaison entre les deux reliefs montre que les tendances de l'érosion, actives avant les rechargements, sont restées inchangées et, en particulier, les secteurs les plus érodés sont localisés à l'est où on a localisé une dépression morphologique qui canalise les courants sortants et les sédiments sableux qui constituent la matrice du sédiment grossier des fonds et de la ligne de rivage. Cette dépression, qui a probablement une origine tectonique est aussi responsable de la forme de la falaise, est maintenue active par les courants de retour. Le secteur central semblerait le plus indemne aux phénomènes érosifs et il correspondrait au pôle de rotation de la plage (SHORT & MASSELINK, 1999). Elle montre, par contre, une importante érosion qui est probablement encouragée par la hausse de l'eau pendant les tempêtes (des mesures directes ne sont pas disponibles mais cette situation particulière particulière est documentée par des témoignages directs) et qui détermine des flux transversaux importants (déjà montrés sur la figure 3a). Une modeste augmentation de la plage, caractérisée par la présence de sédiments sableux-caillouteux, a été observée seulement dans le secteur nord-occidental où l'effet de la rotation de la ligne de rivage consécutive à la houle de Sud-Ouest ramène des sédiments de la « zone d'ombre » (KOMAR, 1998 ; SILVESTER & HO, 1972).

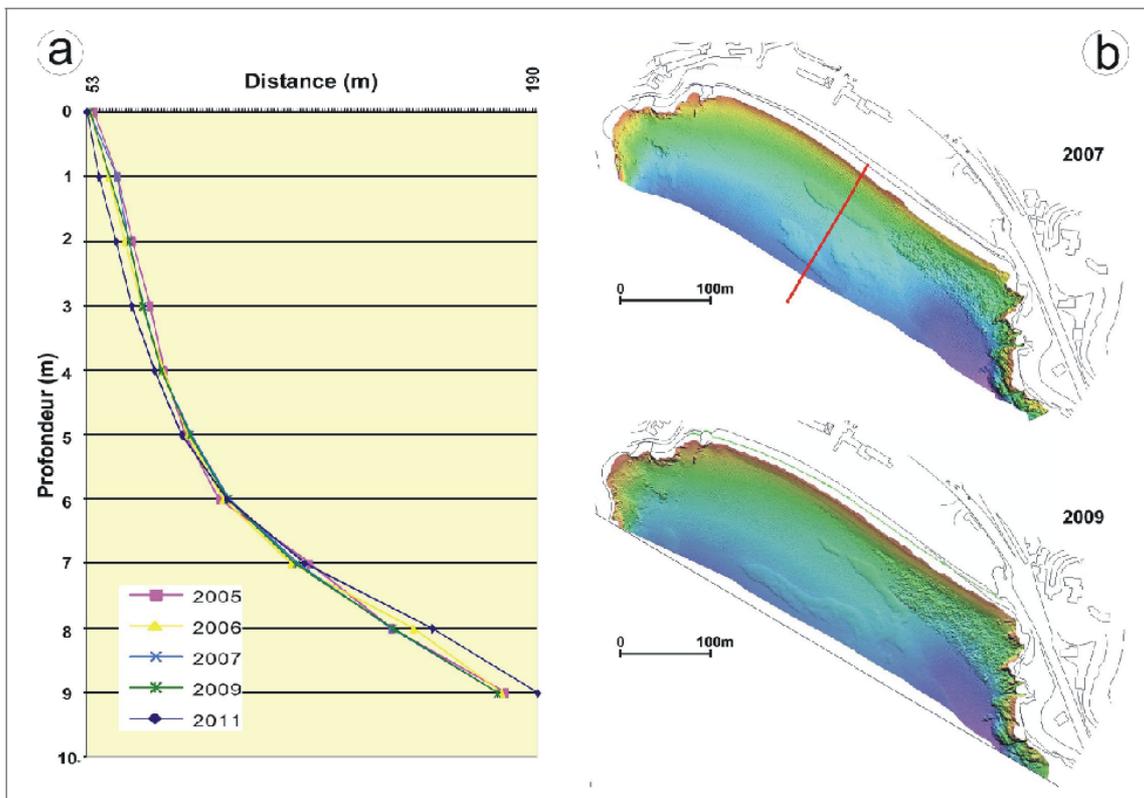


**Fig. 6** – Comparaison des reliefs bathymétriques MultiBeam de 2007 et 2009.

Dans ce secteur les sédiments proviennent du transport sous-flot dû à la réfraction de la houle de Sud-Ouest et au transport direct de la houle de Sud ; en effet, il en résulte que les fonds augmentent (entre 2007 et 2009) et témoignent que la plage sous-marine est soumise à la dynamique naturelle de redistribution des sédiments du rechargement de 2003 et se reconstruit où, vraisemblablement, le profil est le plus dissipatif. Les reliefs MultiBeam du 2007 et 2009 (Fig. 7) et le relief bathymétrique (SingleBeam) de l'Université de Gênes du 2011 ont mis en évidence que le profil morphologique de la plage sous-marine présente une pente de plus en plus importante, ce qui signifie une érosion des sédiments de la ligne de rivage jusqu'à la profondeur de 5-6 mètres et l'augmentation des fonds au-delà de cette profondeur. Cela pourrait représenter le rééquilibre des fonds après le rechargement de la plage. La comparaison entre le DTM du 2007 et celui du 2009, par contre, montre qu'au-delà du rééquilibre morphologique, des zones d'érosion importante sont présentes. L'analyse du transect central et perpendiculaire à la ligne de rivage met en évidence les variations du profil. Les images des DTMs montrent deux étapes évolutives des fonds qui sont mis en évidence par les variations des échelles chromatiques associées aux profondeurs. En 2007, la disponibilité des sédiments est plus importante, mise en évidence par la profondeur plus contenue près de la ligne de rivage, la formation de *ripples marks* à différentes longueurs d'onde rapportées à l'énergie de la houle et des courants et à la présence de barres longitudinales.

Le secteur le plus oriental de la plage est par contre constitué par des sédiments grossiers et l'émersion du substrat ce qui est caractéristique de fonds où la matrice sableuse ou caillouteuse-fine n'est plus présente parce qu'elle a été érodée par les courants de retour (*rip currents*) et transportée le long de la dépression morphologique qui la dirige vers le large et le long de la base de la falaise de Punta Levante à l'est.

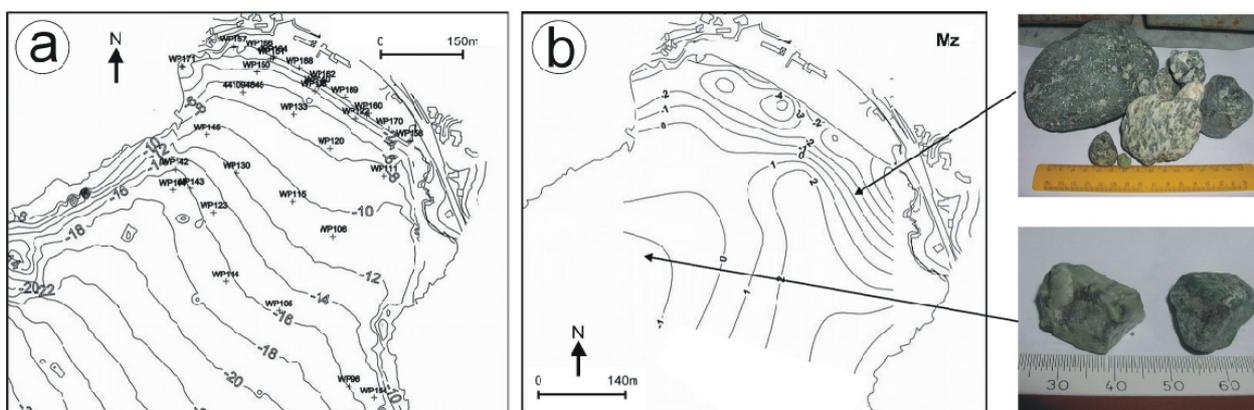
La bathymétrie de 2009 montre une situation qui est sûrement la conséquence de l'érosion croissante des fonds ; en effet, l'échelle bathymétrique montre un rapprochement des isobathes plus profondes vers la ligne de rivage, les *ripples marks* sont toujours présentes mais leur longueur d'onde est inférieure (probablement déterminée par des conditions météo-marines d'énergie inférieure pendant les jours précédents les mesures). Il est aussi possible de noter une extension plus importante du secteur caractérisé par des sédiments résiduels grossiers, désormais appauvris de la matrice sableuse ou sableuse-caillouteuse, témoin d'une tendance érosive non arrêtée. Le système des barres longitudinales est encore présent en 2009 mais il est caractérisé par une taille inférieure dans le secteur le plus proche à la ligne de rivage. Le canal érosif (dépression morphologique) semble expliquer sa fonction de moyen de transport des eaux et sédiments, comme en témoigne la morphologie et la longueur d'onde des *ripples marks* qui sont aussi orientées vers le large.



**Fig. 7** – Données morphologiques de la plage sous-marine: (a) Comparaison du profil central de la plage (ligne rouge) relatif aux années 2005-2006-2007-2009-2011 : (b) DTMs des fonds relatifs aux années 2007 et 2009.

### Sédimentologie des fonds

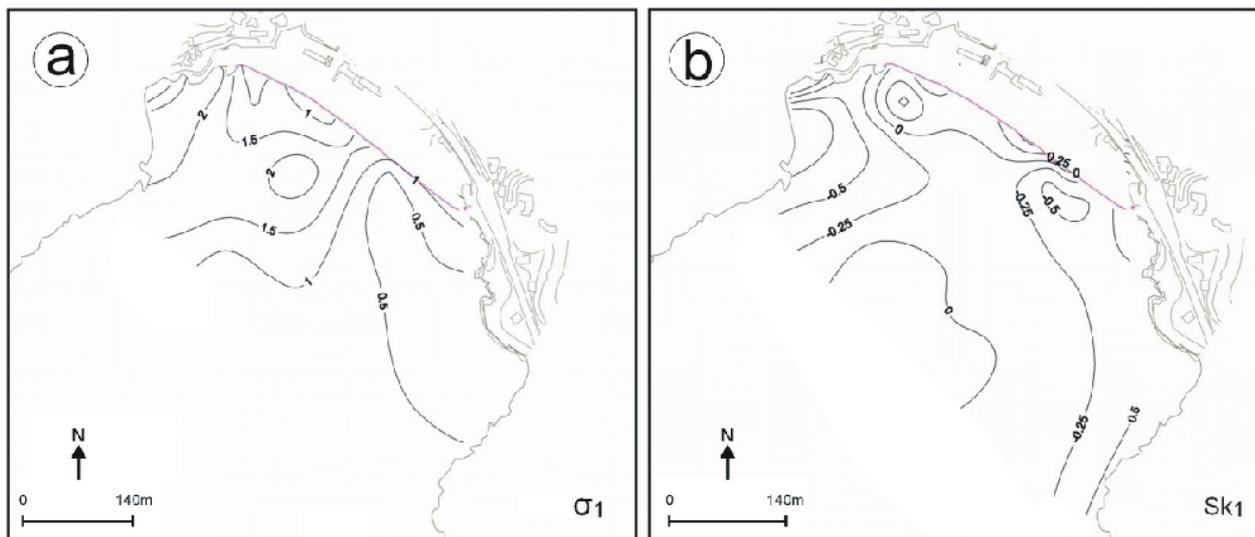
La campagne sédimentologique sur les fonds de 2011 a permis de détailler la distribution granulométrique et la mise en évidence de la dynamique sédimentaire. La figure 8 montre la carte de distribution des échantillons.



**Fig. 8** – Carte de distribution des échantillons sur le fonds (a) ; (b) Distribution de  $M_z$  (dimension moyenne du sédiment – FOLK & WARD, 1957). A noter les sédiments du secteur le plus érodé qui sont caractérisés par des sédiments résiduels ( $M_z$  négatif); un échantillon à la profondeur de 15 mètres montre la présence de matériel grossier du nourrissage, non encore arrondi et transporté au-delà de la profondeur de fermeture de la plage (HALLERMAIER, 1977 ; PRANZINI, 2004) par des courants de retour.

Les analyses texturales montrent les gradients granulométriques des sédiments en fonction des directions de mouvement des sédiments du fond ; en particulier, dans le secteur caractérisé par les sédiments résiduels, le chenal érosif est bien délimité par l'isoligne de 2Phy. La présence de sédiments grossiers en position distale par rapport à la ligne de rivage altère les gradients granulométriques normaux et elle met en évidence le mouvement de retour des courants dus à l'accumulation de l'eau sur la ligne de rivage, qui est augmentée aussi par la profondeur de la baie (*embayment*).

Les cartes de distribution des indices granulométriques (Fig. 9) confirment les affirmations précédentes. En particulier, (a) elle montre bien le chenal érosif parallèle à la falaise à l'est, qui est caractérisé par des valeurs de Déviation Standard inférieures, conséquence d'une meilleure sélection. Des valeurs de plus en plus croissantes sont évidentes dans les secteurs où les barres sous-marines sont présentes.



**Fig.9** – Carte de distribution des indices granulométriques : (a) Déviation Standard Sigma1 (FOLK & WARD, 1957) ; (b) Asymétrie Sk1 (FOLK & WARD, 1957).

Dans la figure 9(b), la *Skewness* montre plus en détail combien les sédiments sont grossiers. En effet, les valeurs négatives, qui sont caractéristiques de l'appauvrissement de la matrice fine (sableuse), indiquent de façon très évidente que le secteur oriental de la plage est caractérisé par la présence de sédiments résiduels et aussi lié aussi à la réflexion des houles de Sud-Ouest et Sud sur les deux falaises. Les valeurs de 0 sont présentes seulement dans le secteur occidental, qui est protégé et où les sédiments les plus fins sont présents.

## CONCLUSION

Les petites plages de poche (*pocket beaches*) sont souvent enfermées entre les promontoires et elles présentent une valeur environnementale très élevée. L'occupation de ces plages est encore peu importante parce que l'attention de l'industrie touristique a toujours été plus concentrée sur les plages à développement linéaire, en oubliant ces lieux souvent difficiles à atteindre. Cette localisation a permis de pouvoir les préserver de l'exploitation intensive. En plus, certaines côtes sont insérées dans des parcs naturels et des zones protégées.

En Italie, des études récentes conduites sur ce type de plage et financées par le M.A. (Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire) ont permis de produire un premier cadre de connaissance des plages de poche, avec un classement nécessaire selon des classes de longueur définies pour un inventaire national. Le projet italien PRIN 2008 du MIUR (Ministère de l'instruction, de l'université et de la recherche), veut approfondir la connaissance de ce type de plages en proposant des cas d'étude le long de certaines côtes très significatives. Dans ce contexte, l'étude de Bonassola a été menée. Les caractéristiques de cette petite baie avec sa plage de 410 mètres de longueur, cadrent très bien dans les critères de définition présents dans la littérature. En effet, l'aspect des fonds marins et de la ligne de rivage est directement lié à l'action de la diffraction de la houle sur les promontoires, par rapport à l'extension de la plage.

La plage, en progradation pendant le XIV<sup>ème</sup> siècle selon les sources bibliographiques citées par SANGUINETI *et al.*, 1937, subit des contractions très importantes et en 1904 le pont du chemin de fer du secteur oriental fût endommagé. Les interventions successives de rechargement, pendant les années '50 et '60 du dernier siècle et en 2003, même en rétablissant le prisme sédimentaire et sa capacité de dissipation d'énergie de la houle, n'ont pas arrêté les phénomènes érosifs qui sont toujours présents. Les campagnes de suivi et les études du projet MIUR-PRIN 2008 ont mis en évidence les tendances érosives, les modifications morphologiques et les directions possibles de mouvement des sédiments.

La campagne de prélèvement des échantillons de fonds a souligné les déséquilibres actuels et, en particulier, les dépôts de la plage orientale qui sont désormais caractérisés par des sédiments résiduels et appauvris de la matrice sablo-caillouteuse qui a été éloignée par les courants de retour et canalisée vers le large le long de la dépression morphologique d'origine tant structurale qu'érosive. Les sédiments du rechargement de 2003, pas encore émoussés, ont été échantillonnés à la profondeur de -16 mètres dans une position centrale de la baie. Ils indiquent que les courants de retour intéressent aussi la partie centrale de la plage, probablement dus à l'augmentation du niveau de l'eau lors des tempêtes les plus importantes. Une nouvelle campagne morpho-sédimentologique est prévue fournira de nouveaux éléments plus de 10 ans après l'intervention de rechargement de la plage.

### REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Project PRIN 2008 italien «Le pocket beach delle coste italiane: dinamica, bilancio sedimentario e modelli evolutivi» (Les plages de poche des côtes italiennes : dynamique, bilan sédimentaire et modèles évolutifs) du MIUR (Ministère de l'instruction, de l'université et de la recherche) italienne.

Nos remerciements vont au Professeur Giuliano Fierro, au Professeur André Ozer, à l'Architecte Corinna Artom de la Région Ligurie et au technicien Alberto Demergasso dell'Université de Gênes pour l'aide à la réalisation de ce travail. Nous remercions aussi le Professeur André Ozer pour son aide à la révision du texte en langue française.

### BIBLIOGRAPHIE

- AA.VV., 2006. Lo stato dei litorali italiani. *Studi costieri*, Firenze: 10, 174 p.
- ABBATE, E., FANUCCI, F., BENVENUTI, M., BRUNI, P., CIPRIANI, N., FALORNI, P., FAZZUOLI, M., MORELLI, D., PANDELI, E., PAPINI, M., SAGRI, M., REALE, V. & VANNUCCHI P., 2005. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 248 La Spezia. APAT Servizio Geologico d'Italia, Regione Liguria., S.EL.CA., Firenze 204 p.
- ARTOM, C., 2004. La Regione Liguria: caratteristiche, problemi e attività per il recupero e la manutenzione delle piagge. Quaderno Tecnico della Regione Liguria "La Ricerca di sabbie nel Mar Ligure", U.E. Interreg III B MEDOCC Beachmed, Regione Liguria, 19-27.
- ARTOM, C., BALDUZZI, I. & LAMANNA, S., 2008. Il Censimento delle opere costiere della Regione Liguria. In: 12<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA. L'Aquila (AQ), 21-24 ottobre 2008. 12, I: 165-170.
- BIRD E.C. & SCHWARTZ M.L. 1985. The World's Coastline. VNR, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1071 p.
- BUSCOMBE D. & MASSELINK G. 2006. Concepts in gravel beach dynamics. *Earth-Science Reviews*, 79: 33-52.
- CIPRIANI, L.E., FERRI, S., IANNOTTA, P., MANNORI, S. & PRANZINI, E., 2004. Evoluzione recente delle spiagge toscane. In: Il Piano Regionale di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico. Erosione costiera. Edifir, Firenze, 75-92.
- CORRADI, N., BALDUZZI, I. & FERRARI, M., 2012. Le pocket beach della Liguria, In: Le pocket Beach, Dinamica e gestione delle piccole spiagge, a cura di: Simeoni, U., Corbau, C., Pranzini, E., Ginesu, S. & Franco Angeli, ISBN 978-88-204-0156-6. 67-74
- CORRADI, N., FERRARI, M. & SCHIAFFINO, C.F., 2008. Evaluation of the effectiveness of a seasonal nourishment programme of the pocket beaches of the city of Genoa. *Chemistry and Ecology* 24.1: 215-223.
- CORTESOGNO, L., GALBIATI, B., PRINCIPI, G. & VERCESI DEL CASTELLAZZO, G., 1981. Carta geologica delle ofioliti del Bracco tra Levante e Velva (1:25.000), C.N.R., S.EL.CA., Firenze
- DAIL, H. J., MERRIFIELD, M.A. & BEVIS, M., 2000. Steep beach morphology changes due to energetic wave forcing. *Mar. Geol.*, 162: 443-458.
- DEL GROSSO, G. & PRANZINI, E. 2003. Pocket beach erosion: Golfo di Procchio (Isola d'Elba). Medcoast 2003, Ravenna, 1559-1570.
- DRAFIN SUB SURVEY, 2007. Rilievi batimetrici propedeutici al monitoraggio naturalistico della fascia costiera del Comune di Bonassola. 3<sup>o</sup> rilievo, 2<sup>o</sup> monitoraggio, Survey Report. Comune di Bonassola, 56p.
- DRAFIN SUB SURVEY, 2009. Rilievi batimetrici propedeutici al monitoraggio naturalistico della fascia costiera del Comune di Bonassola. 4<sup>o</sup> rilievo, 3<sup>o</sup> monitoraggio, Survey Report. Comune di Bonassola, 53p.

- FANUCCI, F., CORRADI, N., FIRPO, M., PICCAZZO, M. & TUCCI, S., 1990. Les Côtes de la mer ligure: Morphologie, dynamique et évolution. 1° Symp. Ass. Europ. EUROCOAST, Marseille, France, 9-13.7.1990: 82-86.
- FERRARI, M., BALDUZZI, I., BOZZANO, A. & ARTOM, C., 2008. Valutazione dello stato erosivo delle spiagge liguri: applicazione di un sistema informativo geografico. In: 12° Conferenza Nazionale ASITA. L'Aquila (AQ), 21-24 ottobre 2008. 12, II: 1127-1132.
- FERRARI, M., BALDUZZI, I., BOZZANO, A. & BOLENS, S., 2004. Valutazione dello stato di erosione dei litorali e stima del fabbisogno di sedimenti per il ripascimento delle spiagge liguri. In: "La ricerca di Sabbie in Mar Ligure", Genova, Regione Liguria: 61-71.
- FIERRO, G. 2004. Il degrado dei litorali. Accademia Nazionale dei Lincei, Atti dei Convegni Lincei, 205, XXI Giornata dell'Ambiente "Aree Costiere" Roma, 5 giugno 2003, 37-50.
- FIERRO, G., AA.VV., 1999. Atlante delle Spiagge Italiane. CNR-MURST, 12 di 37 24/09/2011 14.06., S.EL.CA. Firenze., 4 p., 108 planches.
- FIERRO, G. & IVALDI, R., 2001. The atlas of Italian beaches: a review of coastal processes. MEDCOAST '01, 3: 1557-1566.
- FINKL, C.W., 2004. Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. *Journal of Coastal Research*, 20, 1: 166-213.
- FOLK, R.L. & WARD, W., 1957. Brazos River Bar : a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- ICCD Aerofototeca Nazionale, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php>
- IDROMARE – ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. <http://www.idromare.it/index.php>
- HALLERMEIER, R.J. 1977. Calculating a Yearly Limit Depth to the Active Beach Profile. Coastal Engineering Res. Center, US Army, Corps of Engineers, T.P. 77-9, 36p.
- KLEIN, A.H.F. & THADEU DE MENEZES, J., 2001. Beach morphodynamics and profile sequences for a Headland Bay Coast. *Journal of Coastal Research*, 17: 812 – 835.
- LA MONICA, G.B., LANDINI, B. & MILLI, S., 1984. Ripascimento artificiale dei litorali in erosione. Il Tombolo di Feniglia (Toscana meridionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, Roma. 103: 539-560, 8 fig., 3 tab.,
- LAMANNA, S., 2008. Il Sistema Informativo Geografico della costa e il censimento delle opere costiere della Regione Liguria. In: Artom, C. (Ed.). Lo studio e la rappresentazione della costa ligure nel progetto europeo BEACHMED-e. Regione Liguria, BEACHMED-e, Genova, 113-119.
- LANDÒ REBAUDENGO, L., SCARSI, G., STURA, S. & GENTILE, R., 2002. Modello matematico per la valutazione del clima ondoso nell'insenatura antistante Bonassola e dei relativi processi costieri nella condizione attuale. Università degli Studi di Genova, Facoltà di Ingegneria, DIAM – Dipartimento di Ingegneria Ambientale., Genova, 35 p.
- MARTENS, D., WILLIAMS, T., & COWELL, P.J., 1999. Mega-rip dimensional analysis on the Sidney coast, Australia and implications for beach state recognition and prediction. *Journal of Coastal Research*. 17: 34-42.
- PRANZINI, E., 2004. La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali. Zanichelli, 245 p.
- SALLENGER JR., A.H., KRABILL, W., BROCK, J., SWIFT, R., MANIZADE, S. & STOCKDON, H., 2002. Sea-cliff erosion as a function of beach changes and extreme wave runup during the 1997-1998 El Niño. *Marine Geology*, 187: 279-297.
- SANGUINETI, G., 1937. Le variazioni del litorale tra Portofino e Capo Corvo. In: Ascari M., Baccino L. et Sanguinetti G. (Eds.). Le spiagge della Riviera ligure. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, III: 281-320.
- SCHWARTZ, M.L., 1982. Geographic terminology. (Ed.) M.L. Schwartz. The Encyclopedia of Beaches and Coastal environments. Hutchinson Ross Pub. Co., 442-445.
- SHORT, A.D. & MASSELINK, G., 1999. Embayed and structurally controlled beaches. in Short, A.D. (Ed.). Handbook of beach and shoreface morphodynamics, Wiley, 230-250.
- SiCoast—RegioneLiguria-Interfaccia-Cartografica,  
[http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte\\_PT.asp?idCanale=SICOAST](http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte_PT.asp?idCanale=SICOAST)
- SILVESTER, R., & HO, S.K., 1972. Use of crenulated shaped bays to stabilize coasts. In Proceedings of the 13th International Conference on Coastal Engineering. *American Society of Civil Engineers*, 2: 1347-1365.
- SIMEONI, U., PRANZINI, E. & CORBAU, C., AA.VV., 2009. Progetto di ricerca riguardante i processi evolutivi delle Pocket Beach con riferimento agli obiettivi del Protocollo "Integrated Coastal Zone Management (ICZM)" della Convenzione di Barcellona. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Consorzio Universitario per la Ricerca Socioeconomica e per l'Ambiente, Roma, 87.
- ZANZUCCHI, G., ABBATE, E., PRINCIPI, G., SAGRI, M., CABELLA, R., CORTESOGNO, L., GAGGERO, L., PICCARDO, G.B., TERRANOVA, R., GELATI, R., BERNINI, M., CAREGGIO, M., CAVAZZINI, R., CONTI, A., COSTA, E., PAPANI, G., PELOSIO, G., PIAZZA, M., TELLINI, C., TORELLI, L., VERNIA, L., VESCOVI, P., BRAGA, G., COTTA RAMUSINO, S., GALBIATI, B., VERCESI, P.L., ELTER, P., MARRONI, M., GHELARDONI, R. & POLINO, R., 1994. Guide Geologiche Regionali 10 Itinerari. Appennino Ligure-Emiliano, N.6., Società Geologica Italiana, 384p.

