

## Apporto sedimentario dalla spiaggia alla duna nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano e ai Cancelli (Lazio centro-meridionale)

Piero Bellotti, Michele Di Filippo, Silvio Evangelista,  
Giovanni Battista La Monica, Valerio Minorenti

Dipartimento di Scienze della Terra, Università "La Sapienza", P.le A. Moro, 5 - 00185 Roma.

### Riassunto

Le dinamiche eoliche sono state studiate in due aree contigue gestite secondo differenti criteri (Tenuta Presidenziale di Castelporziano e Cancelli Comunali di Castelporziano). La ricerca ha valutato i tassi di trasporto eolico in funzione dei venti regionali basandosi sull'analisi delle variazioni granulometriche dello strato più superficiale del deposito e ha esaminato le variazioni topografiche dei profili. Il confronto tra i due siti ha permesso, inoltre, di valutare l'influenza dell'impatto antropico sulle dinamiche eoliche. Alla Tenuta il fattore principale che ha impedito un efficace trasporto del sedimento sembra essere stato il grado di copertura vegetazionale. Il *saucer blowout* analizzato è stato caratterizzato da un andamento marcatamente stagionale, con modesti accumuli durante l'estate e ingenti quantitativi di sabbia erosa durante l'inverno. Il rapporto tra il sedimento accumulato ed eroso ( $-1.762 \text{ m}^3/\text{m}$  su base annuale) appare indicare una migrazione del *blowout* lungo la direzione prevalente del vento. Per i Cancelli i fattori decisivi appaiono essere quelli correlati con le attività antropiche (livello del flutto montante durante le principali mareggiate, ripida pendenza del lato sopravvento della duna, versamento di elementi grossolani provenienti dai lavori di ristrutturazione del chiosco limitrofo alla spiaggia). I risultati ottenuti evidenziano come sia necessario, al fine di raffinare i modelli teorici di valutazione del trasporto eolico, ragionare sull'insieme delle classi e non solo sulla dimensione media. Ai Cancelli è necessario salvaguardare il più possibile la naturalità dell'area durante i mesi invernali/primaverili in cui i cordoni dunari possono accumulare in maniera efficace il sedimento. La presenza su larga scala di *blowouts* e l'assenza di depositi significativi nel secondo profilo investigato alla Tenuta pongono l'attenzione sul futuro di quest'intero ecosistema.

**Parole chiave:** trasporto eolico, variazioni sedimentologiche, variazioni topografiche, impatto antropico, *saucer blowout*.

### Abstract

*The aeolian dynamic is analyzed in two close areas managed with different criterions (Tenuta Presidenziale di Castelporziano e Cancelli Comunali di Castelporziano). The research estimated the aeolian transport rate due to regional winds and to sedimentological variations in the more superficial layer of the surface. Also, it investigated the topographic variation of dunes trough DGPS. Comparison of the two sites allowed us to evaluate the human impact on these processes. In Castelporziano the main factor that prevented an effective transport of sediment to the dune system, seems to be vegetation. The saucer blowout investigated in Castelporziano has been characterized by an accentuated seasonal trend: little deposit during summer and erosion during winter. The ratio between deposited and eroded sediment ( $-1.762 \text{ m}^3/\text{m}$  on annual base) seems to indicated a migration of the blowout along the prevailing direction of the wind. At Cancelli the decisive factors are connected to human activities (level of run-up during highest swells, slope of the stoss side of the established dune, artificial pebble concentration in the beach). These results show that in order to define theoretical model of sand transport from beach to dune it is necessary to study all sedimentological classes of the samples and not only the median. Also, at Cancelli it's essential to safeguard the natural characteristics of the area during winter/spring months, when the dune system can accumulate more sediment. At last, wide presence of blowouts in Castelporziano and absence of deposits in other areas call for attention on the future of this ecosystem.*

**Keywords:** aeolian transport, sedimentological variations, topographic variations, human impact, *saucer blowout*.



### Premessa

Nell'arco dell'ultimo ventennio i rapporti tra le comunità costiere e le dune si sono modificati profondamente. Molte delle aree che solamente alcuni decenni fa erano praticamente intatte hanno subito una profonda trasformazione a seguito dello sviluppo urbanistico e a favore di un impiego turistico-balneare. Questo utilizzo, pur se inizialmente realizzato in maniera contenuta e localizzata, ha visto una progressiva accelerazione che ha portato in molti casi ad una parziale degradazione o, nei casi estremi, alla completa distruzione di tratti di litorale assieme ai cordoni dunari associati.

Nel Lazio il tratto di costa compreso tra Ostia e Tor Vaianica, con particolare riferimento ai litorali contigui della Tenuta Presidenziale di Castelporziano e dei Cancelli Comunali (Fig. 1) rappresenta un efficace esempio sui differenti effetti che l'azione dell'uomo ha prodotto sui litorali. La Tenuta di Castelporziano è un territorio privilegiato che, passato nel tempo da proprietari religiosi a privati laici e poi nel 1872 al Governo Italiano, è stato sottratto ai pericoli di un'intensa frequentazione umana. Ciò ha permesso di preservare il migliore esempio di un ecosistema dunare di tipo mediterraneo, ancora intatto e in quasi perfetto equilibrio. Ben diversa è, invece, la condizione in cui versa la parte litoranea comunale, facente parte della Tenuta Presidenziale di Castelporziano fino al 1965 e poi ceduta dal Quirinale (Presidente Saragat) al Comune di Roma perché la destinasse al libero utilizzo dei cittadini. Mentre la prima duna (*incipient foredune*) è stata completamente cancellata dai concessionari degli stabilimenti allo scopo di migliorare la fruibilità della spiaggia e non ha nessuna possibilità di ricostituirsi a causa del calpestio e dell'azione dei mezzi meccanici, la duna esterna (*established foredune*) è fortemente provata dall'assenza di qualunque protezione e soggetta ad un elevato carico antropico. La prima interduna ospita parcheggi ed è attraversata da strade battute per il transito dei veicoli (Manni e Sleiter, 2003).

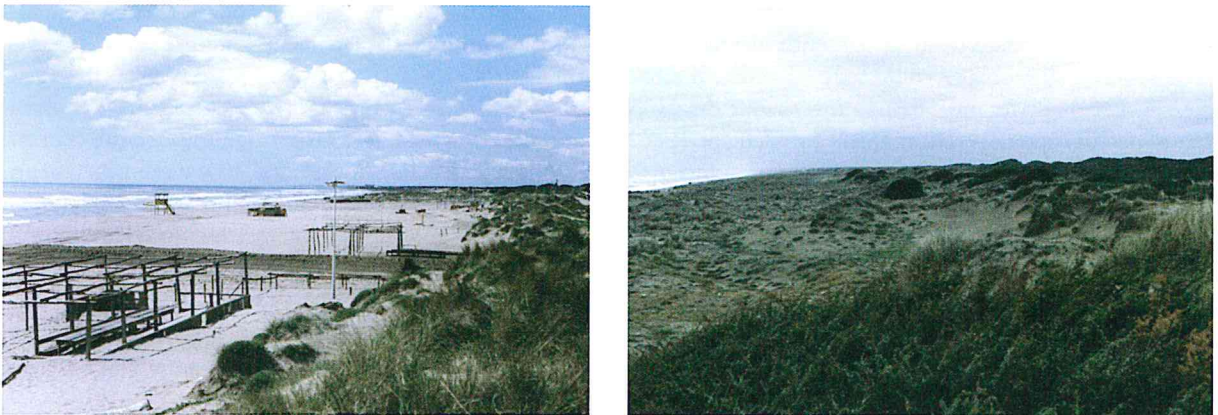


Figura 1 - Veduta generale dell'area di studio della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (a sinistra) e dei Cancelli di Castelporziano (a destra).

### Teorie di riferimento

Recenti ricerche hanno dimostrato come i processi di trasporto eolico all'interno del sistema spiaggia-duna siano controllati da una serie di fattori chiave: intensità, frequenza e direzione dei venti (Svasek e Terwindt, 1974; Jungerius et al., 1981; Hsu, 1986; Rasmussen, 1989; Wal e McManus, 1993; Arens et al., 1995), fetch della spiaggia (Nordstrom e Jackson, 1993; Sherman e Bauer, 1993; Ruz e Allard, 1994; Sherman e Lyons, 1994, Davidson-Arnott e Law, 1996; Jackson e Cooper, 1999; Bauer e Davidson-Arnott, 2002), copertura vegetazionale (Buckley, 1987; Arens, 1996), umettamento (Namikas e Sherman, 1995; Jackson e Nordstrom, 1998; Cornelis e Gabriels, 2003), presenza di ciottoli sulla spiaggia (Davidson-Arnott e White, 1997) e temperatura e umidità dell'aria (McKenna, 2004). Tuttavia, sebbene molti esperimenti siano stati effettuati per calibrare le varie equazioni del trasporto eolico, attualmente non esiste alcun dato che dimostri chiaramente quale sia l'equazione più valida.

In questo studio si è utilizzato il modello proposto da Hsu (1986). Questo modello è stato scelto basandosi sulle osservazioni svolte da Chapman (1990) che, determinando l'efficacia nella valutazione del tasso di trasporto di diverse equazioni, ha dimostrato come l'equazione proposta da Hsu sia quella con il più alto grado di determinazione,  $r^2$  (Tab. 1).

Tabella 1 - Coefficiente di determinazione valutato per le diverse espressioni analitiche. L'equazione di Hsu, modificata da Chapman (1990) presenta il più alto coefficiente di determinazione.

O'Brien e Rindlaub (1934)	0.80
Bagnold (1941)	0.63
Zingg (1953)	0.78
Horikawa e Shen (1960)	0.84
Kadib (1964)	0.65
Hsu (1986)	0.87

Il tasso di trasporto eolico secondo l'equazione di Hsu è pari a:

$$q = K \left[ \frac{u_*}{\sqrt{gD}} \right]^3 \quad (I)$$

in cui  $K$  è un coefficiente adimensionale funzione della granulometria del sedimento,  $Vu_*$  è la velocità di taglio in cm/s,  $g$  l'accelerazione di gravità e  $D$  la media (*median* in Hsu, 1986) del sedimento in millimetri.

La velocità di taglio è stata calcolata tramite due metodologie differenti: la prima ponendo a sistema l'equazione (II) definita per le due diverse velocità registrate a diversa quota dalla stazione anemometrica (50 e 100 cm):

$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{z_0 + z}{z_0} \right) \quad (II)$$

in cui  $Vk$  è la velocità del vento alla quota di acquisizione, è la velocità di taglio,  $z$  l'altezza da terra,  $Vu_*$  è il parametro di irregolarità della superficie e  $k$  è la costante di Karman pari a 0.4. A tal riguardo è necessario sottolineare che, per il calcolo della velocità di taglio, il Coastal Engineering Manual (U.S. Army, 2002) consiglia di collocare i due sensori per la velocità ad una distanza minima tra loro di 3 - 4 metri. Per questa ricerca è stata, invece, scelta una distanza di 50 centimetri.

La seconda metodologia ha utilizzato le relazioni sperimentali tra  $Vu_*$  e  $Vu_{2m}$ , velocità del vento a 2 metri di altezza, ottenute da Hsu (1977) a seguito dell'analisi in diversi ambienti. Ciò ha permesso di verificare la capacità predittiva della equazione (II) per il calcolo della velocità di taglio quando la distanza verticale tra i sensori per la velocità del vento fosse di 50 cm. La sua relazione per una spiaggia asciutta è:

$$u_* = 0.044 u_{2m} \quad (III)$$

Questo coefficiente numerico proposto da Hsu è però fortemente dipendente dalle condizioni sperimentali in cui è stato ricavato, in modo particolare dalla rugosità della superficie. Nell'ambito di questa ricerca il coefficiente 0.044 non è stato ritenuto idoneo a rappresentare le condizioni sperimentali dell'area considerata dato che la centralina anemometrica è stata collocata, nel sito d'indagine, non direttamente sulla spiaggia ma all'interno di un campo dunare (con dune d'altezza inferiore ai 60 cm) prospiciente alla duna esterna. Sulla base del lavoro di Hsu (1977) e delle condizioni anemometriche registrate dalla centralina, l'equazione (III) diviene:

$$u_* = 0.050 u_{2m} \quad (IV)$$

La velocità di taglio critica per il trasporto del sedimento è stata calcolata, invece, secondo il modello pro-



I tassi di trasporto, calcolati per ogni classe granulometrica determinata in laboratorio, sono stati successivamente filtrati in base alla direzione del vento e al fattore d'intrappolamento, ottenuto confrontando la percentuale di sedimento trattenuto in ogni classe granulometrica tra i campioni di spiaggia e di duna (U.S. Army, 2002).

### Area di studio

Il tratto di litorale in esame si sviluppa nel Comune di Roma, a sud della foce del Fiume Tevere, dal tratto meridionale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano fino al settimo cancello della spiaggia comunale, gestita dal XIII Municipio del Comune di Roma, denominata "Cancelli di Castelporziano". Questa porzione di litorale presenta un andamento rettilineo con un orientamento prevalente Sud Est – Nord Ovest, per un'estensione complessiva di circa 5 km. L'area di studio s'inserisce all'interno di una più ampia unità fisiografica, dominata dal delta del Tevere, la cui parte meridionale è limitata a NW dalla foce del Fiume Tevere e a SE da Capo d'Anzio. La scelta dell'area di studio è legata alla presenza di cordoni dunari che presentano una più vasta estensione ed un migliore stato di conservazione rispetto al resto dell'unità fisiografica, ove l'intensa antropizzazione ne ha determinato o un notevole degrado o il totale spianamento (Bellotti et al., 1987).

### Materiali e metodi

Per ciascuno dei due tratti di litorale sono stati individuati 2 profili, *P*, perpendicolari alla linea di riva, ed estesi dalla battigia al retroduna della duna esterna (*established foredune*). Il Profilo 1, coincidente con l'asse principale di un *saucer blowout* (secondo Cooper, 1958) e il 2, con una duna parzialmente vegetata, sono in corrispondenza della Tenuta di Castelporziano; i Profili 3 e 4 insistono nella zona dei Cancelli. La fase di raccolta dati è stata articolata in un campionamento mensile dall'ottobre 2003 all'ottobre 2004. Per ogni profilo sono stati scelti 6 siti, *C*, ove effettuare la campionatura delle sabbie (Fig. 2). Allo scopo di analizzare il trasporto indotto dal vento si è proceduto alla campionatura dello strato più superficiale (1-3 mm) del deposito su di una superficie di 30 cm di lato. Il campione è stato analizzato mediante setacciatura meccanica a secco (20 minuti) con setacci ad intervalli di maglia pari a  $1/4 \Phi$ . I parametri descrittivi dell'andamento delle distribuzioni granulometriche sono stati calcolati secondo Folk e Ward (1957).

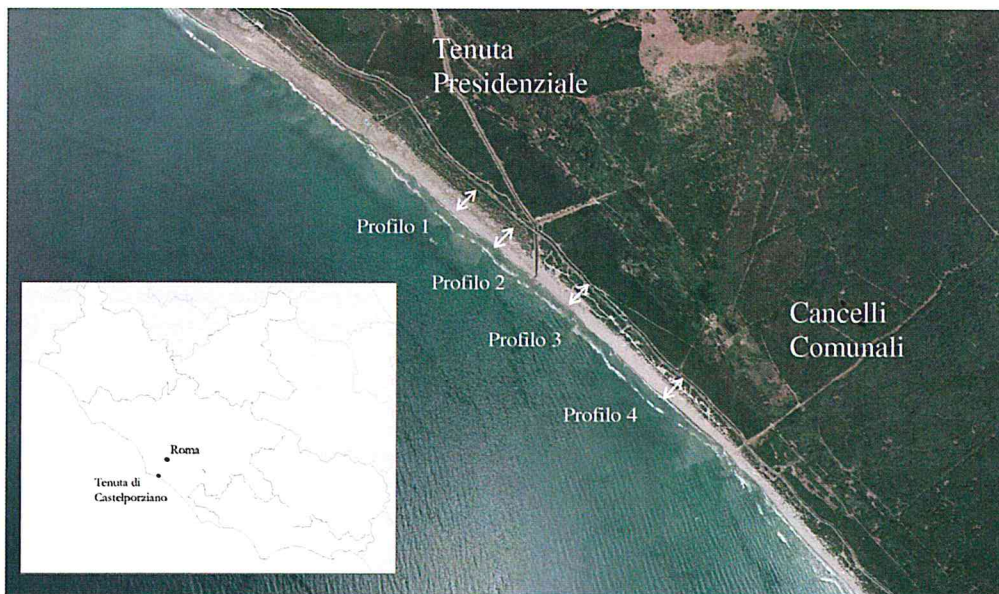
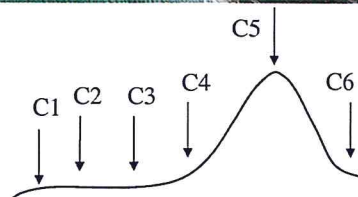


Figura 2 - In alto, l'area di studio con i 4 profili individuati. A destra, schema con l'ubicazione dei siti dove è stato effettuato il campionamento (C1: in prossimità della battigia; C2 e C3: spiaggia esterna e interna; C4: piede della duna; C5: cresta della duna; C6: retroduna).





Nel settore studiato è stata installata una centralina anemometrica Silimet SILIDATA AD2/AD22 a circa 20 metri dalla battigia in una zona priva di barriere che potessero alterare il flusso del vento. Questa centralina è dotata di una coppia di sensori per la registrazione della velocità e direzione del vento all'altezza di 50 cm e 100 cm dal suolo, dell'umidità, della temperatura e del grado d'umettamento della sabbia alla base di una colonna di 30 cm di sedimento. Tutti i sensori sono stati programmati per fornire dati orari ottenuti dalla media dei dati acquisiti dal sensore ogni 10 secondi. Per ogni mese è stata elaborata la distribuzione dei venti per frequenza, direzione e intensità, utilizzando i valori orari di velocità media registrati al sensore posto a 100 cm dal suolo. Queste elaborazioni non hanno tenuto conto delle calme (0 - 0.2 m/s) che sono state indicate separatamente.

Il trasporto eolico è stato stimato seguendo le indicazioni riportate nel Coastal Engineering Manual (U.S. Army, 2002) valutando i tassi di trasporto per ognuna delle classi granulometriche per ogni singola ora di registrazione (8736 ore totali).

L'analisi delle variazioni topografiche dei singoli profili, registrate tramite DGPS, ha permesso di valutare, a partire dalle variazioni areali lungo ciascun profilo e considerando una striscia trasversale al profilo, i volumi di sabbia effettivamente accumulati nel sistema dunare. Ha fornito, inoltre, un metodo per confrontare il valore del trasporto potenziale, calcolato tramite l'equazione di Hsu (1986) con quello misurato sul terreno. A tal scopo sono state valutate solamente le variazioni volumetriche comprese nell'intervallo tra la base della duna e il retroduna.

E' da osservare che la contiguità dei siti ha permesso di assumere che le variazioni nel regime dei venti nelle due aree fossero trascurabili. In questo modo si è potuto focalizzare l'attenzione sugli altri parametri che potessero influire sulle differenze registrate nei tassi di trasporto eolico.

## Risultati

### *Regime dei venti a Castelporziano*

La distribuzione dei venti (Fig. 3) è in accordo con le caratteristiche climatiche mediterranee dell'area di studio (Noli et al., 1996). Nei mesi invernali i venti regnanti, escludendo i venti da terra provenienti da NE, sono collocati essenzialmente nel I quadrante (nel mese di dicembre il vento proveniente da NNE ha una frequenza del 20% sulle ore totali d'osservazioni e un'intensità massima del 3° Beaufort), mentre da marzo a maggio i venti provenienti dal II e III quadrante amplificano la loro frequenza (per il mese di maggio i venti provenienti da W e WSW hanno una frequenza rispettivamente del 14 e 11% e un'intensità massima del 6° Beaufort). In estate le cellule anticicloniche dominano il Mediterraneo e si assiste ad un ulteriore spostamento in senso orario dei venti regnanti (per il mese di luglio i venti provenienti da W e WNW hanno una frequenza rispettivamente del 19 e 17% e un'intensità massima del 4° Beaufort) a cui si accompagna una diminuzione d'intensità.

Tale tendenza s'inverte in autunno (per il mese di ottobre il vento proveniente da ESE ha una frequenza del 18% e un'intensità massima del 4° Beaufort) quando i venti regnanti, compiendo una rotazione in senso antiorario, si riportano nel I quadrante.

In tutto il periodo di osservazione i venti dominanti provengono essenzialmente dal III quadrante (SW), e quindi sono circa perpendicolari alla linea di riva.

### *Il trasporto eolico*

Al fine di valutare quale delle due diverse metodologie di calcolo della velocità di taglio fosse la più idonea, inizialmente (primi sei mesi di rilevazione) sono stati calcolati i tassi di trasporto secondo la (I) utilizzando sia la velocità ottenuta secondo la (II) che la (IV). In entrambi i casi il dato granulometrico immesso nella relazione (I) è stato il valore medio della media (*median*) del sedimento prelevato per i quattro profili al sito C2.

Dalla Tabella 2 appare evidente il disaccordo tra i dati diversamente ottenuti, valutabile in un ordine di grandezza. Tale discordanza è stata riscontrata anche da Berg (1983) in una valutazione sul trasporto eolico condotta tramite l'utilizzo di traccianti fluorescenti. Nel mese d'ottobre, il motivo per cui il rapporto di un ordine di grandezza non è rispettato è dovuto all'insufficienza di dati disponibili (solo 229 dati orari); tale motivazione è stata evidenziata anche da Berg (1983).

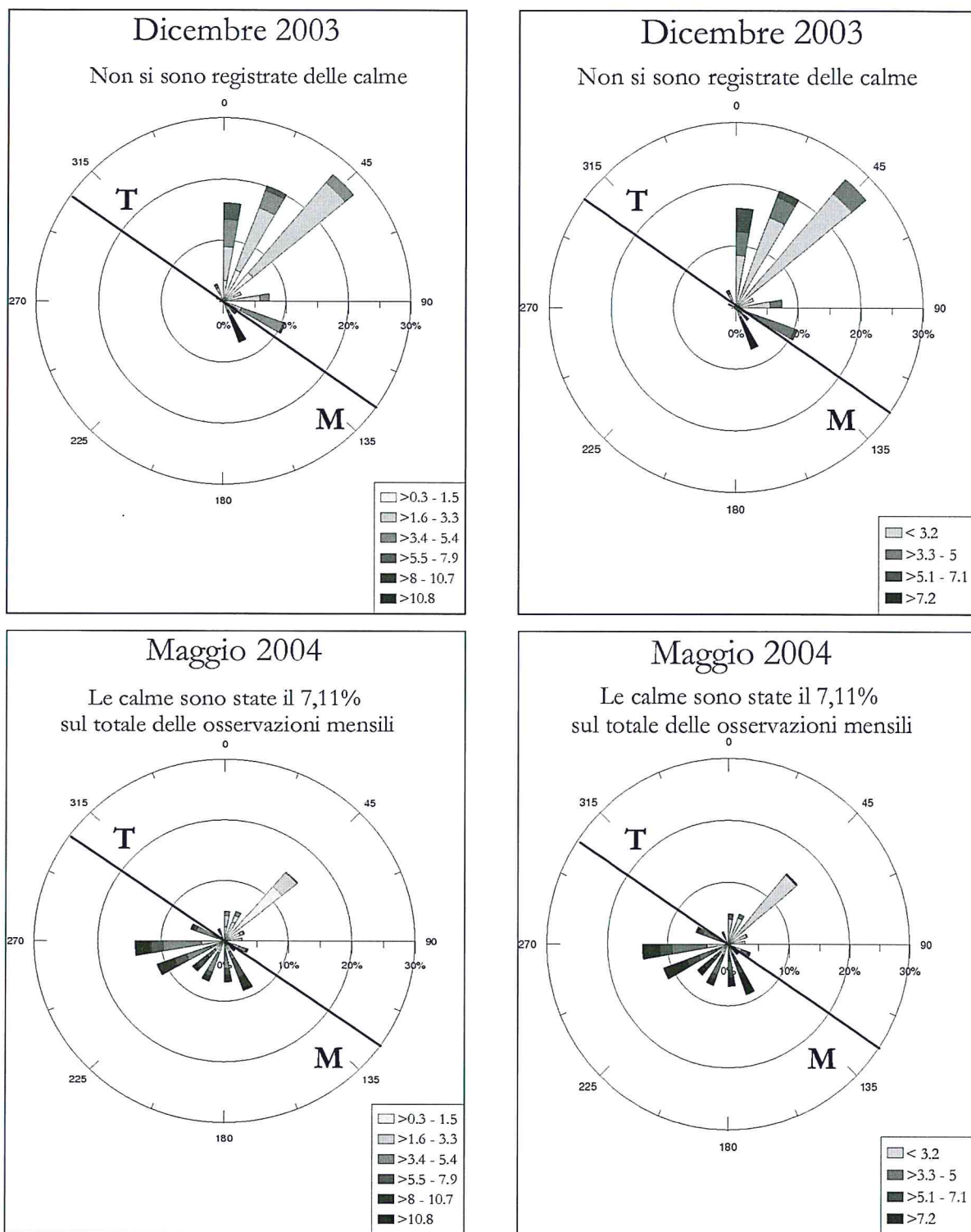


Figura 3 - Per ciascuna coppia di mesi (dicembre e maggio): a sinistra è riportata la rosa dei venti con gli intervalli di velocità (m/s) espressi secondo la scala di Beaufort; a destra la velocità di soglia (m/s) necessaria al trasporto delle diverse classi granulometriche (grigio chiaro: nessun trasporto; grigio tenue: sabbia molto fine e fine; grigio scuro: sabbia media; nero: sabbia grossolana e molto grossolana). La linea nera rappresenta la linea di riva (T: terra; M: mare).

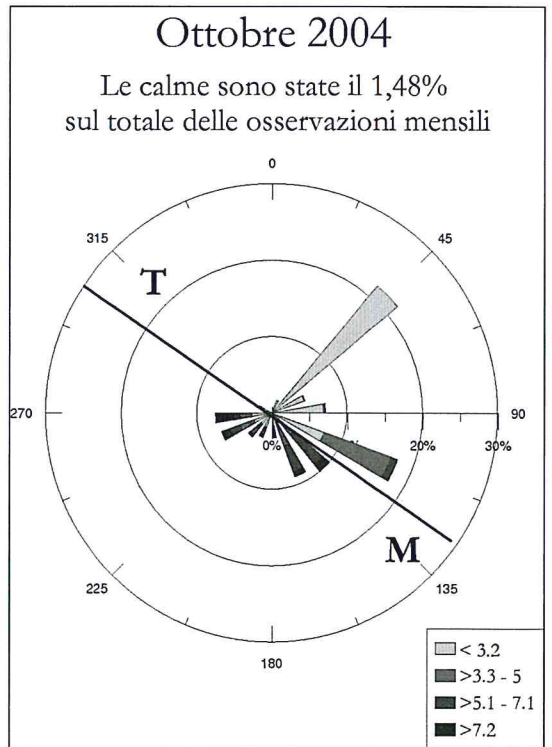
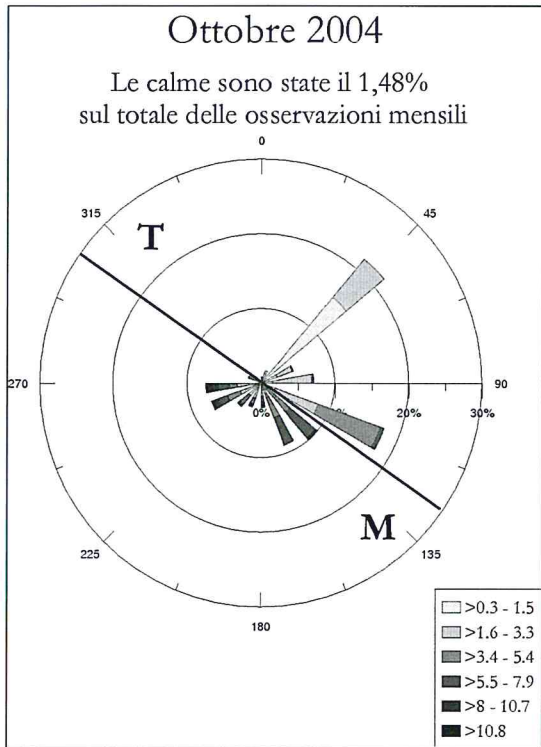
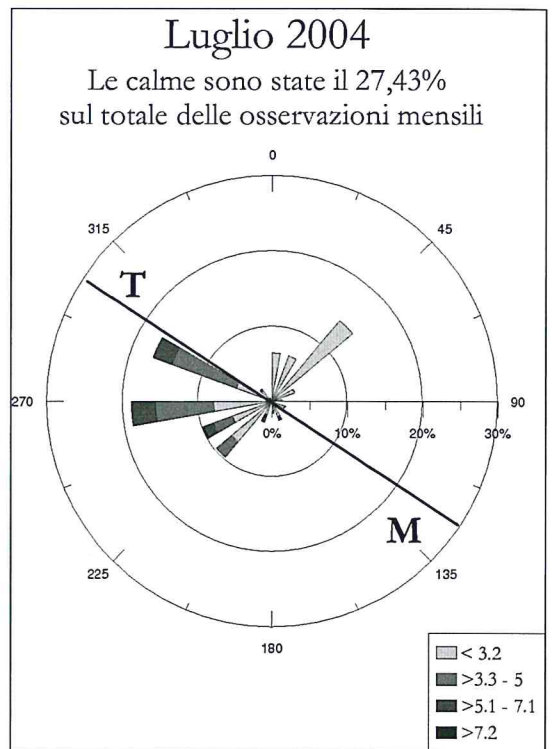
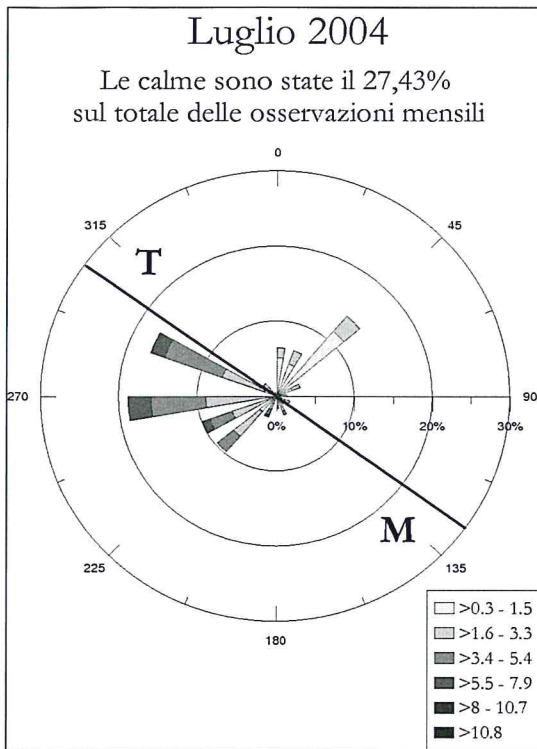


Figura 3 - Per ciascuna coppia di mesi (luglio e ottobre): a sinistra è riportata la rosa dei venti con gli intervalli di velocità (m/s) espressi secondo la scala di Beaufort; a destra la velocità di soglia (m/s) necessaria al trasporto delle diverse classi granulometriche (grigio chiaro: nessun trasporto; grigio tenue: sabbia molto fine e fine; grigio scuro: sabbia media; nero: sabbia grossolana e molto grossolana). La linea nera rappresenta la linea di riva (T: terra; M: mare).



Tabella 2 - Valori del trasporto potenziale dedotti tramite le due differenti metodologie per il calcolo della velocità di taglio.

	I metodologia (eq. II)	II metodologia (eq. IV)
Ottobre 2003	107.61 m <sup>3</sup> /m	5 m <sup>3</sup> /m
Novembre 2003	15.15 m <sup>3</sup> /m	1.45 m <sup>3</sup> /m
Dicembre 2003	48.04 m <sup>3</sup> /m	4.9 m <sup>3</sup> /m
Gennaio 2004	75.6 m <sup>3</sup> /m	5.38 m <sup>3</sup> /m
Febbraio 2004	124.47 m <sup>3</sup> /m	9.44 m <sup>3</sup> /m
Marzo 2004	56.84 m <sup>3</sup> /m	4.24 m <sup>3</sup> /m

Tabella 3 - Volumi di sabbia potenzialmente trasportati dalla spiaggia alla duna nei mesi osservati e per ogni profilo considerato (i valori sono espressi in m<sup>3</sup>/m di spiaggia).

	Profilo 1	Profilo 2	Profilo 3	Profilo 4	Totale
Ottobre 2003	0.5	0.88	1.74	0.26	3.38
Novembre 2003	0.01	0.005	0.14	0.13	0.285
Dicembre 2003	0.08	0.039	0.95	0.56	1.629
Gennaio 2004	2.9	0.29	0.82	2.7	6.71
Febbraio 2004	2.15	2.56	5.52	3.04	13.27
Marzo 2004	2.26	0.39	1.08	1.36	5.09
Aprile 2004	1	0.07	1.32	0.82	3.21
Maggio 2004	4.33	0.97	3.35	0.02	8.67
Giugno 2004	0.02	0.32	0.08	0.07	0.49
Luglio 2004	0.03	0.16	0.15	0.03	0.37
Agosto 2004	0.15	0.13	0.55	0.05	0.88
Settembre 2004	0.21	0.02	0.25	0.008	0.488
Ottobre 2004	1.24	0.36	0.87	0.32	2.79
Totale	14.88	6.194	16.82	9.368	3.38
Totale per le due aree	21.074		26.188		47.262

Se per il calcolo dei volumi si utilizza la velocità di taglio dedotta dalla (IV) l'ordine di grandezza è più vicino a quanto osservato sul campo e, pertanto, la ricerca è proseguita acquisendo la velocità di taglio in tal modo e calcolando i volumi di sabbia potenzialmente trasportati dalla spiaggia alla duna per tutto il periodo d'indagine (Tab. 3).

Oltre a rilevare come l'area relativa ai Cancelli comunali (Profili 3 e 4) sia stata caratterizzata da un mag-



giore tasso di trasporto eolico rispetto all'area della Tenuta di Castelporziano (24.27 % in più) si può osservare anche una differenza tra i tassi di trasporto all'interno della stessa area tra i diversi profili. Il Profilo 1 presenta nel periodo analizzato un surplus sedimentario pari al 140.23 % nei confronti del Profilo 2 e al profilo 3 il surplus è del 79.55 % rispetto al Profilo 4. Nel mese di febbraio si hanno i valori più alti del trasporto dalla spiaggia alla duna, con un massimo assoluto di 5.52 m<sup>3</sup>/m al Profilo 3. Il maggior quantitativo di sabbia trasportata in questo mese è da collegarsi alla presenza di forti venti (4 - 6 grado Beaufort) provenienti dal III quadrante, quindi circa normali alla linea di riva. Nel mese di novembre, invece, gli spostamenti sono assai modesti, in particolare nella Tenuta di Castelporziano dove si è avuto il valore minimo assoluto di 0.005 m<sup>3</sup>/m al Profilo 2. E' evidente una marcata stagionalità nei tassi di trasporto: i mesi più efficaci sono compresi tra inverno e primavera con l' 82.4 % sul totale trasportato nell'arco dei tredici mesi analizzati.

### *Analisi della variazioni topografiche*

Le variazioni volumetriche più significative ottenute tramite il confronto delle variazioni topografiche e i valori teorici dedotti tramite il modello di Hsu (1986) sono riportati in Figura 4.

Al Profilo 1 la zona d'accumulo preferenziale nei mesi invernali è stata quella retrostante la duna (3.61 m<sup>3</sup>/m tra gennaio e marzo) mentre il lato verso mare della duna ha subito erosione (1.98 m<sup>3</sup>/m tra gennaio e marzo). Ne deriva un accumulo netto pari a 1.63 m<sup>3</sup>/m ben minore di quello potenziale calcolato per lo stesso periodo (7.31 m<sup>3</sup>/m). Contrariamente nel periodo estivo, da luglio a settembre, si ha un deposito preferenziale nel lato sopravvento della duna e il valore misurato (0.354 m<sup>3</sup>/m) è assai prossimo a quello calcolato (0.39 m<sup>3</sup>/m).

Il Profilo 2, relativamente all'intervallo tra gennaio e settembre, non ha subito significative variazioni ad esclusione della cresta della duna che ha subito una minima diminuzione volumetrica pari a 0.1 m<sup>3</sup>/m (trasporto potenziale 4.71 m<sup>3</sup>/m).

Al Profilo 3 si ha, tra dicembre e aprile, un ingente accumulo alla base della duna (2.85 m<sup>3</sup>/m) ed uno più modesto sulla cresta (0.575 m<sup>3</sup>/m) per un totale di 3.425 (trasporto potenziale 9.69 m<sup>3</sup>/m). In questo caso, però, l'accumulo osservato alla base appare non essere legato alla sola dinamica eolica. Infatti, durante il periodo invernale, è stato osservato uno spianamento della spiaggia mediante ruspe con uno spostamento verso la duna stessa di gran parte del sedimento rimosso.

Anche il Profilo 4 è stato caratterizzato, durante i mesi compresi tra ottobre e aprile da un'intensa rielaborazione a causa dell'attività antropica di restauro del chiosco limitrofo al profilo stesso. Questi interventi hanno comportato ingenti versamenti di sedimento, proprio alla base della duna, che hanno causato un suo deciso modellamento topografico e anche una disponibilità di sedimento per la presa in carico ad opera del vento.

Al contrario, durante la stagione balneare, terminati quindi i lavori, le variazioni al profilo evidenziano una sostanziale stabilità dipendente probabilmente da una duplice causa: basso regime anemometrico e impedimento al trasporto dei sedimenti dalla spiaggia alla duna per la massiccia presenza dei bagnanti.

Le maggiori variazioni, pertanto, si registrano tra i mesi d'ottobre e aprile quando la zona di maggior accumulo si è verificata principalmente sul lato sopravvento della duna e per un totale pari a 10.79 m<sup>3</sup>/m (trasporto potenziale 8.87 m<sup>3</sup>/m) (Tab. 4).

Il periodo compreso tra maggio ed ottobre non è caratterizzato invece da accumuli consistenti. Si nota, anzi, una piccola area d'erosione sul lato sopravvento, dovuto probabilmente alla ripresa in carico del sedimento deposto precedentemente.

### *Analisi delle principali variazioni sedimentologiche*

Tutti i sedimenti campionati lungo ciascun profilo rientrano nel campo delle sabbie, la cui popolazione è comunemente superiore al 99% del campione; solo in un caso (P3C2 nel mese d'ottobre) è inferiore (88.80%) per la presenza di ghiaia fine (10.83%). Le percentuali di limo sono sempre inferiori al 1%.

Al Profilo 1 i sedimenti più fini sono presenti nel retroduna ( $M_z$  2.10  $\Phi$  a settembre) a testimonianza di un loro trasferimento più prolungato ad opera del vento. La massima escursione di  $M_z$  lungo il profilo tra battigia e retroduna si ha a dicembre ( $M_z$  1.05  $\Phi$ ), quella minima in aprile ( $M_z$  0.37  $\Phi$ ); comunque la variabilità lungo il profilo non appare legata alla stagionalità.

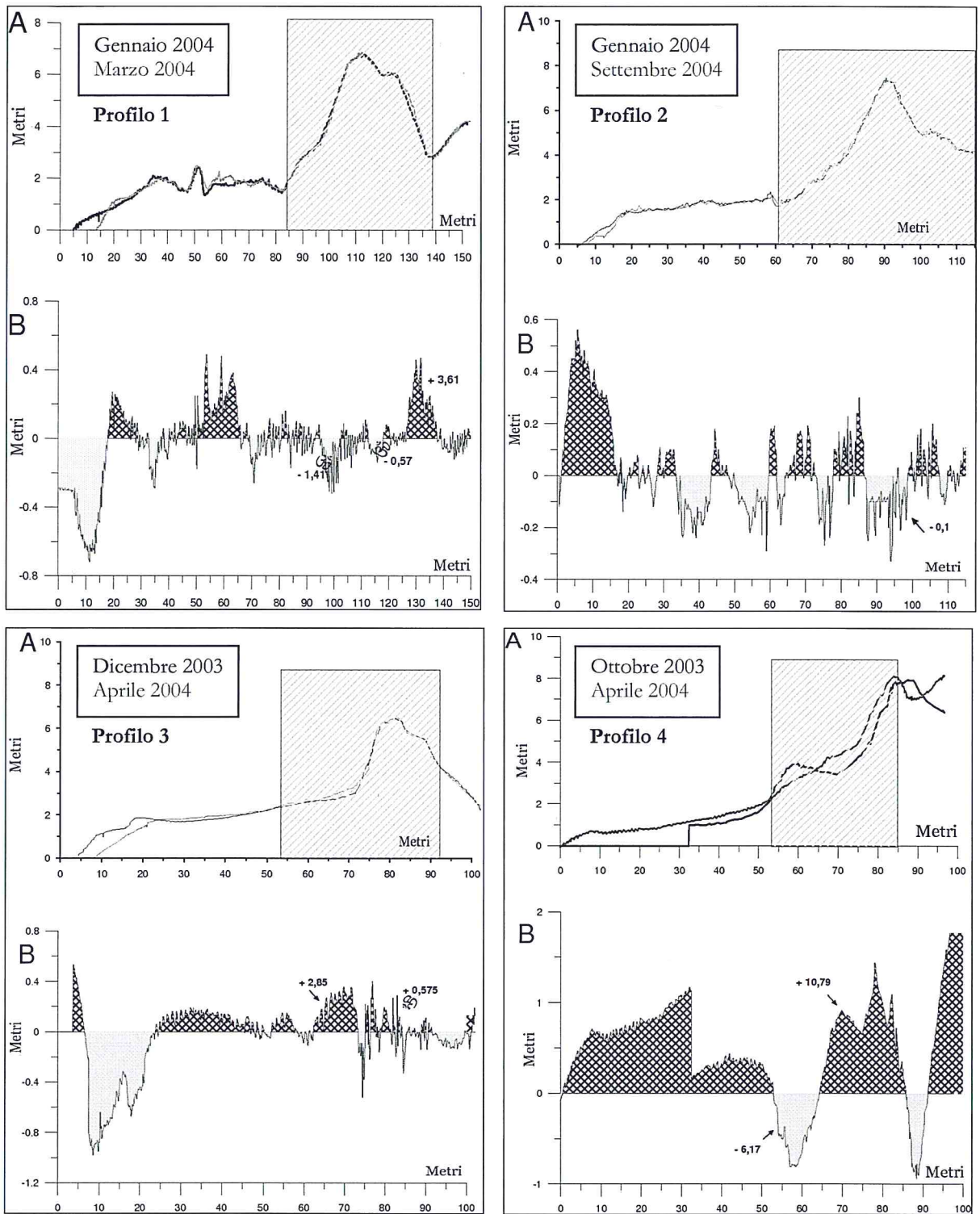


Figura 4 - (A) Variazioni altimetriche dei profili. (B) Aree d'accumulo (retino) e di erosione (puntinato) tra i due mesi di confronto. I valori riportati rappresentano i metri cubi di sabbia asportati o depositi dal vento per metro di spiaggia. All'interno del rettangolo il tratto analizzato per il calcolo dei volumi.



Tabella 4 - Confronto tra gli accumuli teorici e reali ( $m^3/m$  di spiaggia) sulla duna esterna. Il Profilo 4 è l'unico caso in cui l'accumulo reale è maggiore di quello teorico, dovuto probabilmente all'intensa attività antropica.

	Accumuli teorici	Accumuli reali
Profilo 1 - Gennaio 2003/Marzo 2004	7.31 $m^3/m$	3.61 $m^3/m$
Profilo 2 - Gennaio 2004/Settembre 2004	4.71 $m^3/m$	- 0.1 $m^3/m$
Profilo 3 - Dicembre 2003/Aprile 2004	9.69 $m^3/m$	3.425 $m^3/m$
Profilo 4 - Ottobre 2003/Aprile 2004	8.87 $m^3/m$	10.79 $m^3/m$

Il confronto fra i dati granulometrici evidenzia come, lungo questo profilo dalla spiaggia alla base della duna, siano state attivate maggiormente le classi granulometriche 1.5  $\Phi$  (la cui percentuale sull'intero campione alla base della duna passa da 7.59% a dicembre a 15.80% a febbraio) e 1.7  $\Phi$  (che a dicembre incide per il 17.85%, a febbraio per il 29.30%) come osservato anche per via teorica per lo stesso periodo (la classe 1.5  $\Phi$  costituisce il 27.6% del totale mobilitato e la classe 1.75  $\Phi$  il 18% per un totale del 45.6%). Le classi più fini (da 2.25  $\Phi$  a 2.75  $\Phi$ ), hanno, invece, subito per lo stesso intervallo di tempo alla base della duna un decremento in percentuale passando per la classe 2.25  $\Phi$  dal 25.2% al 14.85% e per la classe 2.50  $\Phi$  dal 13.14% al 7.23%. Queste frazioni probabilmente hanno trovato la loro nuova collocazione più in avanti rispetto al profilo in quanto al sito P1C5 (sommità della duna) nel sedimento si rileva un incremento, seppur debole, di tali classi (la 2.25  $\Phi$  passa dal 15.58% al 18.26% e la 2.75  $\Phi$  dal 3.46% al 4.46%).

Il differente incremento percentuale nel trasporto delle diverse classi granulometriche risente molto probabilmente del fattore pendenza del lato sopravvento della duna che favorisce il trasporto degli elementi più fini a scapito di quelli più grossolani che probabilmente non sono in grado di raggiungere la sommità della duna sistemandosi in una posizione intermedia (Fig. 5). Solo i venti più intensi del mese di maggio hanno invertito tale tendenza riuscendo a trasportare fino alla sommità anche i sedimenti della classe di 1.75  $\Phi$ , la cui incidenza aumenta dal 19.28% al 30.10%. Pertanto appare esistere una stretta correlazione tra il movimento delle diverse classi granulometriche del sedimento e la pendenza della duna.

Durante il periodo estivo (da giugno ad ottobre) il sedimento campionato è stato caratterizzato dalla diminuzione nel tempo del classamento (da 0.31 a 0.58) e dell'asimmetria (da 0.17 a 0.09) e da un aumento del coefficiente dell'appuntimento (da 1.15 a 0.99). Tali variazioni sembrano riflettere l'andamento delle dinamiche eoliche: i campioni di sedimento depositi nel mese di giugno sono il risultato dell'azione dei venti intensi che hanno agito, in particolare, nei mesi di febbraio e maggio e che hanno reso il sedimento molto ben classato; il sedimento a ottobre è moderatamente classato (la distribuzione di frequenza da leptocurtica diviene mesocurtica e la  $M_z$  da 1.50  $\Phi$  a maggio passa a 1.34  $\Phi$  a ottobre) probabilmente a causa della variazione in direzione del trasporto eolico legato al cambiamento nel regime dei venti.

I deboli venti del periodo estivo, provenienti dal IV quadrante, determinano un trasporto parallelo ai cordoni dunari a cui segue un cambiamento nel sito sorgente di sedimento (dalla spiaggia esterna alla base della duna) che non può più garantire un adeguato rifornimento delle classi granulometriche dominanti nel mese di giugno che, quindi, potrebbero essere state erose mettendo così a giorno i sedimenti più grossolani sottostanti. La situazione rilevata nell'ottobre 2004 è, inoltre, molto simile alla situazione riscontrata nell'ottobre 2003 ( $\sigma_1$  0.47  $\Phi$ ;  $Sk_1$  0.05;  $K_G$  0.98), indicando un comportamento non casuale (Fig. 6).

Per il Profilo 2 i materiali più fini sono ubicati nuovamente nel retroduna ( $M_z$  2.03  $\Phi$  a novembre). La variazione è massima alla battigia (0.89  $\Phi$ ) e si riduce a valori inferiori a 0.3  $\Phi$  per l'ambiente di spiaggia e inferiori a 0.2  $\Phi$  per la cresta ed il retroduna. Le analisi granulometriche hanno evidenziato minime variazioni nella distribuzione delle diverse classi.

In entrambi i profili il sedimento è nella quasi totalità molto o ben classato e la distribuzione è per lo più simmetrica, con tendenza positiva per i campioni alla base e alla cresta della duna.

Il Profilo 3 si distingue principalmente per la presenza sulla spiaggia di sedimenti grossolani (la dimensione massima presente a ottobre 2003 è di - 3.5  $\Phi$ ) da collegarsi ad un versamento di sicura origine antropica successivamente sepolto (Fig. 7).

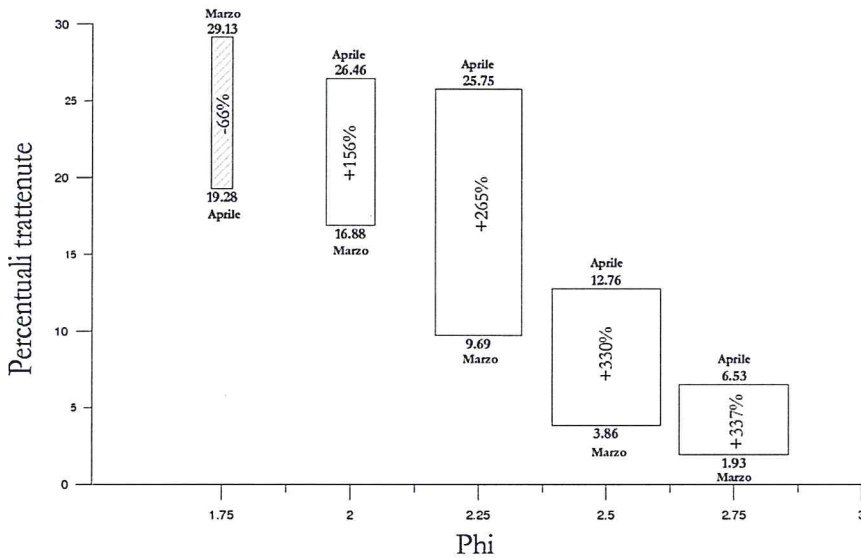


Figura 5 - Variazioni delle percentuali di ciascuna classe granulometrica tra marzo ed aprile al sito PIC5 (sommità della duna). L'ampiezza dei rettangoli è proporzionale all'incremento percentuale (riportato all'interno delle aree).

Il Profilo 4 presenta una distribuzione spaziale dei sedimenti più complessa rispetto ai precedenti. I sedimenti più fini sono in posizione diversa nelle singole campionature mensili: principalmente nel retroduna ( $M_z$  1.85  $\Phi$  ad ottobre 2003) ma anche alla base della duna ( $M_z$  1.84  $\Phi$  a febbraio) o nei campioni di spiaggia ( $M_z$  1.90  $\Phi$  a febbraio). Il sedimento più grossolano è più frequentemente collocato sulla battigia ( $M_z$  1.10  $\Phi$  a luglio) ma talvolta è presente nei campioni più interni, fino alla base della duna ( $M_z$  1.18  $\Phi$  a maggio). L'analisi delle variazioni granulometriche evidenzia come si sia avuto un incremento considerevole delle frazioni fini sulla cresta della duna (da  $Sk_1 = -0.05$  per il mese di dicembre si passa a  $Sk_1 = 0.15$  per il mese di marzo); tale incremento ha interessato in particolare la classe 2  $\Phi$  (si passa dal 12% al 31% per il periodo indicato) e per la classe 2.25  $\Phi$  (dal 4% al 16%). Al contrario durante la stagione balneare, terminati quin-

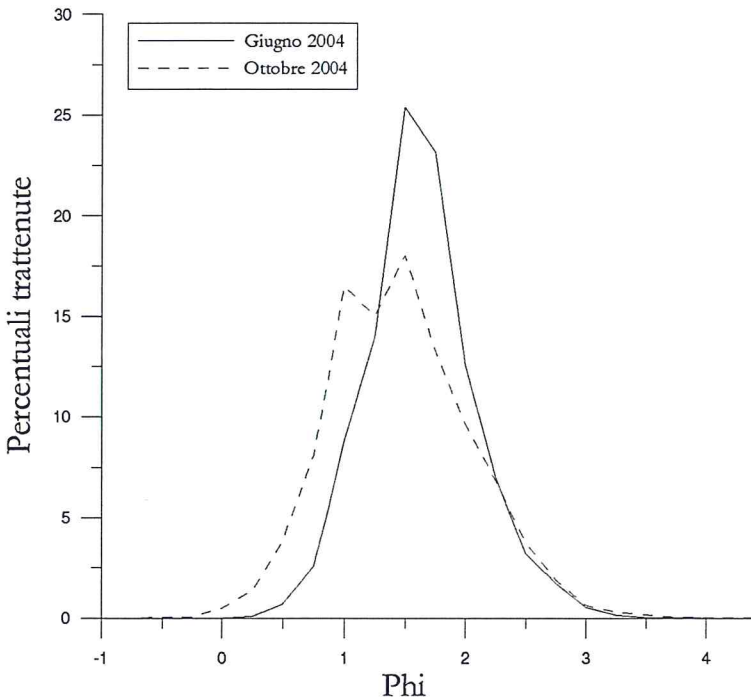


Figura 6 - Distribuzione granulometrica alla base della duna, campione PIC4, nei mesi di giugno e ottobre 2004.



di i lavori di manutenzione della spiaggia, il sedimento diviene omogeneo nel tempo, probabilmente a seguito della modesta intensità del vento e dall'impedimento al trasporto dei sedimenti dalla spiaggia alla duna dovuta alla maggiore presenza dei bagnanti. Anche in questo profilo si può notare una variazione dell'indice di appuntimento che passa da 1.32 ad aprile a 1.12 ad ottobre, con un andamento simile alla situazione riscontrata al Profilo 1. E' da notare come i sedimenti siano genericamente più fini nella Tenuta ( $M_z$  2.10  $\Phi$ ) rispetto all'area dei Cancelli ( $M_z$  1.85  $\Phi$ ).

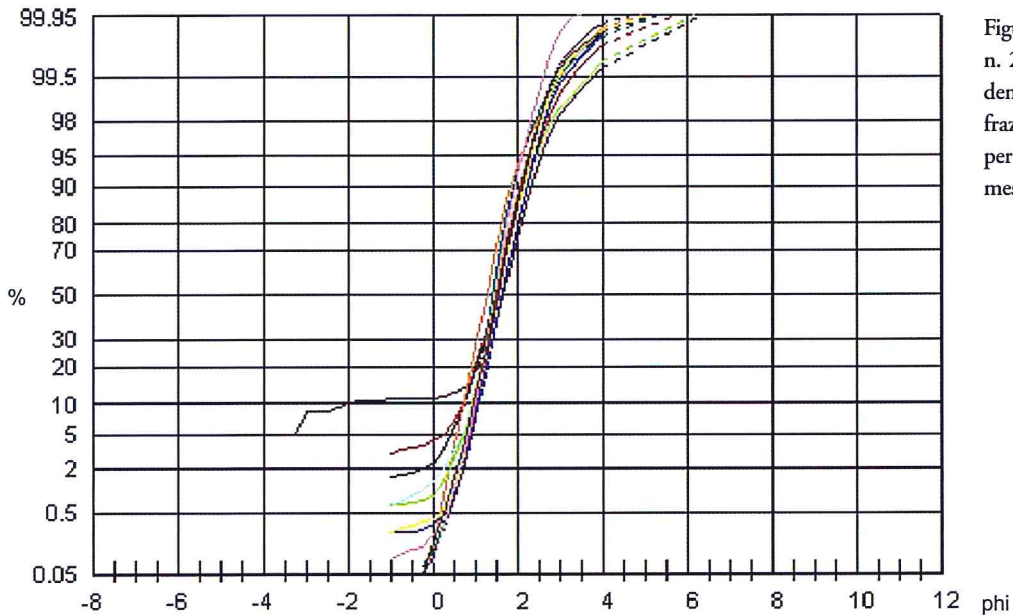


Figura 7 - Profilo 3 al sito n. 2. Si può notare l'evidente variabilità nelle frazioni più grossolane per i campioni nei diversi mesi.

## Discussione

### Tenuta Presidenziale di Castelporziano

Il *saucer blowout* su cui insiste il Profilo 1 è stato caratterizzato da un andamento marcatamente stagionale, con modesti accumuli durante l'estate e ingenti quantitativi di sabbia erosa durante l'inverno. Tale tendenza, evidenziata da Byrne (1997) per un *trough blowout*, appare essere legata sia al cambiamento di direzione dei venti dominanti, che alla minore copertura vegetazionale durante il periodo autunnale/invernale (Arens et al., 1995). Il rapporto tra il sedimento accumulato ed eroso ( $-1.762 \text{ m}^3/\text{m}$  su base annuale) appare indicare una migrazione del *blowout* lungo la direzione prevalente del vento. Tale andamento porta ad ipotizzare che, se i processi in atto non subiranno una inversione di tendenza (grado di copertura vegetazionale o aumento d'ampiezza della spiaggia), la duna si ridurrà in altezza in modo consistente secondo il processo ipotizzato in Figura 8. Variazioni significative potranno essere osservate probabilmente nell'arco di 4 - 5 anni (Ritchie, 1972; Gares e Nordstrom, 1987).



Figura 8 - A sinistra l'evoluzione supposta per la *foredune* osservata nel Profilo 1. A destra il *saucer blowout* analizzato.

Il Profilo 2 presenta, come abbiamo visto precedentemente, variazioni volumetriche minime, confermate anche dall'analisi dei campioni di spiaggia e di duna. Il fattore principale che ha impedito un efficace trasporto del sedimento ad opera del vento sembra essere stato il grado di copertura vegetazionale, dato che questo è il principale parametro che lo differenzia dal primo. Questa ipotesi è in accordo con altri Autori che hanno dimostrato come una copertura del solo 10% determini una riduzione del trasporto eolico potenziale pari al 20% (Wasson e Nanninga, 1986), al 50% (Buckley, 1987), al 60% (Leys, 1991) e, addirittura, al 100% (Gilles et al., 2000) in funzione delle diverse specie vegetali presenti sul litorale e del loro pattern vegetazionale.

Il confronto tra i volumi effettivamente accumulati nel sistema dunare e quelli potenzialmente calcolati evidenzia come il modello abbia predetto con maggiore accuratezza il trasporto durante il periodo estivo (90.77% del valore teorico ipotizzato per il Profilo 1) piuttosto che nel periodo invernale (27.08%). Queste differenze sono, probabilmente, legate sia al mancato inserimento del fattore umettamento che, specialmente nel periodo autunnale/invernale in cui le piogge sono più frequenti, è in grado di ridurre considerevolmente i quantitativi di sedimento rimovibile, sia al mancato inserimento del volume di sedimento trasportato oltre il sistema spiaggia/duna dai venti intensi per lo stesso periodo.

### *Cancelli di Castelporziano*

Quest'area risulta essere molto più complessa, probabilmente per l'impatto antropico che il sistema ha subito nell'anno e, più in generale, nell'arco degli ultimi decenni. Qui, la vegetazione non può più rappresentare un fattore fondamentale per il meccanismo di presa in carico/trasporto/sedimentazione dato che è presente solo in alcuni lembi sparsi sulla sommità della duna. I fattori decisivi appaiono, invece, essere quelli correlati con le attività antropiche.

Il primo fattore è il livello raggiunto dal flutto montante durante le principali mareggiate (Fig. 9); infatti l'assenza di vegetazione e di depositi anche se embrionali, permette al flutto montante di avanzare liberamente sulla spiaggia aumentando la superficie umettata e quindi diminuendo considerevolmente l'importanza della velocità dei venti. Nell'area comunale, pertanto, le mareggiate che giungono con una certa angolazione rispetto la linea di riva consentono al flutto montante associato di avanzare in misura minore di quanto avverrebbe per una mareggiata perpendicolare.

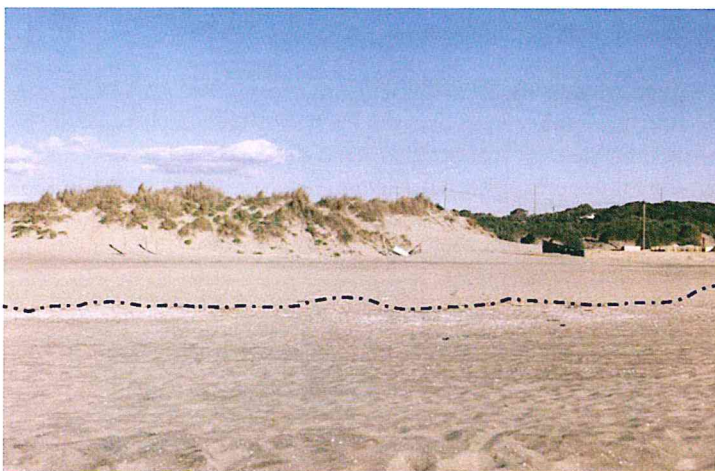


Figura 9 - Profilo 3. La linea tratteggiata individua il limite raggiunto da una mareggiata precedente al campionamento del mese di febbraio. In questa occasione l'acqua ha coperto circa i 2/3 della spiaggia.

Questa differenza di situazioni è ampliata ai Cancelli rispetto a Castelporziano in quanto la spiaggia è resa piatta e senza ostacoli dall'azione delle ruspe che, da anni, spianano l'arenile per migliorarne la fruizione turistica (Fig. 10). Questa operazione, inoltre, viene eseguita principalmente nel periodo primaverile e quindi non permette in alcun modo la colonizzazione della spiaggia da parte di quelle specie psammofile che garantirebbero, con il loro sviluppo, il costituirsi di depositi embrionali a protezione dell'attuale duna esterna.

Il secondo fattore è sempre legato alle ruspe che, ripulendo la spiaggia fino alla base della duna, determinano la formazione di una ripida pendenza sul lato sopravvento che, come osservato anche da Gares (1988), è un fattore decisivo nel ridurre i tassi di trasporto.



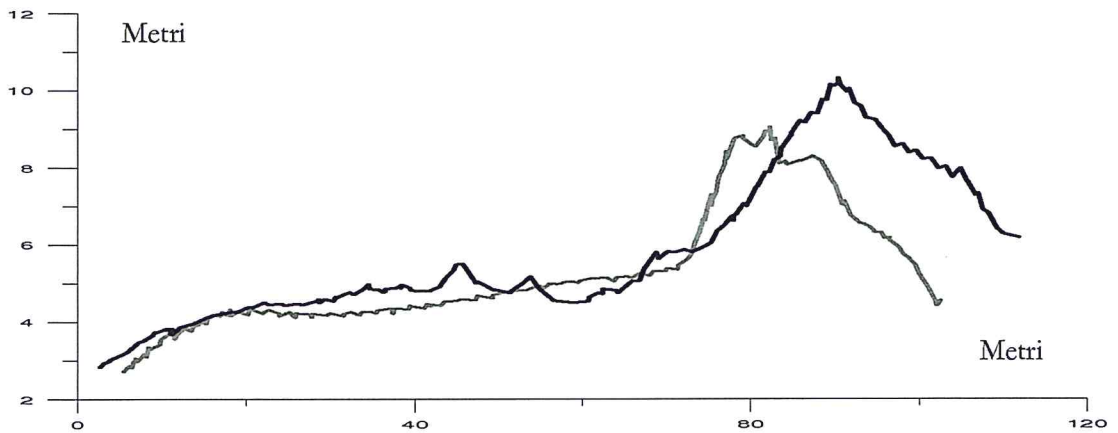


Figura 10 - Confronto tra il Profilo 3 (in grigio), appartenente all'area a gestione comunale, ed il Profilo 2 (in nero), collocato nella Tenuta di Castelporziano. E' evidente la semplicità morfologica dell'area comunale rispetto alla Tenuta di Castelporziano. Si può osservare, inoltre, la maggiore pendenza del lato verso mare della *foredune* del Profilo 3.

Sugli apporti di sabbia dalla spiaggia alla duna in corrispondenza del Profilo 3 influisce la presenza sulla spiaggia di elementi grossolani provenienti dai lavori di ristrutturazione del chiosco limitrofo alla spiaggia. Questi elementi, evidenziati dalle distribuzioni di frequenza (Fig. 7), hanno determinato l'instaurarsi di un deposito (una sorta di *lag deposit*) che ha parzialmente "blindato" la superficie riducendo il trasporto (Davidson-Arnott et al., 1997). L'ingente deposito di sedimento che caratterizza il Profilo 4 sembra difficilmente attribuibile alle sole dinamiche eoliche. L'azione dell'uomo è stata anche in questo caso determinante in quanto l'accumulo è dovuto, per quanto è stato possibile osservare, all'attività degli addetti alla manutenzione del chiosco che versavano, alla base della duna, ingenti quantità di sabbia. Tali accumuli hanno sicuramente contribuito ad incrementare la quantità di sabbia depositata riducendo così la discrepanza, registrata negli altri profili, tra il tasso di trasporto reale e quello potenziale. Per entrambi i profili è difficile operare un confronto tra i tassi potenziali e reali in quanto troppo profonda è l'interferenza delle diverse attività antropiche che hanno comportato un aumento dei tassi reali, che divengono assai simili a quelli calcolati. In un caso (a giugno per il Profilo 4) il tasso reale risulta addirittura superiore a quello potenziale.

## Conclusioni

Sebbene i due tratti di litorale investigati siano stati interessati da tassi di trasporto modesti, le motivazioni di tale situazione sono assai diverse. Per la Tenuta di Castelporziano i fattori naturali, come la vegetazione, hanno interagito profondamente con le dinamiche del sistema spiaggia/duna mentre per i Cancelli comunali è stata l'attività antropica ad essere decisiva. Tali differenze riflettono le grandi difficoltà esistenti nella determinazione di un modello predittivo unico ed efficace per il trasporto eolico.

Il campionamento di un livello estremamente superficiale del sedimento ha dimostrato di essere valido ed essenziale quando si voglia valutare il diverso comportamento delle singole classi granulometriche soggette all'azione del vento. Infatti le ricerche effettuate hanno evidenziato come sia necessario, al fine di raffinare i modelli teorici di valutazione del trasporto eolico, ragionare sull'insieme delle classi e non solo sulla dimensione media.

Le differenze riscontrate tra il tasso potenziale e reale sono imputabili al mancato inserimento nelle elaborazioni teoriche di una serie di fattori correttivi, primo fra tutti l'umettamento della superficie.

L'uomo, con le sue attività, ha interagito profondamente con i processi di dinamica eolica nel sistema spiaggia/duna; attività quali il versamento sulla spiaggia di sedimenti grossolani e lo spianamento con mezzi meccanici talora fino al piede della duna, influiscono sia ostacolando la presa in carico, sia impedendo la formazione degli accumuli embrionali, sia favorendo il diradarsi della vegetazione dunare.

In considerazione dello stato in cui versa l'area dei Cancelli e dell'insieme dei fattori che rischiano di compromettere in modo irreversibile la sua naturalità, appaiono necessari interventi decisivi per la salvaguardia e tutela di questo sito, soggetto ad una pressione antropica che ha raggiunto il limite delle sue capacità di carico. Tali interventi andrebbero in direzione opposta a quelli in atto, anche se non dichiarati, da coloro (Enti, Cooperative, Privati) che

questo ecosistema utilizzano e sfruttano. Infatti sarebbe essenziale impedire il transito dei bagnanti lungo i sentieri non autorizzati al fine di evitare l'accentuarsi dei processi erosivi lineari dei cordoni dunari. L'eccessivo calpestio è, del resto, già evidente dalla presenza di alcune Plantaginaceae che hanno colonizzato ampi tratti della fascia dunare dei Cancelli Comunali (Manni e Sleiter, 2003). Ciò sarebbe possibile tramite il ripristino delle recinzioni, ora quasi totalmente demolite, oltre all'opera di maggiore sensibilizzazione degli utenti della spiaggia, per esempio mediante pannelli informativi. È necessario, inoltre, che l'area venga gestita secondo i criteri propri delle aree protette. Ogni intervento d'ampliamento delle strutture di servizio dovrebbe essere assolutamente impedito ed i chioschi già presenti dovrebbero necessariamente salvaguardare l'aspetto naturalistico dell'area rimanendo a carattere precario e limitati alla fornitura di servizi di balneazione e limitato ristoro.

Infine, alla luce dei primi dati emersi dalla ricerca, è necessario salvaguardare il più possibile la naturalità dell'area durante i mesi invernali/primaverili al fine di preservare i naturali processi di trasporto eolico. Questo periodo è, infatti, l'unico durante il quale i cordoni dunari prossimi al mare possono accumulare in maniera efficace sedimenti; pertanto la costruzione di graticciate semipermeabili per trattenerne la sabbia è inutile quando se ne impedisce o impoverisce il transito.

Sono quindi assolutamente da evitare la costruzione di ostacoli impermeabili che influenzano il libero transito dei sedimenti fra spiaggia e duna, lo spianamento degli accumuli invernali, la ripulitura della sabbia fino al piede della duna.

I dati raccolti alla Tenuta di Castelporziano, infine, non portano a considerazioni positive. La presenza su larga scala di *blowouts* (sia di tipo *saucer* che *trough*) e l'assenza di depositi significativi nelle altre aree, pongono l'attenzione sul futuro di quest'intero ecosistema. Al fine di preservare la naturalità di questo sito, sarebbe auspicabile progettare specifiche opere di ripristino dei *blowouts*, attraverso uno studio approfondito dei fattori interni (ciclicità dei nutrienti, processi di successione) e esterni (attività antropiche, cambiamenti climatici) che li determinano.

### Finanziamenti

La ricerca è stata inizialmente eseguita nell'ambito del Progetto di rilevante interesse nazionale "I depositi eolici delle coste italiane e i flussi di sedimenti spiaggia-duna" COFIN 2002/2004.

È quindi proseguita nell'ambito del Progetto "Monitoraggio morfo-sedimentologico e idrogeologico della fascia litorale della Tenuta Presidenziale di Castel Porziano" finanziato dall'Accademia delle Scienze detta dei XL.

### Bibliografia

- Arens S.M. (1996) - *Pattern of sand on a vegetated foredunes*. *Geomorphology*, 17: 339-350.
- Arens S.M., Van Kaam-Peters H.M.E., Van Boxel J.H. (1995) - *Airflow over foredunes and implications for sand transport*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20 (4): 315-322.
- Bagnold R.A. (1941) - *The physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Chapman and Hall, London. 265 pp.
- Bauer B.O., Davidson-Arnott R.G.D. (2002) - *A general framework for modelling sediment supply to coastal dune including wind angle, beach geometry and fetch effects*. *Geomorphology*, 49: 89-108.
- Bellotti P., Biagi P.F., Tortora P., Valeri P. (1987) - *Il delta del Tevere: caratteri morfologici e sedimentologici della piana deltizia*. *Giornale di Geologia*, 49: 89-99.
- Berg N.H. (1983) - *Field evaluation of some sand transport models*. *Earth surface processes and Landforms*, 8: 101-114.
- Buckley R. (1987) - *The effects of sparse vegetation cover on the transport of dune sand by wind*. *Nature*, 325 (6103): 426-428.
- Byrne M.L. (1997) - *Seasonal sand transport through a trough blowout at Pinery Provincial Park, Ontario*. *Canadian Journal of Earth Science*, 34: 1460-1466.
- Chapman D.M. (1990) - *Aeolian sand transport. An optimized model*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15: 751-760.
- Cooper W.S. (1958) - *The coastal sand dunes of Oregon and Washington*. *Geological Society of American Memories*, 72. 169 pp.
- Cornelis W.M., Gabriels D. (2003) - *The effect of surface moisture on the entrainment of dune sand by wind: an evaluation of selected models*. *Sedimentology*, 50: 771-790.
- Davidson-Arnott R.G.D., Law M.N. (1996) - *Measurements and prediction of long term sediment supply to coastal foredunes*. *Journal of Coastal Research*, 13 (3): 654-663.



- Davidson-Arnott R.G.D., White D.C. (1997) - *The effects of artificial pebble concentration on eolian sand transport on a beach*. Canadian Journal of Earth Science, 34: 1499-1508.
- Folk R.L. e Ward W.C. (1957) - *Brazor river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3-26.
- Gares P.A. (1988) - *Factors affecting aeolian sediment transport in beach and dune environments*. Journal of Coastal Research, Special Issue 3, Dune/Beach Interaction, edited by Psuty N.P., pp. 121-126.
- Gares P.A., Nordstrom K.F. (1987) - *Dynamics of a coastal Foredune blowout at Island Beach State Park, N.J.* Proceedings of Coastal Sedimentology '87, ASCE, pp. 213-221.
- Gilles J.A., Lancaster N., Nickling W.G., Crawley D.M. (2000) - *Field determination of drag forces and shear stress partitioning effects for a desert shrubs *Sarcobatus vermiculatus*, greasewood*. Journal of Geophysical Research, 105 (D20): 24871-24880.
- Hsu S.A. (1977) - *Boundary layer meteorological research in the coastal zone*. Geoscience and Man, H.J. Walker, ed., School of geoscience, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, vol 18: 341-351.
- Hsu S.A. (1986) - *Correction of Land Based Wind Data for Offshore Applications: A Further Evaluation*. Journal of Physical Oceanography, 16: 390-394.
- Jackson D.W.T., Cooper J.A.G. (1999) - *Beach fetch distance and Aeolian sediment transport*. Sedimentology, 46 (43): 517-522.
- Jackson N.L., Nordstrom K.F. (1998) - *Aeolian transport of sediment on a beach during and after rainfall, Wildwood, NJ, U.S.A.* Geomorphology, 22: 151-157.
- Jungerius P.D., Verhagene J.T., Wiggers A.J. (1981) - *The development of blowouts in "de Blink" a coastal dune area near Noordwijkerhout, The Netherlands*. Earth surface Processes and Landforms, 6: 375-396.
- Leys J.F. (1991) - *Towards a better model of the effect of prostrate vegetation cover on wind erosion*. Vegetatio, 91: 49-58.
- Manni C., Sleiter G. (2003) - *Stato delle dune del litorale Laziale compreso fra Castel Fusano e Capocotta*. A.I.A.S. nazionale. Volume unico.
- McKenna C.N. (2004) - *Effects of temperature and humidity upon the transport of sedimentary particles by wind*. Sedimentology, 51: 1-17.
- Namikas S., Sherman D. (1995) - *A review of the effects of surface moisture content on Aeolian sand transport*. In: Tchakerian, V Ed., Desert Aeolian Processes. Chapman & Hall, London. Pp 269-294.
- Noli A., De Girolamo P., Sammarco P. (1996) - *Parametri meteomarinari e dinamica costiera*. In "Il Mare del Lazio", ed. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", pp. 285-315.
- Nordstrom K.F., Jackson N.L. (1993) - *The role of wind direction in eolian transport on a narrow sandy beach*. Earth surface Processes and Landforms, 18 (8): 675-686.
- Rasmussen K.R. (1989) - *Some aspects of flow over coastal dunes*. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 96B: 129-147.
- Ritchie W. (1972) - *The evolution of coastal sand dunes*. Scottish Geographic Magazine, 88: 19-35.
- Ruz M.H., Allard M. (1994) - *Foredune development along a subarctic emerging coastline, eastern Hudson Bay, Canada*. Marine Geology 117: 57-74.
- Sherman D.J., Bauer B.O. (1993) - *Dynamics of a beach-dune systems*. Progress in Physical Geography, 17 (4): 413-447.
- Sherman D.J., Lyons W. (1994) - *Beach-state controls on Aeolian sand delivery to coastal dunes*. Physical Geography, 15: 381-395.
- Svasek J.N., Terwindt J.H.J. (1974) - *Measurements of sand transport by wind on a natural beach*. Sedimentology, 21: 311-322.
- U.S. Army (2002) - *Coastal Engineering Manual*. U.S. Army. Chapter III-4, Wind-Blown Sediment Transport, pp 1-79.
- Wal A. e McManus J. (1993) - *Wind regime and sand transport on a coastal beach-dune complex, Tentsmuir, eastern Scotland*. In: Pye K. (Ed), "The dynamics and environmental Context of Aeolian Sedimentary Systems". The Geological Society, London, pp. 159-171.
- Wasson R.J., Nanninga P.M. (1986) - *Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces*. Earth surface Processes and Landforms, 11: 504-514.