

## Le contrôle de l'érosion dans les systèmes barrière-lagune: le champ dunaire de Capo Comino (Sardaigne nord-orientale, Italie)

### The erosion of the barrier system of Capo Comino (North-East Sardinia, Italy)

Ileana BALDUZZI<sup>1,2</sup>, Nicola CORRADI<sup>1</sup>, Ilda VAGGE<sup>2</sup> & Marco FERRARI<sup>1</sup>

**Abstract :** The study of the delicate balances of the coasts has a crescent interest in the scientific and administrative communities because of the role of the coastal systems in the economic development. Indeed, during the 70s the littoral zone underwent to the strong urban development and tourist industry. Now the main need is to find an equilibrium between the necessities of the protection of the coastal environment and the human needs (ICZM Protocols), following the target of the preservation of the beaches and the coastal systems.

The coast of Capo Comino, located in the north-eastern coast of Sardinia and partially included into a Zone of Community Interest ( SIC-ITB020012), is not influenced by human impact.

The analysis of aerial photos allowed the study of the evolution of the coastline, the dune field and its vegetation between 1954 and the 2006. The field monitoring of the dunes (2003-2011) was also made by transects, in order to evaluate the morpho-sedimentological and vegetation dynamic of this sector.

The data presented in this paper allow to understand that the erosion of the area is not strong and the regradation of the coastline is about 10-15 meters in the northern sector and 40 meters in the central one.

The migration of the dunes, instead, is very important, with the movement of huge volumes of sand. The number and areas of the blowouts has increased too.

Key-words: Dune field, Remote sensing, Morphosedimentology, Sardinia

**Résumé :** L'étude des équilibres délicats des systèmes littoraux connaît un intérêt croissant dans les communautés scientifiques et administratives pour l'importance que les systèmes côtiers ont dans le développement économique des régions littorales. En effet, la bande côtière a été très intéressée par le développement urbanistique et l'industrie touristique qui doivent maintenant trouver un point d'équilibre (ICZM Protocols) avec les nécessités de protection de ce milieu fragile, tant pour le patrimoine naturel que pour la conservation des plages face à l'érosion.

Le littoral de Capo Comino, situé sur la côte nord-orientale de la Sardaigne et partiellement inséré dans une Zone d'Intérêt Communautaire (SIC-ITB020012), est encore peu soumis aux pressions anthropiques.

L'analyse des photos aériennes a permis l'étude de l'évolution de la ligne de rivage, des champs dunaires et de la végétation entre 1954 et 2006. Le suivi du champ dunaire (2003-2011) a été effectué par des transects, de façon à pouvoir analyser l'évolution morpho-sédimentaire et végétale du secteur.

Les données présentées dans ce travail ont permis de relever que l'érosion du littoral est très réduite : le recul de la ligne de rivage a atteint 10-15 mètres dans le secteur septentrional et environ 40 mètres dans une petite portion du secteur central. On a surtout relevé une augmentation des zones de déflation et des *blowouts*, avec une migration importante des volumes de sable le long de la direction principale de transport et la formation de nombreuses zones d'érosion éolienne.

Mots-clés: Champ dunaire, Télédétection, Morpho-sédimentologie, Sardaigne

## INTRODUCTION

Les systèmes barrière-lagune représentent 13% environ des plages mondiales (BIRD & SCHWARTZ, 1985; DAVIES, 1964; KING, 1972; SHORT, 1999; PRANZINI, 2004; DAVIDSON-ARNOTT, 2010). Ils se retrouvent à différentes latitudes tant sur les côtes des océans que celles des mers fermées.

Les études disponibles dans la bibliographie présentent plusieurs modèles évolutifs et classifications morphologiques qui concernent la formation de ces systèmes; elles concernent principalement le recul des

<sup>1</sup> DISTAV - Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26, 16132 Genova, Italia

<sup>2</sup> DISAA - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano, 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.

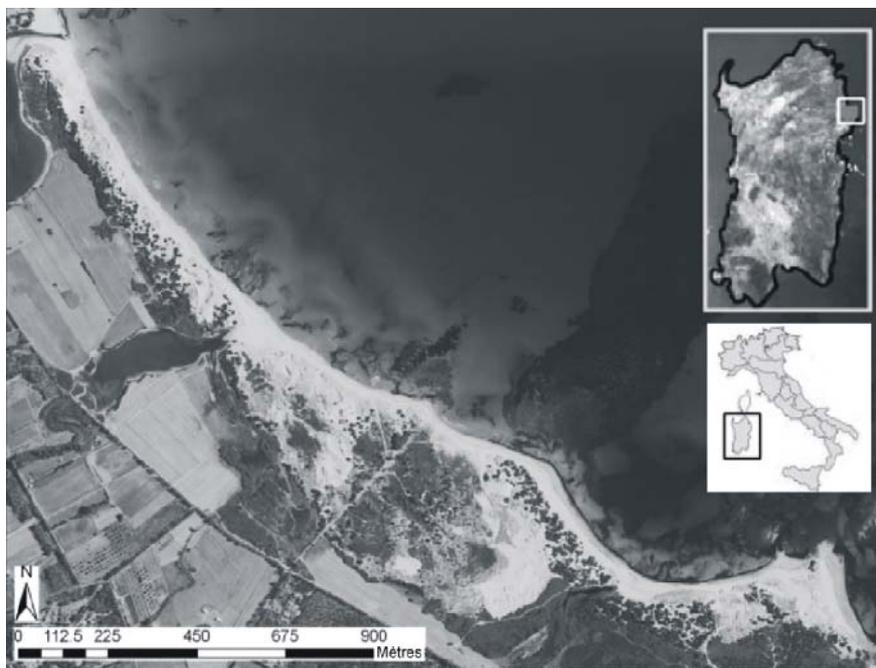
systèmes deltaïques et interdeltaïques côtiers (y compris les systèmes dunaires) à la suite du transfert vers l'intérieur des terres des dépôts de transition pendant les phases transgressives flandriennes et holocènes.

En Italie, les études morpho-sédimentaires relatives à ces secteurs complexes de la côte sont plutôt limitées; des études récentes ont été finalisées dans un but environnemental, soit pour protéger le patrimoine naturel (zones de protection, parcs, SIC, sites RAMSAR, protocoles ICZM, etc.), soit pour l'activité économique (principalement tourisme et aquaculture). Dans ce dernier cas, plusieurs études de détail ont été effectuées même si elles nécessitent un approfondissement vu la complexité de cet environnement (SIMEONI, 2000; PRETI, 2009; PERINI *et al.*, 2011). Dans des zones différentes, surtout les "zones humides mineures", les données morpho-sédimentaires sont plutôt manquantes et elles sont parfois insérées dans les plans de sauvegarde des bassins hydrographiques où l'érosion a produit des dommages plutôt évidents ou elles sont intéressées par des interventions de régulation hydraulique.

Le travail présenté ici fait partie d'une ample étude interdisciplinaire pour l'analyse du champ dunaire complexe du Capo Comino (Sardaigne nord-orientale). Cette étude a commencé en 2004 pour se terminer en 2011 et avait pour but la récolte et l'analyse de données sédimentologiques, géomorphologiques et de la végétation pour une compréhension correcte des données récoltées et de la dynamique côtière ainsi que la mise au point d'une nouvelle procédure de suivi des dunes dans un environnement presque complètement naturel (BALDUZZI, 2012). Une expérimentation préliminaire et similaire a été précédemment effectuée sur le littoral de Platamona (nord de la Sardaigne) mais ce secteur présente des caractéristiques écologiques, morphologiques et dynamiques plus simples, une anthropisation plus importante et une biodiversité spécifique et biocénotiques plus réduite (BALDUZZI *et al.*, 2006 (a); BALDUZZI *et al.*, 2006 (b); VAGGE *et al.*, 2007).

### PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

Le champ dunaire du Capo Comino est localisé dans le secteur nord-oriental de la Sardaigne, entre le village de S'Ena sa' Chitta et Isle Ruja. Il s'étend sur environ 3.5 kilomètres de longueur et 500 mètres de largeur dans sa partie centrale (Fig. 1).



**Figure 1:** Localisation de la zone d'étude.

Le champ dunaire est caractérisé par un environnement naturel et l'action anthropique y est presque négligeable. Des structures touristiques fixes sur la plage ne sont pas présentes, à l'exception des maisons du village de S'Ena sa Chitta dans le secteur le plus septentrional.

Ce secteur est aussi caractérisé par la présence de zones humides salées et d'une petite rivière qui déterminent la formation d'étangs salés avec une biodiversité importante.

Du point de vue géologique, le Capo Comino est inséré dans un secteur caractérisé par le contact entre des roches métamorphiques (para-gneiss et schistes), granitiques et quartzitiques. Une faille majeure est aussi présente avec une orientation NE-SW; elle fait partie d'un système qui caractérise tout le secteur oriental de la Sardaigne. Le Capo Comino présente une forte sédimentation holocène qui a déterminé la formation du champ dunaire actuel.

Sur le plan climatique, cette région se caractérise par un climat de type méditerranéen *sensu stricto* avec une pluviosité annuelle comprise entre 400 et 500 mm. Le climat se définit par un été sec (de 2 à 3 mois/an), suivi par un automne caractérisé par des précipitations courtes et parfois violentes.

Le système agricole actuellement en place combine une agriculture horticole familiale et une agriculture peu intensive liée aux prairies.

Du point de vue de la végétation, le champ dunaire de Capo Comino est caractérisé par des espèces côtières typiquement méditerranéennes qui, en utilisant la méthode d'étude phytosociologique proposée par Braun-Blanquet en 1964, forment différentes communautés végétales. Parmi ces associations, il est possible d'énumérer des associations qui sont spécifiques aux différents secteurs du champ dunaire et aussi incluses dans les listes des espèces protégées. Par exemple, on peut rappeler l'association *Sileno corsicae-Elytrigetum junceae*, qui caractérise les dunes embryonnaires, l'association *Sileno corsicae-Ammophiletum arundinaceae* des dunes "blanches" et les dunes grises à *Crucianello-Helichrysetum microphylli* (ARRIGONI, 1996; BALDUZZI, 2012; BALDUZZI *et al.*, 2011).

## MATERIELS ET METHODE

L'analyse des photos aériennes (1954, 1977, 2006) et du Modèle Digital de Terrain (LIDAR 2008, Regione Sardegna) avec une résolution d'un mètre a permis l'étude de l'évolution de la ligne de rivage, du champ dunaire et de la végétation.

Les analyses climatiques et bioclimatiques couvrent la période 1977-2010 et les données proviennent de la station météorologique du Capo Bellavista (39°56'N 9°43'E, 156 mètres au-dessus du niveau de la mer).

Les conditions marines ont été étudiées en utilisant les données du Réseau National des Bouées (IDROMARE-ISPRA).

Les activités de terrain ont été conduites à partir de 2004 jusqu'en 2011; il a été possible de suivre l'évolution de la ligne de rivage à travers l'exécution de mesures au GPS différentiel et des transects morpho-sédimentologiques positionnés dans le champ dunaire et le long de la plage, en analysant aussi la végétation présente.

Dans ce travail, on mettra en évidence la corrélation des formes du champ dunaire avec les résultats obtenus de l'analyse des données des vents.

## ANALYSE DES DONNEES ET INTERPRETATIONS

L'étude géomorphologique de l'évolution d'un champ dunaire côtier prévoit l'analyse préventive et détaillée du régime des vents, des conditions météo-marines et de la distribution de la végétation (DAVIDSON-ARNOTT & LAW, 1990; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; HESP & THOM, 1990; HESP, 1991, 1999, 2000, 2002; MAUN, 2009).

La distribution des vents présente un pourcentage élevé des vents venants de W-NW et S, avec une distribution bimodale obtuse (Fig. 2a). Les vents les plus forts (34-41 noeuds) viennent seulement de N-NNE et WNW. Les vents qui viennent des secteurs marins (1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> quadrants, N-E-S) sont caractérisés par un niveau élevé d'humidité; parmi ces vents, le vent de NE (Grecale/Nordet) et le vent de SE (Sirocco) sont les plus importants. Les vents venant des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> quadrants sont partiellement bloqués par la présence du Monte Albo à l'est et du promontoire de Punta Artora au sud.

Le secteur principal de l'exposition marine (Fig. 2b) est compris entre 355°N et 120°N, avec un fetch géographique de 260 kilomètres environ (centré sur les côtes de la Région Lazio). Les tempêtes les plus importantes (intervalle 6-8 de l'échelle Beaufort) viennent principalement du NE (le vent de Grecale). Les fréquences principales sont SSE-ESE mais la houle de Scirocco est partiellement freinée et diffractée par le promontoire du Capo Comino (Punta Artora); par conséquent, la houle venant du secteur compris entre 120°-180°N n'arrive pas avec une forte intensité sur la plage.

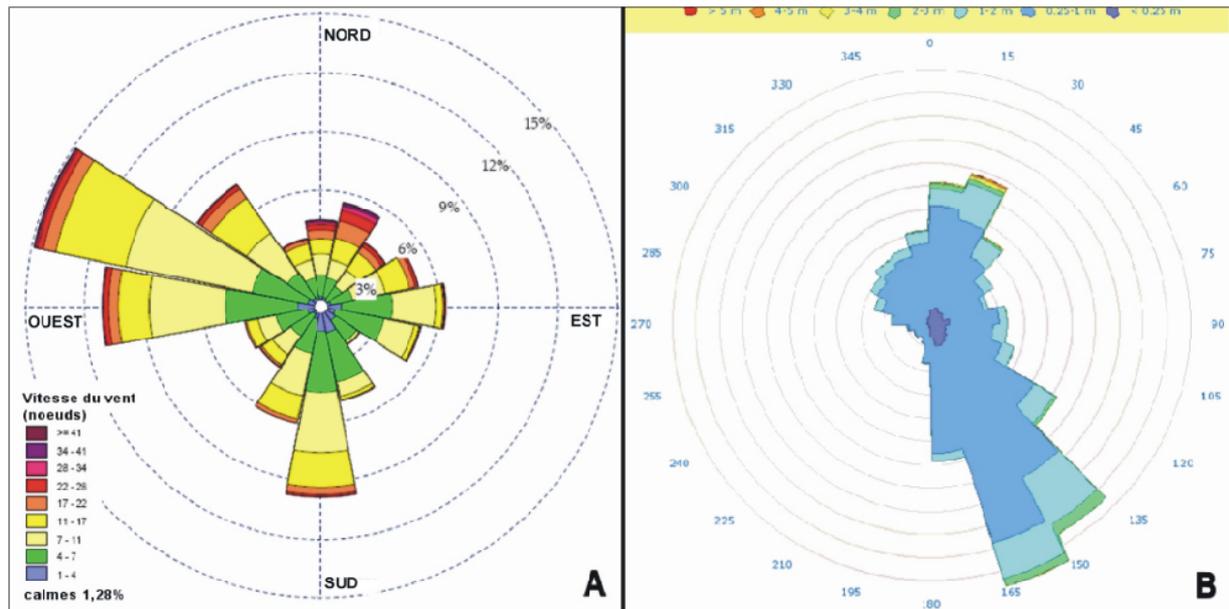


Figure 2 : Roses de distribution des vents (A) et (B) de l'exposition marine (IDROMARE-ISPRA mod.).

L'analyse multi-temporelle par télédétection au moyen de photographies aériennes de 1954, 1977 et 2006 (données de la Région Sardaigne) confrontée avec les observations de terrain nous a permis d'évaluer l'ampleur des changements du paysage survenus depuis la moitié des années 50 dans la région du Capo Comino. Il a été possible de reconnaître les formes géomorphologiques présentes dans le champ dunaire et de produire des cartes pour les différents vols aériens en corrélant le transport sédimentaire et les formes présentes dans le système (Fig. 3).

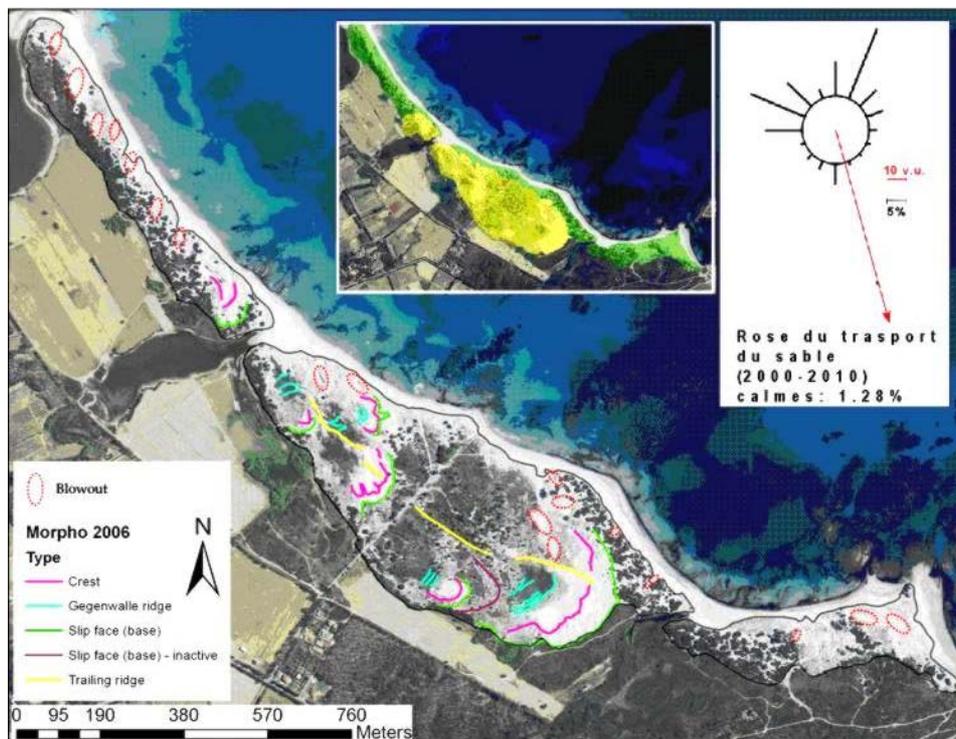


Figure 3 : Corrélation entre formes géomorphologiques et vents. Les cercles rouges signalent la présence d'un blowout dû à l'érosion éolienne. En haut, une fiche montre la distribution spatiale des deux complexes du champ dunaire, le complexe de foredune/blowout en vert, et le complexe transgressif en jaune.

La rose des vents en figure 3 indique une variabilité élevée dans la distribution des vents, qui dépend de la saison mais aussi des différentes heures de la journée. La distribution modale des vents influence le transport sédimentaire qui produit une direction générale du mouvement du sable mais aussi beaucoup de morphologies locales.

Du point de vue géomorphologique, le champ dunaire du Capo Comino peut être classifié comme un complexe transgressif et il est composé par deux différentes portions (Fig. 3). La première est présente dans la bande la plus proche de la plage et est caractérisée par un complexe d'avant-dunes/caoudeyres (*foredune/blowout*) (secteur vert dans la figure 3). L'extension du champ dunaire vers l'intérieur des terres est presque constante, spécialement dans les secteurs septentrional et méridional. La limite du secteur central est caractérisée par une superposition complexe de morphologies paraboliques et de caoudeyres. Le secteur sud-oriental du complexe des avant-dunes est caractérisé par une ample couverture arborée qui est interrompue par des sentiers d'origine anthropique. Il est souvent caractérisé par un escarpement du à l'érosion marine et l'orientation des crêtes est largement influencée par l'action des vents marins.

Le deuxième complexe, qui a une ampleur maximum de 450 mètres, est défini par un système transgressif (secteur jaune sur la figure 3). Il est caractérisé par des dunes paraboliques qui se déplacent du NW vers le SE avec différents degrés de développement.

Le champ dunaire est aussi caractérisé par la présence d'un nombre significatif de caoudeyres (*blowouts*) (forme d'érosion éolienne). Certains *blowouts*, actuellement reconnaissables, étaient présents dans les photos aériennes de 1954 et il est possible de comprendre leur évolution et l'augmentation de leur superficie érosive.

Dans le secteur septentrional, les *blowouts* sont principalement orientés NE-SW suivant en cela le vecteur de transport des vents marins. L'orientation des axes dans le secteur central est principalement de NW vers SE, en suivant la direction du transport dominant (les vents du 4ème quadrant). En effet, les *blowouts* dans le secteur sud-central présentent des orientations très différentes qui semblent assez casuelles si on les compare avec le transport éolien principal. Ces formes sont plutôt influencées par la topographie locale et leur développement est strictement lié à des vents particuliers, différents du vent principal.

Certains *blowouts* sont plutôt influencés par l'action humaine (sentiers, routes non goudronnées, etc.)

Grâce à l'analyse diachronique, il a été possible de définir la vitesse de la migration des dunes dans la moyenne et longue période (Fig. 4). La migration du secteur central du complexe transgressif du NW vers le SE est d'environ 110 mètres entre 1954 et 1977 et d'environ 84 mètres parmi 1977 et 2006. Donc, dans le secteur central la vitesse de la migration est d'environ 4.7 m/an et 2.9 m/an pour chaque période d'observation. Les valeurs sont comparables avec celles présentes dans la littérature internationale (PYE, 1982; STORY, 1982; ANTHONSEN & JENSEN, 1996; DAVID *et al.* 1999; WOLFE & LEMMEN, 1999; BAILEY & BRISTOW, 2004; MARIN *et al.*, 2005; HUGENHOLTZ & WOLFE 2005, 2006).

A l'exception de la migration naturelle des formes géomorphologiques, on n'observe pas une grande variation de la forme du champ dunaire dans le premier secteur en front de mer; c'est probablement dû à la stabilité de la ligne de rivage.

Certains éléments géomorphologiques présents en 1954 sont actuellement inactifs (In), comme pour la dune parabolique (B) présente dans le secteur central. En 1977, elle a été incorporée dans la superficie de glissement (*slipface*) de la dune suivante plus récente. En plus, une nouvelle dune, orientée W-E, s'est formée.

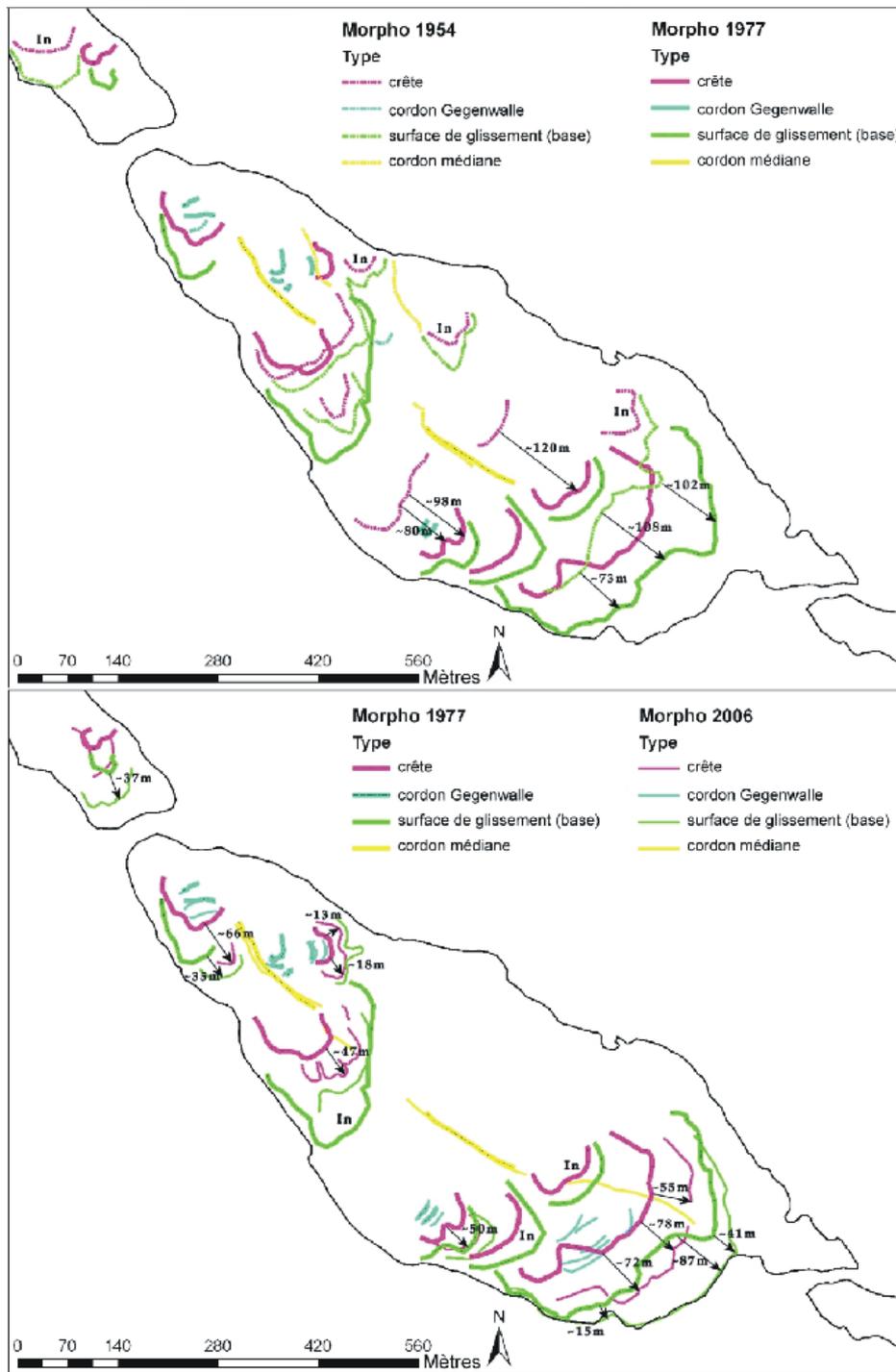
Durant la même période (1954-1977), dans le secteur septentrional, une nouvelle dune parabolique s'est formée - probablement à partir d'un *blowout* - et une nouvelle dune devenait inactive (C). La migration de la dune (D) dans le secteur sud-central était d'environ 90 mètres mais il n'est pas assez évident de savoir si la dune a évolué dans la première ou la deuxième dune parabolique.

La migration dans la période 1954-1977 est donc d'environ 3.9 à 5.2 m/an dans le secteur central et de 3.7 à 4.7 m/an pour le complexe transverse/parabolique.

L'évolution du champ dunaire entre 1977 et 2006 est montrée sur la figure 5. La direction de la migration n'a pas changé par rapport à la précédente, avec des valeurs moyennes de 1.3 m/an dans le secteur septentrional, de 1.6 à 2.2 m/an dans le secteur centre-septentrional et de 1.7 à 3 m/an dans le secteur centre-méridional. Les formes qui en résultent sont presque identiques à celles du 1977, et le seul changement est le mouvement le long des vecteurs de transport des vents.

Dans le secteur méridional, un nouveau *trailing ridge* (A) (il s'agit d'une morphologie de dépôt formée par la végétation le long des marges latérales des dunes actives de type transversale, barcane ou parabolique) s'est formé et sépare deux amples dunes paraboliques. Elles sont orientées NNW-SSE et il est très facile de les reconnaître sur la photo de 2006 et la crête qui les sépare (*Gegenwalle ridge* ou *counter*

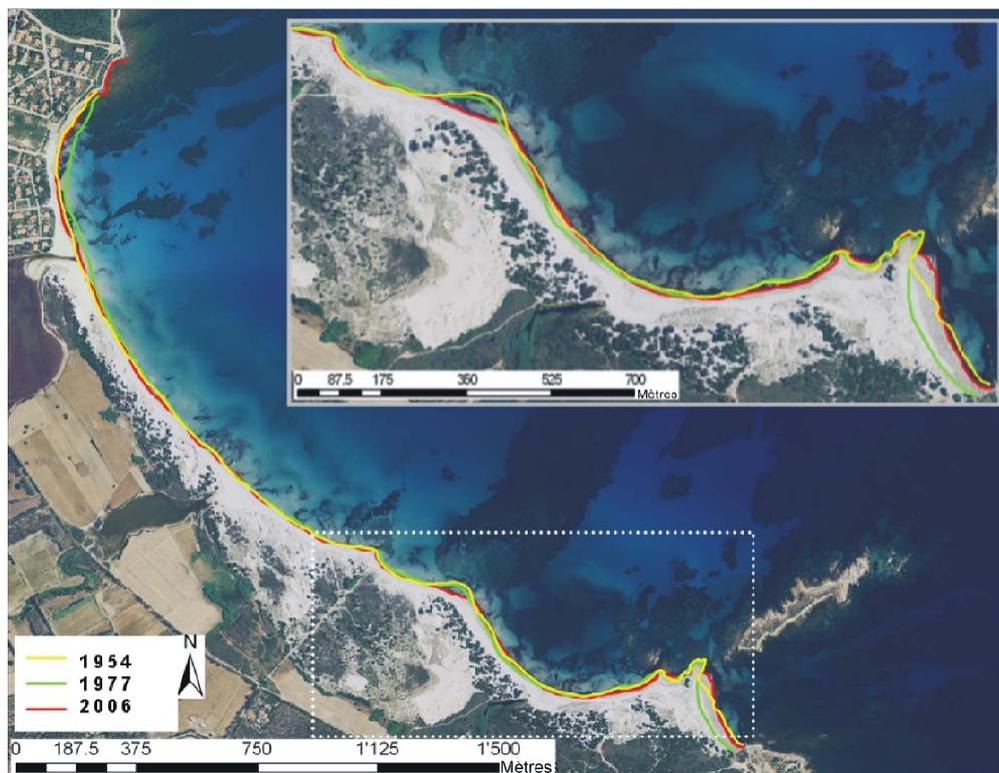
*ridge*; crête morphologique qui se forme lorsque les plantes pionnières colonisent le bord sous le vent d'un bassin actif de déflation. Cette morphologie a été décrite la première fois par PAUL K., 1944).



**Figure 4 :** Migration des formes dunaires entre 1954 et 1977 (en haut) et entre 1977 et 2006 (en bas).

Dans le secteur centre-septentrional, la grande superficie de glissement (*slipface*) présente en 1977 apparait inactive en 2006 et une nouvelle *slipface* s'est formée dans le système de dunes paraboliques digitées (B). L'analyse sur une longue période (1954-2006) est résumée sur les cartes en figure 5. Elle permet d'obtenir des valeurs de migration moyenne d'environ 3.75 - 1.8 m/an dans le secteur centre-méridional et de 2.5 - 0.9 m/an dans le secteur centre-septentrional. En général, la vitesse de migration du champ dunaire dans le complexe transgressif a diminué de 1954 (4.7 m/an) à 2006 (2.9 m/an) ce qui peut être expliqué par une diminution des volumes disponibles de sable et par la stabilisation de formes dunaires par la végétation.

L'intégration des données obtenues par télédétection et par les travaux sur le terrain (2009-2010-2011) montre que, dans cette courte période, la ligne de rivage a été presque stable mais, dans la longue période, il a été possible de repérer deux points d'érosion, le premier dans le secteur central et le deuxième dans le secteur septentrional (Fig. 5). La plage du Capo Comino est caractérisée par des sables moyens à fins qui sont souvent mélangés et dans lesquels la contribution du transport éolien sur la plage émergée est bien distincte. Elle présente une dérive très évidente qui va du Nord vers le Sud. L'évolution de la côte est influencée par la présence des promontoires et ce processus peut être expliqué par la réfraction de la houle. En plus, le contrôle de la tectonique se reflète aussi sur la forme de la plage et des affleurements rocheux qui sont présent dans les secteurs septentrional, central et méridional. Ils influencent fortement la ligne de rivage et il est possible de reconnaître trois secteurs: la plage septentrionale est la plus longue (2.5 km environ) et assez linéaire, la centrale est d'environ 900 mètres avec un petite baie, et la méridionale (d'Iskra Ruja à la fin de la plage) est longue environ 300 mètres.



**Figure 5 :** Evolution de la ligne de rivage entre 1954 et 2006. On signale la présence d'un point d'érosion de -40 mètres dans le secteur central.

Pour ce qui concerne l'évolution de la plage, l'analyse des photos aériennes entre 1954 et 2006 et les études menées entre 2009 et 2011 montrent que la ligne de rivage présente une relative stabilité. Seuls les zones septentrionale et centrale (-40 mètres) sont soumises à l'érosion marine avec une situation assez critique près du village de S'Ena sà Chitta (-10/15 mètres).

Le secteur méridional est partiellement protégé par l'Iskra Ruja et il est très fréquent d'y trouver des dépôts de *Posidonia oceanica* qui vont augmenter considérablement l'ampleur de la plage (jusqu'à plus de 50 mètres).

Une matre de posidonies est aussi déposée le long des plages centrale et septentrionale mais les volumes y sont plus réduits. Ces dépôts sont prélevés de la plage chaque printemps pour les opérations saisonnières de nettoyage mais l'importance de la banquette de posidonies pour la protection de la plage est bien connue au niveau international (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006).

## CONCLUSION

En conclusion, on peut affirmer que plusieurs formes dunaires sont présentes dans le champ éolien de Capo Comino. En général, la migration des dunes présente une direction très évidente du NW vers le SE le long du transport principal du vent mais il est aussi possible d'identifier beaucoup de formes qui se développent le long de différents vecteurs de transport. En réalité, le champ dunaire est assez ouvert aux vents de tous les quatre quadrants, comme démontré par la présence de nombreuses formes érosives (*blowouts*). Par exemple, les brises présentent une période d'action limitée mais une fréquence continue dans le temps et elles sont capables d'influencer la formation de morphologies locales, parfois perpendiculaires à la direction du transport principal.

Pour ce qui concerne l'érosion de ce secteur, on a trouvé une érosion diffuse dans les premiers secteurs des avant-dunes et, même si la ligne de rivage apparaît presque stable dans la courte et longue période, il y a plusieurs facteurs, tant naturels qu'anthropiques, qui favorisent ou augmentent le processus érosif: les tempêtes marines, les alluvions, l'enlèvement de la banquette de *Posidonia oceanica* et le lissage du profil naturel de la plage pendant les opérations de nettoyage de la plage.

Cette recherche montre que les formes dunaires et la distribution de la végétation présente sont fortement liées à l'évolution de la zone d'étude. La qualité de l'environnement est assez bonne mais ce secteur mérite l'institution d'un SIC spécifique, surtout pour la particularité du complexe transgressif.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont au Professeur Patrick Hesp pour avoir participé à la campagne morpho-sédimentologique de 2011, pour son amitié et ses conseils très utiles, au Professeur Giuliano Fierro et au Professeur André Ozer. Un remerciement aussi à notre technicien de laboratoire, Alberto Demergasso de l'Université de Gênes, pour l'aide à la réalisation de ce travail.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANTHONSEN K.C. L., JENSEN J., 1996. Evolution of a dune from crescentic to parabolic form in response to short-term climatic changes: Rabjerg Mile, Skagen Odde, Denmark. *Geomorphology*, 17: 63-78.
- ARRIGONI, P.V., 1996. La vegetazione del complesso dunale di Capo Comino (Sardegna Nord-Orientale). *Parlatorea* 1: 35-45.
- BAILEY S & BRISTOW C., 2004. Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey, north Wales. *Geomorphology*, 59: 165-175.
- BALDUZZI I., 2012. Integrated assessment of geomorphological and vegetation dynamics in a complex dunefield. Capo Comino case study (NE Sardinia, Italy). PhD thesis, University of Milan, 279 p.
- BALDUZZI, I., BOZZANO, A., CORRADI, N., MARIOTTI, M.L. & VAGGE, I., 2006 (a). The evolution of the dune fields of Platamona-Marritza (northern Sardinia): application of remote-sensing methods. *Chemistry and Ecology*, 22 (supplement 1): 371-381.
- BALDUZZI, I., CORRADI, N., FERRARI, M., MARIOTTI, M.L. & VAGGE, I., 2006 (b). L'evoluzione dei campi dunari di Platamona-Marritza (Sardegna settentrionale): aspetti morfo-sedimentologici e vegetazionali dell'area di Marina di Sorso. *Studi Costieri*, 11: 71-92.
- BALDUZZI, I., VAGGE, I., CORRADI, N. & FERRARI, M., 2011 An integrated monitoring procedure of coastal dune fields. The example of Capo Comino area (NE Sardinia, Italy), Atti del 106° Congresso della Società Botanica Italiana, Genova 21-24 Settembre 2011, *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova*, 73: 33.
- BIRD, E.C. & SCHWARTZ, M.L., 1985. The World's Coastline. VNR-Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1071 p., ISBN 0-442-21116-3.
- BOUDOURESQUE, C.F., BERNARD, G., BONHOMME, P., CHARBONNEL, E., DIVIACCO, G., MEINESZ, A., PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., RUITTON, S. & TUNESI, L., (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RaMoGe publication, France: 200 p.
- BRAUN-BLANQUET J., 1964. Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde. (3. Auflage). Springer Verlag, Wien, 865 p.
- DAVIDSON-ARNOTT, R., 2010. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Cambridge University Press, Cambridge, 442 p., ISBN 978-0-521-69671-5.
- DAVID P.P., WOLFE S.A., HUNTLEY D.J. & LEMMEN D.S., 1999. Activity cycle of parabolic dunes based on morphology and chronology from Seward sand hills, Saskatchewan. *Geological Society of Canada Bulletin*, 534: 223-238.

- DAVIDSON-ARNOTT, R. & LAW M.N., 1990. Seasonal patterns and controls on sediment supply to coastal foredunes, Long Point, Lake Erie. In: Nordstrom K.F., Psuty N.P., Carter R.W.G (eds.) Coastal dunes: Form and process. J. Wiley and Sons, 177-220.
- DAVIES, J.L., 1964. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschr. Geomorph.* N.F. Bd. 8, Sonderheft, 127-142.
- HESP, P.A., 1991. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *J. Arid Environments*, 21: 165-191.
- HESP, P.A., 1999. The beach backshore and beyond. In A.D. Short (ed.) Handbook of Beach and Nearshore Morphodynamics. Sydney, John Wiley and Sons, 145-169.
- HESP, P.A., 2000. Coastal Sand Dunes. Form and Function. Coastal Dune Vegetation Network Technical Bulletin, 4, 28 p.
- HESP, P.A., 2002. Foredunes and Blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245-268.
- HESP, P.A. & THOM, B.G., 1990. Geomorphology and evolution of transgressive dunefields. In: Nordstrom, K., N. Psuty and W. Carter (Editors). Coastal Dunes: Processes and Morphology, J. Wiley and Sons, 253-288.
- HUGENHOLTZ C. & WOLFE S., 2005. Biogeomorphic model of dunefield activation and stabilization on the northern Great Plains. *Geomorphology*, 70: 53-70.
- HUGENHOLTZ C. & WOLFE S., 2006. Morphodynamics and climate controls of two aeolian blowouts on the northern Great Plains, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(May): 1540-1588.
- IDROMARE – ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. <http://www.idromare.it/index.php>
- KING, C.A.M., 1972. Beaches and Coasts. Arnold, Londra, 570 p.
- MARIN, L., FORMAN, S.L., VALDEZ, A. & BUNCH F., 2005. 20th Century dune movements Great Sand Dunes National Park and Preserve, Colorado and relation to drought variability. *Geomorphology*, 70: 163-183.
- MAUN M.A. (2009) – The biology of Coastal Sand Dunes. Oxford University Press, 265 p.
- PAUL K., 1944. Morphologie und Vegetation der Kurischen Nehrung. *Acta Nova Leopoldina Carol*, NF13: 217-378.
- PERINI, L., CALABRESE, L., DESERTI, M., VALENTINI, A., CIAVOLA, P. & ALMAROLI, C., 2011. Le mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia Romagna 1946-2010. I quaderni di Arpa. 2011 Arpa Emilia Romagna, 143 p., ISBN 88-87854-27
- PRANZINI E., 2004. La forma delle coste. Zanichelli, Bologna, 245 p., ISBN 88-08-17960-5
- PRETI, M., 2009. Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione. I Quaderni di Arpa. Arpa Emilia Romagna, Bologna, 270 p, ISBN 88-87854-21-1
- PYE K., 1982. Morphological development of coastal dunes in a humid tropical environment, Cape Bedford and Cape Flattery, North Queensland. *Geografiska Annaler*, 64(3/4): 213-227.
- SIMEONI, U., AA.VV., 2000. La Sacca di Goro. *Studi Costieri*, 2, 242 p. ISSN 1129-8588.
- SHORT, A.D., 1999. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. John Wiley & Sons, Ltd, UK, 380p. ISBN0-471-96570-7.
- STORY R., 1982. Notes on parabolic dunes, winds and vegetation in Northern Australia. *CSIRO Australian Division of Water and Land Resources*, 43: 1-34.
- VAGGE, I., CORRADI, N., FERRARI, M., BALDUZZI, I. & MARIOTTI, L.M., 2007. Aspetti vegetazionali e morfosedimentologici dei campi dunari di Platamona-Marritza con particolare riguardo all'area di Marina di Sorso (Sardegna settentrionale). *Fitosociologia*, 44 (1): 33-48.
- WOLFE, S.A., & LEMMEN, D.D., 1999. Monitoring of dune activity in the Great Sand Hill region, Saskatchewan, in Lemmen, D.S., and Vance, R.W., eds., Holocene climatic and environmental change in the Palliser Triangle: A geoscientific context for evaluating the impacts of climate change on the southern Canadian prairies: *Geological Survey of Canada Bulletin* 534: 199-210

