

19 RISCHIO DA MAREGGIATA

GIORGIO FONTOLAN¹, ANNELORE BEZZI¹, SIMONE PILLON¹

19.1. IL RISCHIO DA MAREGGIATA

19.1.1. Introduzione

La possibilità di esondazione marina lungo la fascia costiera della provincia di Venezia è per gran parte determinata dalle basse quote del terreno² e dalla limitata capacità dissipativa delle spiagge attuali, compromesse dall'urbanizzazione e dalla forte pressione antropica. La vulnerabilità del territorio immediatamente retrostante al litorale è già stata constatata in più occasioni, specialmente durante la mareggiata del novembre 1966 (Fig. 19.1). La maggior parte delle difese costiere oggi presenti fu infatti realizzata a seguito dei danni arrecati da quell'evento e in virtù delle oggettive condizioni di pericolo di molti centri residenziali, spesso ubicati a quote prossime o inferiori al livello medio del mare. Di qui la necessità di procedere ad una valutazione del rischio da mareggiata sull'intero tratto costiero, che tenesse conto in particolar modo delle condizioni morfodinamiche del litorale, fornendone un quadro il più possibile completo ed aggiornato.

Nella Tav. 16, in scala 1:100.000, viene rappresentato il rischio da mareggiata unitamente al rischio idraulico del territorio provinciale.

Per il concetto di "rischio" esistono varie definizioni e altrettante metodologie di valutazione³. Secondo la terminologia proposta dall'*United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR, 2004) con il termine "rischio" si fa riferimento alle "probabilità di conseguenze dannose o perdite attese (morti, danni alle proprietà, distruzione dei mezzi di sostentamento e di attività economiche, danni ambientali) risultanti dall'interazione tra la pericolosità naturale o indotta dall'uomo e le condizioni di vulnerabilità".



Fig.19.1 - Mareggiata in prossimità di piazza Milano a Jesolo 1966 (Assessorato alla Cultura del Comune di Jesolo - Fondo Fotografico Giuseppe Artesi).

Per "pericolosità" o "pericolo" si intende "un evento fisico o un'attività umana potenzialmente calamitosi che possono causare danno o perdita di vite umane, danni ai beni, sconvolgimenti sociali ed economici o degradazione ambientale". La pericolosità è anche funzione del tempo di ritorno dell'evento, ossia della probabilità che in una zona si verifichi un potenziale evento dannoso con una certa intensità.

Altro importante parametro da definire è la "*vulnerabilità*", che esprime "la condizione determinata da fattori fisici, sociali, economici e ambientali che concorrono ad aumentare la suscettibilità di una comunità nei confronti dell'evento dannoso".

Nell'applicazione pratica di metodologie di valutazione di rischio, si possono individuare situazioni in cui la pericolosità è elevata ma il rischio è nullo o quasi, come ad esempio nelle zone non antropizzate. Ne consegue che il fenomeno fisico, espresso attraverso la pericolosità, perché sia dannoso dev'essere inserito nel contesto territoriale in termini di presenze umane, attività ed infrastrutture. Questi ultimi costituiscono gli elementi a rischio, cioè il valore esposto all'evento.

Per quantificare le conseguenze derivanti dal manifestarsi di un evento dannoso, cioè la perdita attesa, è sufficiente moltiplicare la vulnerabilità per gli elementi a rischio, ottenendo così il rischio specifico.

Il rischio totale è definito quindi attraverso la pericolosità "P", la vulnerabilità "V" e il valore esposto "E", che è associato all'attività antropica.

In ambito territoriale esistono diversi percorsi metodologici di analisi del rischio, che tuttavia presuppongono sempre una preliminare e attenta analisi della ricorrenza del pericolo e della sua intensità, della vulnerabilità intrinseca del sistema ambientale a sopportare l'evento dannoso e dell'assetto del territorio, in termini di presenze e attività umane.

19.1.2. Metodologia applicata

La presente metodologia di valutazione del rischio da mareggiata lungo i litorali sabbiosi della provincia di Venezia è stata ideata e applicata da FONTOLAN *et al.* nel 2001, per la prima stesura del *Programma di Previsione e Prevenzione in materia di Protezione Civile della Provincia di Venezia*, successivamente aggiornato sia nei dati utilizzati sia attraverso un affinamento metodologico (FONTOLAN *et al.*, 2005; 2006; 2007a). La procedura metodologica, i coefficienti di calcolo e

¹ Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Matematica e Geoscienze.

² Vedi anche il capitolo 1 "Microrilievo" e la cartografia di Tav. 1.

³ Vedi anche i capitoli 10 "Sismicità" e 18 "Rischio idraulico".

la tipologia di variabili impiegate sono stati ripresi e utilizzati in diverse aree geografiche (FONTOLAN *et al.*, 2002, 2007b; SIMEONI *et al.*, 2003; CORBAU *et al.*, 2009; MARTINELLI *et al.*, 2010) e nel progetto *Interreg IIIc Beachmed-e* (sottoprogetto MedPlan), talora con erroneo richiamo al solo metodo di GORNITZ *et al.* (1994). Il metodo segue un percorso analitico che conduce alla definizione di "P", "V" ed "E", attraverso la creazione di un *database* territoriale e di alcune semplici procedure di calcolo.

Per motivi che verranno in seguito esposti in maniera più approfondita (cfr. § 19.1.3.1.), si è assunto un pericolo uniforme, valutato sulla ricorrenza delle mareggiate alla scala temporale delle osservazioni esistenti. Il nodo fondamentale della metodologia di valutazione è rappresentato dalla quantificazione della vulnerabilità, che nel caso specifico è stata definita come misura della capacità di attenuazione delle onde da parte delle spiagge e/o delle strutture difensive esistenti sul litorale ed è stata quantificata attraverso due passaggi:

- **Vulnerabilità potenziale ("Vp")**: rappresenta la vulnerabilità del litorale, nell'ipotesi che non esista alcun tipo di difesa (morbida o rigida) dall'ingressione marina, quantificata attraverso una serie di variabili che definiscono le condizioni morfologiche ed evolutive della costa;
- **Vulnerabilità reale ("Vr")**: rappresenta la vulnerabilità potenziale mitigata dall'effetto della presenza di difese, descritte attraverso una serie di variabili atte a definirne la capacità dissipativa.

La struttura logica è data quindi dal percorso:

Vulnerabilità potenziale "Vp" \Rightarrow vulnerabilità reale "Vr"
 \Rightarrow rischio "R"

Dei diversi approcci possibili per quantificare la vulnerabilità è stato scelto quello tra i più largamente impiegati in campo ambientale (GORNITZ *et al.*, 1994; CIVITA, 1994; CIVITA & DE MAIO, 1997), rappresentato da una regressione multipla del tipo:

$$V = v_1 k_1 + v_2 k_2 + v_3 k_3 + \dots + v_n k_n$$

dove V rappresenta l'indice di vulnerabilità, v il valore della variabile e k il peso a essa assegnato, e può essere facilmente ricondotto a una struttura logica tipicamente utilizzata nell'ambito dei GIS.

Attraverso una serie di test, GORNITZ *et al.* (1994) hanno verificato che l'algoritmo basato sulla somma delle variabili è meno sensibile a errori di omissione o di classificazione dei valori rispetto agli algoritmi basati sul prodotto delle variabili stesse. L'ulteriore vantaggio del metodo è quello di essere indipendente dal numero di casi, una volta stabilite con precisione le variabili e i pesi. Questo significa che, a differenza degli approcci basati sull'analisi statistica multivariata (DAL CIN & SIMEONI, 1994; JELGERSMA *et al.*, 1993), qualsiasi ulteriore caso (ad esempio un nuovo tratto costiero da codificare) è facilmente indicizzabile mediante calcolo svincolato dall'insieme dei dati esistenti. Il fatto che,

nel caso del litorale veneziano, fossero in corso interventi di riqualificazione della fascia costiera e che altri fossero previsti a breve scadenza, indicava come necessità imprescindibile che il *database* potesse venir aggiornato con facilità e con altrettanta facilità fosse possibile aggiornare i valori di vulnerabilità e rischio solo per alcuni tratti, caratteristica che non sarebbe consentita dall'analisi multivariata.

Al fine di applicare la procedura scelta è necessario in primo luogo attribuire delle categorie di valori (GORNITZ *et al.*, 1994) o di importanza (BUSH *et al.*, 1999) nell'ambito di ogni variabile.

L'insieme numerico dei dati relativi alle variabili che concorrono alla vulnerabilità potenziale è stato perciò normalizzato in un intervallo compreso tra 0 e 4 attribuendo il valore massimo corrispondente alla condizione di vulnerabilità maggiore. Reciprocamente, all'insieme dei parametri utilizzati per la definizione delle difese, è stato assegnato il valore più elevato (4) alla condizione di efficienza massima contro le mareggiate. A ciascuna variabile è stato assegnato un coefficiente (k) a seconda del grado di importanza della variabile stessa all'interno del sistema.

Infine il rischio "R" è stato definito applicando la seguente relazione $R = Vr \times E$ dove "E", ossia il valore esposto, è stato quantificato attraverso la classificazione della tipologia d'uso dell'entroterra, che è stata indicizzata in quattro classi, a seconda dell'importanza dell'insediamento (centri urbani=4, nuclei di case=3, case sparse e aree agricole=2, aree naturali=0).

19.1.3. Variabili

Il criterio per definire sia le aree maggiormente vulnerabili all'ingressione marina sia quelle a maggior rischio per la popolazione e per le abitazioni è basato sulla valutazione oggettiva delle caratteristiche fondamentali dei diversi tratti di costa, rappresentate da un insieme di variabili riferite a cinque comparti distinti:

- 1) Condizioni meteomarine
- 2) Condizioni geologico-morfologiche e pressione d'uso delle spiagge
- 3) Tendenze evolutive delle spiagge
- 4) Tipologia delle strutture difensive lungo costa e nel retrospiaggia
- 5) Uso del suolo e tipologie insediative dell'entroterra.

L'insieme delle variabili che rientrano nei primi quattro comparti costituiscono la base per la zonazione del litorale, tradotta in termini di vulnerabilità. Il quinto comparto stabilisce invece il valore esposto.

19.1.3.1. Condizioni meteomarine

Il clima di moto ondoso dell'area in esame rappresenta la condizione di base per la valutazione del rischio da esondazione, poiché la mareggiata è l'evento naturale che costituisce la pericolosità, nell'accezione già definita in precedenza. Tuttavia i dati a oggi disponibili sono piuttosto frammentari o caratterizzati da statistiche limitate nel tempo. Limitandosi alle

statistiche finalizzate alla pericolosità, per la quantificazione degli eventi estremi, il *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* (CVN, 1985) riporta una stima aggiornata di probabilità di eventi di mareggiata computata sulla base dei dati registrati da tre differenti fonti (CNR, ENEL, KNMI). Da tale studio risulta che non è possibile estrapolare una statistica attendibile per tempi di ritorno ("Tr") superiori a 10 anni, in quanto le osservazioni continue si limitano a 7 anni con registrazione effettiva dei dati pari al 68% del tempo (dati ENEL periodo 1976-82). Il CVN (1985) riporta comunque una ridistribuzione dell'altezza d'onda significativa al largo in condizioni estreme ($H_s > 2$ m) per tempi di ritorno superiori (50, 100 anni). Sia in condizioni di Bora che di Scirocco le massime altezze d'onda significative (H_s) con $Tr=10$ anni sono pari a poco meno di 5 m.

CAVALERI *et al.* (1996) giungono a conclusioni simili utilizzando i dati di moto ondoso registrati dopo il 1972 alla piattaforma oceanografica *Acqua Alta CNR*, nel Golfo di Venezia. Gli eventi di mareggiata considerati (con $H_s > 2$ m) sono complessivamente 90, di cui 72 di Bora e 18 di Scirocco. Per $Tr=10$ anni e probabilità pari al 90% i valori di H_s durante le mareggiate di Bora e Scirocco risultano di 4,9 m e 5,2 m circa, rispettivamente.

La pericolosità degli eventi estremi è associata al valore di H_s in prossimità della costa. Per tale ragione i valori fin qui riportati possono essere considerati solo come base per il calcolo della propagazione del moto ondoso sotto riva. E' noto infatti che le onde che si propagano verso i bassi fondali tendono a trasformarsi e a dissipare la propria energia, a causa della rifrazione, dello *shoaling* e dell'effetto d'attrito con il fondo. Una stima del decadimento dei valori estremi è fornita da CAVALERI *et al.* (1996): in condizioni di scirocco con H_s al largo di 5,0-6,5 m, la riduzione in altezza tende asintoticamente a 3,20-3,50 m approssimativamente in corrispondenza della testata della bocca del Lido di Venezia, a una profondità di 5 m circa.

L'aspetto interessante del fenomeno è che l'andamento delle isolinee di altezza d'onda, e quindi di energia associata, corrisponde alla configurazione batimetrica dei fondali dell'area dell'Alto Adriatico.

In mancanza di un corretto modello di calcolo che stabilisca l'esatta ripartizione dell'energia del moto ondoso sotto riva (CAVALERI *et al.*, 1996), è possibile in prima ipotesi considerarla equamente distribuita lungo il tratto costiero in esame (dal Piave al Tagliamento), che presenta una configurazione batimetrica piuttosto uniforme e grossomodo parallela alla linea di riva.

In sintesi, ai fini della pericolosità, può essere considerato come evento estremo una mareggiata con H_s max pari a 3,5 m in corrispondenza dell'isobata -5 m. A tale valore è opportuno sommare la variazione del livello marino (Δh) dovuta principalmente alla marea, che può raggiungere i 130 cm con $Tr = 10$ anni, come valore statistico combinato agli eventi di mareggiata (CVN, 2000).

Gli effetti di tale evento sul litorale saranno determinati dalla configurazione del profilo sommerso della spiaggia (tra -5 m e la linea di riva), che rientra nel comparto delle variabili indicate nel punto successivo.

19.1.3.2. Condizioni geologico-morfologiche

L'assetto morfologico del litorale è determinato da due variabili: pendenza dei fondali e ampiezza della spiaggia. Poiché i litorali del Veneto sono molto sfruttati turisticamente, un fattore destabilizzante dell'assetto naturale è dato dalla pressione d'uso, intesa come numero di presenze turistiche⁴, che implicano indirettamente strategie d'utilizzo del bene spiaggia non sempre finalizzate alla sua preservazione.

• Pendenza dei fondali

E' un parametro che esprime il potere dissipativo del tratto di spiaggia considerato nei confronti del moto ondoso. Un profilo meno ripido e caratterizzato dalla presenza di barre e truogoli è più efficiente nella dissipazione dell'energia. Per calcolare la pendenza esistono diversi metodi che si differenziano nella scelta dell'estremo verso mare del tratto di profilo sottomarino da considerare. Per CAROBENE & BRAMBATI (1975) la zona a barre e truogoli, identificata come la zona dinamica della spiaggia sottomarina, ha come limite inferiore il piede della barra più esterna. BRAMBATI & FINOCCHIARO (1988) evidenziano però alcune difficoltà nell'identificazione univoca di questo limite, soprattutto in mancanza di una forma ben distinta di barra esterna.

HALLERMEIER (1978, 1981) propone un metodo matematico per l'individuazione del limite del profilo attivo della spiaggia sottomarina (profondità di chiusura), che utilizza i parametri di altezza e periodo dell'onda incidente sul litorale considerato. Viste le difficoltà di cui sopra e dato che all'interno del presente studio il calcolo della pendenza è finalizzato a valutare l'interazione del fondale con il moto ondoso, si è ritenuto più corretto utilizzare quest'ultimo metodo. Esso permette una determinazione univoca di tale limite applicabile anche dove la barra non sia presente. Secondo HALLERMEIER la profondità di chiusura (d_1) è data da:

$$d_1 = 2,28 H_{s0,137} - 68,5 \cdot (H_{s0,137}^2 / g T_s^2)$$

dove $H_{s0,137}$ è l'altezza dell'onda significativa sotto costa che ha una frequenza di 0,137% (12 ore) in un anno, T_s è il periodo associato all'onda e g l'accelerazione di gravità. Utilizzando per i litorali considerati valori di H_s e T_s grossomodo compresi entro il range 1,8-2,5 m e 5-6 s (CNR, 1976; TOFFOLO & TOMASINO, 1984; CVN, 1985) si ottengono valori di d_1 compresi tra 3,5 e 4,5 m. Considerando il margine d'errore nella determinazione dell'altezza dell'onda sotto costa e

⁴ Le presenze turistiche nel 2010 nei comuni balneari veneziani ammontano a 33,3 milioni, di cui 10,4 milioni a Bibione e Caorle, 11,7 milioni a Eraclea, Jesolo e Cavallino, 9,1 milioni a Venezia, 2,1 milioni a Chioggia (fonte: Regione Veneto).

confortati dalla corrispondenza tra il passaggio tessiturale tra sabbie e sabbie pelitiche (BRAMBATI *et al.*, 1988) e l'isobata -5 m, quest'ultima profondità è stata considerata la più opportuna (PILLON, 1999).

Il valore della pendenza è stato calcolato quindi come rapporto tra la profondità -5 m e la sua distanza dalla linea di riva, sia essa naturale o antropica.

- **Ampiezza della spiaggia emersa**

È un altro indicatore fondamentale della capacità del litorale di assorbire un evento di mareggiata. Questa risulterà maggiore nel caso in cui sia presente una fascia più o meno ampia di dune attive, per definizione direttamente coinvolte nel bilancio sedimentario della spiaggia. Pertanto l'ampiezza è stata considerata comprensiva dei corpi dunari, qualora presenti, considerando come limite verso terra l'inizio della fascia della vegetazione arborea o arbustiva, indicatrice del passaggio tra duna attiva e duna stabilizzata. Nei sistemi fortemente antropizzati il limite è stato invece posto in corrispondenza delle strutture presenti nel retrospiaggia, siano esse argini, opere di difesa o strade costiere.

- **Pressione d'uso**

I litorali in esame sono, per la quasi totalità, interessati da intenso sfruttamento turistico. La pressione d'uso può essere quindi intesa come numero di presenze turistiche, che reca in sé alcune importanti conseguenze in riferimento alle condizioni del litorale. Lo sfruttamento si esplica soprattutto attraverso cospicue e continue movimentazioni di sabbia sulle spiagge interessate, per consentire una completa fruizione turistica. Le spiagge ne risultano spesso spianate, con un profilo topografico anomalo, dal ridotto potere dissipativo. Il mancato sviluppo della vegetazione spontanea, inoltre, aumenta la vulnerabilità della spiaggia nei confronti dell'erosione eolica.

19.1.3.3. *Tendenza evolutiva delle spiagge*

È rappresentata dalla variazione della linea di riva e dei fondali, entro il limite dato dalla profondità di chiusura.



Fig.19.2 - Difese morbide: duna a sviluppo naturale sul litorale di Ca' Roman.

- **Evoluzione della linea di riva (tendenza recente)**

Le fluttuazioni della linea di riva, sia naturali che indotte dall'azione antropica, possono modificare fortemente nel tempo l'ampiezza della spiaggia emersa, sia in negativo, che in positivo. Tali fluttuazioni possono essere di tipo stagionale, comprese in un *range* relativamente basso, che non influenzano la stabilità della spiaggia, oppure a lungo termine, decennali, che provocano variazioni importanti nella superficie di spiaggia emersa disponibile.

- **Evoluzione della linea di riva (tendenza storica)**

L'analisi dell'evoluzione della linea di riva a scala storica, cioè riguardante un periodo di tempo di più di 50 anni, è complementare a quella della tendenza recente in quanto permette di discriminare tra situazioni contingenti e croniche. Variazioni a lungo termine, determinate da una situazione generale di aumento/diminuzione del livello medio mare, subsidenza, posizione rispetto alle fonti sedimentarie e al trasporto *longshore*, possono in alcuni casi venir invertite da situazioni ed eventi contingenti. Come esempio è possibile citare il litorale di Caorle Ponente, il cui *trend* storico negativo si è trasformato in *trend* recente positivo in seguito alla costruzione del molo guardiano di foce Livenza, che ha intercettato il trasporto *longshore*.

- **Trend evolutivo dei fondali**

Individuata la profondità di -5 m come limite della zona dinamica della spiaggia sottomarina, è stata considerata l'evoluzione dei fondali relativamente a questo intervallo spaziale. Questo valore ci dà un indice della stabilità nel tempo dell'efficienza dissipativa della spiaggia sottomarina. Un *trend* evolutivo fortemente negativo determina un aumento della pendenza nel tempo e quindi una diminuzione del potere dissipativo.

19.1.3.4. *Strutture difensive lungo costa e nell'entroterra*

Il litorale in esame presenta numerose tipologie di opere difensive, sia di tipo morbido che rigido. Tale classificazione è stata mantenuta, distinguendo, nel caso delle difese rigide, quelle poste a mare, quelle radenti (cioè aderenti alla linea di riva) e quelle nel retrospiaggia.

- **Difese morbide**

Il litorale veneziano è, per le sue caratteristiche naturali, estremamente favorevole allo sviluppo di dune costiere⁵. La loro presenza, in maniera continua lungo tutto il litorale, è testimoniata fino agli anni '50. Successivamente il boom edilizio, unitamente alla crisi erosiva diffusa, ha determinato lo smantellamento della maggior parte dei cordoni dunosi, sia quelli

⁵ Vedi anche il capitolo 7 "Geomorfologia" e la cartografia di Tav. 9.

immediatamente alle spalle della spiaggia emersa (avanduna), sia quelli dell'entroterra. Oggigiorno solo in alcuni casi sopravvivono ancora dune allo stato naturale, mentre nella maggior parte del litorale la duna non è più presente, sostituita dalla opere rigide di cui si parlerà nei punti successivi. In alcuni tratti rimangono i residui degli antichi cordoni dunosi, inglobati in un sistema spiaggia - retrospiaggia ormai completamente antropizzato. Allo scopo del presente studio sono state inserite in un'unica categoria, indicata con il termine "difese morbide", sia le dune naturali (Fig. 19.2), che quelle più o meno antropizzate, fino ai casi di falsa duna, cioè di argini, costituiti da rilevati in sabbia privi di alcun carattere di naturalità (Fig. 19.3).



Fig. 19.3 - Difese morbide: la "falsa duna" di Bibione, costruita a difesa della porzione urbanizzata del litorale.

La scelta di inserire casi così diversi in un'unica tipologia, è motivata dal fatto che, pur avendo essi un ruolo morfodinamico completamente diverso, assumono significati e funzioni simili per quel che riguarda il potere di difesa dalle mareggiate. Si tratta, in entrambi i casi, di difese senza strutture rigide, in cui l'unico consolidamento può essere costituito dalla presenza di una copertura vegetale. Il potere dissipativo dipende sostanzialmente da elevazione e forma. Per una corretta analisi e valutazione del grado di stabilità e dell'efficienza dissipativa dell'argine o della duna sono stati considerati i seguenti parametri fondamentali:

- *Altezza della difesa*: rappresentata dalla quota media dei punti più elevati del cordone difensivo.
- *Indice di ripidità*: espresso dal rapporto tra elevazione e ampiezza del lato a mare dell'apparato dunoso.
- *Copertura vegetale*: rappresentata dalla percentuale di copertura vegetale delle dune.
- *Indice di discontinuità*: rappresenta il rapporto tra l'ampiezza complessiva dei varchi e la lunghezza totale della difesa, varchi inclusi. I varchi, ovvero le interruzioni alla continuità della difesa, possono essere sia di tipo naturale ("blowout"), che indotti dall'uomo (prevalentemente varchi di accesso alla spiaggia).
- *Presenza di avandune incipienti*: fornisce un'indi-

cazione della naturalità del sito e delle sue buone condizioni generali; inoltre costituisce un'ulteriore, efficace fascia di difesa soprattutto per gli eventi non troppo intensi.

- *Presenza di staccionate frangivento*: costituisce soprattutto un ausilio nella difesa delle dune. Da un lato impedisce il calpestio, fonte di danneggiamento della copertura vegetale e quindi responsabile dell'innesco di processi erosivi; dall'altro limita l'erosione eolica favorendo, laddove possibile, l'accumulo di sabbia.

• Difese rigide

Come difese rigide sono state considerate tutte quelle difese artificiali in cemento armato o pietra, poste in opera per la salvaguardia dell'entroterra. Come già detto, le difese artificiali si suddividono generalmente in due grandi categorie: parallele e trasversali alla linea di riva.

Nella categoria delle difese trasversali si collocano tutte quelle strutture che si protendono dalla spiaggia verso mare, trasversalmente alla linea di riva: pennelli e moli foranei.

La loro funzione è principalmente quella di intercettare il carico solido trasportato dalle correnti lungoriva e offrono perciò una protezione molto limitata, se non nulla, dalle mareggiate.

Sono state quindi considerate solo le difese appartenenti alla categoria delle parallele, che è stata ulteriormente suddivisa in tre classi in base alla posizione delle opere rispetto alla linea di riva. Oltre a questo aspetto, la caratteristica fondamentale che definisce il grado di protezione assicurato dalla difesa è la sua quota massima sul livello del mare.

- *Difese a mare*: si tratta delle opere poste in mare, a una certa distanza dalla linea di riva, generalmente costruite in massi. Queste opere possono essere emerse, come le scogliere frangiflutti che si trovano in destra Tagliamento (Fig. 19.4), oppure sommerse, come le barre artificiali di fronte a Pellestrina. La loro funzione è in entrambi i casi di portare l'onda a



Fig. 19.4 - Difesa a mare emersa presso il faro di Punta Tagliamento sul litorale di Bibione.

frangenza prima che essa raggiunga la linea di riva, in modo da ridurre l'energia d'impatto delle onde sulla battigia o sulle strutture radenti. Per questa funzione risultano più efficienti le difese emergenti anche se di maggior impatto paesaggistico.

- **Difese radenti:** si tratta delle opere che sostituiscono la linea di riva, o che hanno un tratto di spiaggia prospiciente molto limitato (~10 m). Possono essere in cemento armato, come la gradonata di Valle Altanea, oppure in pietra, come i murazzi. I murazzi sono presenti generalmente laddove sia necessario preservare i centri abitati che siano direttamente esposti al moto ondoso, come il centro storico di Caorle e i lidi veneziani (Fig. 19.5), e sono perciò molto imponenti, di ampia sezione e altezza tale da non essere superati dalle onde più alte.



Fig. 19.5 - Difesa rigida radente: il murazzo del Lido di Venezia.

- **Difese del retrospiaggia:** in genere si tratta di muretti e passeggiate rilevate rispetto alla spiaggia che si trovano nell'entroterra sul limite tra spiaggia e centro urbano. Hanno la funzione primaria di impedire l'insabbiamento delle zone residenziali del retrospiaggia, ma si dimostrano valide anche come difesa dall'acqua alta, qualora la spiaggia venga completamente sommersa. In questa categoria ricadono ad esempio i muretti di Caorle Levante. Rientrano in questa tipologia di difesa anche i muri paraonde costruiti appositamente per proteggere dal moto ondoso e dall'acqua alta le zone del retrospiaggia. Ne troviamo un esempio lungo il litorale di Bibione, nel suo tratto orientale, o sui litorali del Cavallino e Jesolo (Fig. 19.6).

19.1.4. Banca dati

Per la compilazione e l'aggiornamento della banca dati e la successiva quantificazione delle variabili si è reso necessario eseguire sia ricognizioni in campo, sia una raccolta di dati pregressi. L'insieme delle informazioni è stata quindi codificata in una banca dati, riferita a tratti omogenei del litorale.

19.1.4.1. Ricognizioni e georeferenziazione

Tutti i litorali esaminati sono stati oggetto, nel corso



Fig. 19.6 - Difesa rigida del retrospiaggia sul litorale di Jesolo.

del 2005, di una campagna di osservazione diretta qualitativa, completata da riprese fotografiche, durante la quale sono state individuate le tipologie difensive, è stato rilevato lo stato dei litorali e sono stati raccolti i dati per l'aggiornamento della Carta Tecnica Regionale (CTRN) e degli ortofotopiani digitali georeferenziati, riferiti alla levata del 1998. In questo modo è stato possibile segnalare le urbanizzazioni e gli interventi costieri recenti e mappare con precisione i campi di dune eventualmente presenti.

Sulla base di questi dati sono stati individuati tratti omogenei di costa, ovvero i tratti che per tutta la loro lunghezza presentassero le stesse caratteristiche difensive, per un'estensione di almeno 50 m. Tali tratti (cfr. Tav. 16 allegata) sono stati indicizzati con una serie di due o tre lettere dell'alfabeto, dove la prima o le prime due indicano la denominazione del litorale cui appartengono e l'ultima indica la posizione dall'estremo meridionale (lettera A) a quello settentrionale all'interno di uno stesso litorale. Si sono quindi individuati i seguenti tratti: litorale di Isola Verde (da IVA a IVE), Sottomarina (da SA a SK), Pellestrina (da PA a PJ), Lido (da LA a LN), Cavallino (da CVA a CVU), Jesolo (da JA a JK), Eraclea (da EA a EH), Duna Verde (da DVA a DVD), Santa Margherita (da SMA a SMC), Caorle (da CA a CI), Valle Vecchia (da VA a VE), Bibione (da BA a BV).

19.1.4.2. Composizione della Banca Dati

Alle informazioni ricavate mediante rilevamento in campo, si affiancano quelle di bibliografia o di studi effettuati per conto di Enti Pubblici. La banca dati, secondo la suddivisione in comparti, viene descritta di seguito.

Condizioni geologico-morfologiche

Pendenza dei fondali

Per il calcolo della pendenza dei fondali sono stati utilizzati i dati provenienti dai rilievi eseguiti da TE.MA. per conto del *Magistrato alle Acque di Venezia* - Con-

sorzio Venezia Nuova nel 1997 per il Lido (CVN, 1997), nel 2002 per Eraclea, Duna Verde, Porto Santa Margherita, Caorle, Valle Vecchia e Bibione (CVN, 2004a), nel 2004 per Isola Verde, Sottomarina, Pellestrina, Cavallino e Jesolo (CVN, 2004 b).

La distanza tra la linea di riva e la quota di -5 m è stata misurata direttamente sulle sezioni disponibili in formato *Autocad*.

Trend evolutivo dei fondali

Il metodo più corretto per valutare l'evoluzione del profilo della spiaggia sottomarina consiste nella sovrapposizione delle due sezioni di confronto, previo controllo dell'aggancio a terra comune, e nel calcolo delle differenze di area. Dato che l'ubicazione dei profili non coincide necessariamente tra levate batimetriche eseguite da enti diversi in annate diverse, è stato necessario creare dei profili fittizi per operare il confronto. Per ottenere un risultato il più possibile realistico è stato preso in considerazione il rilievo più recente, ossia quello utilizzato per la pendenza dei fondali, poiché in genere più dettagliato, ovvero caratterizzato dalla più alta densità di sezioni rilevate. Sulla base di questi rilievi è stato costruito, per mezzo dell'estensione *3dAnalyst* del software *ESRI ArcGis 8*, un modello digitale dei fondali di ogni tratto di litorale. Per mezzo di un'estensione aggiuntiva, *Easy Profiler*, sono stati estratti i profili in corrispondenza di quelli della levata più vecchia. Tali profili sono stati poi riportati in *Autocad* in sovrapposizione di quelli della levata precedente, ed è stato effettuato il calcolo delle differenze, positive, negative e nette, delle superfici delle sezioni. I limiti su cui sono state tagliate le sezioni (linea di riva e -5 m) si riferiscono al profilo più recente. Il risultato è stato poi diviso per l'intervallo di anni che separa le due levate di confronto, ottenendo così il tasso in m³/m/anno. Successivamente, in base alla posizione dei profili rispetto ai tratti di litorale, si è proceduto all'assegnazione dei valori di tasso, operando una media laddove risultasse necessario. Per il litorale di Isola Verde è stato utilizzato il confronto diretto dei rilievi 1968-1980 e per i litorali di Pellestrina e Lido sono stati utilizzati i dati di CASTELLI *et al.* (1994) relativi al periodo 1968-1992.

Ampiezza della spiaggia emersa

L'ampiezza della spiaggia emersa è stata calcolata utilizzando la linea di riva ricavata dai rilievi effettuati da TE.MA per conto del *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* nel 2002 per Eraclea, Duna Verde, Porto Santa Margherita, Caorle, Valle Vecchia e Bibione (CVN, 2004 a), nel 2004 per Isola Verde, Sottomarina, Pellestrina, Cavallino e Jesolo (CVN, 2004 b), per il litorale del Lido sono state utilizzate le ortofoto del 1998.

Per ogni tratto è stata effettuata la media delle misurazioni effettuate lungo gli stessi transetti utilizzati per il computo dell'evoluzione della linea di riva.

Pressione d'uso

Per la quantificazione della pressione d'uso ci si è avvalsi dei dati ISTAT riportati nell'*Annuario Statistico della Provincia di Venezia Edizione 2000*. Secondo tale studio, il litorale della provincia di Venezia risulta suddiviso nei comprensori balneari di Chioggia (per i litorali di Sottomarina e Isola Verde), Lido, Cavallino, Jesolo, Eraclea, Caorle e Bibione. Pellestrina è l'unico tratto costiero privo di strutture turistico-ricettive. Per ciascun comprensorio viene riportato il "numero di presenze" definito come "numero delle notti trascorse dai clienti nelle strutture ricettive alberghiere o extra-alberghiere". Il peso delle presenze turistiche deve essere considerato in base all'estensione del litorale; le presenze inoltre si distribuiscono in modo diverso sui diversi tratti di litorale e vanno quindi valutate caso per caso. La valutazione è stata fatta sulla base di un "indice di fruizione turistica" (i_t), che assegna un peso diverso (compreso tra 0 e 1), a diverse tipologie, secondo lo schema seguente:

- 0: litorali naturali e non, privi di interesse turistico o non balneabili;
- 0,05: litorali naturali di interesse turistico, adatti alla balneazione ma di difficile accesso, oasi naturali ad accesso limitato;
- 0,1: litorali naturali di interesse turistico e/o naturalistico, privi di infrastrutture turistiche ma interessati da una certa presenza data dalla relativa comodità di accesso;
- 0,6: litorali sfruttati dal punto di vista turistico (spiagge in concessione), forniti di infrastrutture turistiche e sui quali insiste un entroterra caratterizzato in prevalenza da campeggi e/o aree verdi attrezzate;
- 0,8: litorali sfruttati dal punto di vista turistico (spiagge in concessione), fornite di infrastrutture turistiche e sulle quali insiste un entroterra caratterizzato dalla presenza, in misura comparabile, di aree edificate (alberghi o residence) e di campeggi e/o aree verdi attrezzate;
- 1: litorali sfruttati dal punto di vista turistico (spiagge in concessione), fornite di infrastrutture turistiche, sulle quali insiste un entroterra caratterizzato dalla presenza preponderante di aree edificate (alberghi o residence).

Tendenza evolutiva delle spiagge

Evoluzione della linea di riva (tendenza recente)

L'evoluzione della linea di riva recente è stata ricavata dal confronto tra la CTRN della Regione Veneto (aggiornamenti del 1983 dal Tagliamento al promontorio di Caorle; 1987 da Caorle alla foce dell'Adige) e la posizione della linea di riva più recente disponibile dai già citati rilievi (CVN 2004 a, b).

Il confronto è stato effettuato con l'ausilio di un software dello USGS (*Servizio Geologico degli Stati Uniti*), denominato *DSAS, Digital Shoreline Analysis System* (sistema digitale di analisi della linea di riva), utilizzando transetti perpendicolari alla linea di riva equispaziati di 100 m.

Evoluzione della linea di riva (tendenza storica)

Per il *trend* di evoluzione sono stati utilizzati i dati riportati da ZUNICA (1971), relativi ai confronti tra il 1892 e il 1961-62 (fatti salvi alcuni casi in cui il periodo di confronto risulta limitato al 1951), basati sulla cartografia storica.

Tipologia delle strutture difensive lungo costa e nell'entroterra

Le difese morbide e rigide, radenti e del retrospiaggia, sono state caratterizzate in base alla loro elevazione rispetto al livello medio del mare, nota dalla documentazione consultata o misurata durante la campagna di rilevamento del 2000 (FONTOLAN *et al.* 2001). Nei casi in cui erano disponibili più misure, è stato assegnato un valore medio. Analogamente, l'indice di ripidità è stato ricavato sulla base delle misure effettuate. Gli altri indici di efficienza e stabilità delle dune (copertura vegetale, indice di discontinuità, presenza di avandune incipienti e di staccionate frangivento) sono stati desunti mediante osservazione diretta e controllo su ortofoto. In particolare, il grado di copertura vegetale è stato distinto in cinque categorie descrittive: totale, abbondante, discontinua, scarsa, nulla, che possono grossomodo essere assimilate ai cinque stadi evolutivi delle avandune indicati da HESP (1988). Analogamente l'indice di discontinuità è stato diviso in tre categorie: < 10%, tra 10% e 20%, > 20%; la presenza di avandune incipienti e staccionate è stata classificata in tre categorie: presenti, scarse, assenti. Per le difese a mare si è mantenuta la distinzione tra emergenti e sommerse.

Uso del suolo e tipologie insediative dell'entroterra

Per classificare la tipologia dell'entroterra sono state utilizzate classi simili a quelle riportate nel *Programma di Previsione e Prevenzione in materia di Protezione Civile della Provincia di Venezia* (1999) per la definizione del rischio idraulico. Essa prevede la suddivisione del territorio in quattro classi sulla base della densità abitativa; nel nostro caso le classi di densità abitativa sono state ridotte a tre, per la particolare tipologia offerta dalla zona prossima al litorale, contraddistinta in prevalenza da insediamenti a nastro. Le tre classi considerate sono, secondo la definizione riportata nell'*Annuario Statistico della Provincia di Venezia, Edizione 2000* (ISTAT, 2000):

- "Case sparse": le case disseminate nel territorio comunale a distanza tale tra loro da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato.
- "Nuclei di case": la località abitata priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di case contigue o vicine con almeno 5 famiglie e con interposte strade, sentieri, spiazzali, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.

- "Centro abitato": aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di contiguità, caratterizzato dall'esistenza di servizi o esercizi pubblici costituenti la condizione di una forma autonoma di vita sociale.

Secondo quanto indicato nel *Programma di Previsione e Prevenzione in materia di Protezione Civile della Provincia di Venezia* (1999), le aree agricole sono state assimilate, ai fini del rischio, alla tipologia "Case sparse".

E' stata utilizzata una quarta tipologia di uso del suolo ("Area naturale") per i pochi casi di entroterra privi di abitazioni e con presenza di aree naturali.

Infine è stato considerato un valore aggiunto, nei casi in cui l'entroterra risulti compreso nella perimetrazione di un'area SIC ("Sito d'Importanza Comunitaria"), definita sulla base della Direttiva "Uccelli" 79/409/CEE e della direttiva "Habitat" 92/43/CEE. Attualmente i SIC compresi in provincia di Venezia sono i seguenti (Tab. 19.1):

Codice Natura 2000	Denominazione del SIC
IT3250003	PENISOLA DEL CAVALLINO: BIOTOPOLI LITORANEI
IT3250013	LAGUNA DEL MORT E PINETE DI ERACLEA
IT3250023	LIDI DI VENEZIA: BIOTOPOLI LITORANEI
IT3250033	LAGUNA DI CAORLE - FOCE TAGLIAMENTO
IT3250034	DUNE RESIDUE DEL BACUCCO

Tab. 19.1 - SIC compresi in provincia di Venezia (Fonte: www.regione.veneto.it).

19.1.5. Metodologia di calcolo

19.1.5.1. Normalizzazione delle variabili e calcolo degli indici di vulnerabilità e rischio

Come già esposto, per la quantificazione del rischio si è deciso di operare attraverso la definizione preliminare dell'indice di vulnerabilità, che rappresenta una misura della capacità del sistema spiaggia di contrastare l'erosione marina. Tale capacità è valutabile attraverso l'insieme delle condizioni del litorale, rappresentate dai valori delle variabili indicate in precedenza.

In questo caso le variabili utilizzate per la regressione multipla sono solamente 6:

- 1) "Pendenza fondali" "PF", 2) "Trend evolutivo fondali" "TEF", 3) "Ampiezza spiaggia emersa" "ASP", 4) "Evoluzione recente della linea di riva" "ERR", 5) "Evoluzione storica della linea di riva" "ESR", 6) "Pressione d'uso" "PU".

I dati relativi a ogni variabile per ciascun tratto costiero sono stati normalizzati all'interno di un intervallo compreso tra 0 e 4, dove 4 corrisponde alle condizioni di massima vulnerabilità (cfr. Tab. 19.2). E' stata ap-

portata questa significativa modifica rispetto alla versione precedente del calcolo (FONTOLAN *et al.*, 2001), per evitare le discrepanze date dalla discretizzazione dei dati in quattro classi, che vincolava molto il risultato agli intervalli di attribuzione delle classi.

Variabile	0	4
Pendenza fondali	0,0065	0,015
Ampiezza spiaggia	140 m	0 m
Evoluzione dei fondali	30 mc/m/anno	-30 mc/m/anno
Evoluzione storica linea di riva	5 m/anno	-5 m/anno
Evoluzione recente linea di riva	5 m/anno	-5 m/anno
Pressione d'uso spiaggia	0 presenze/m	400 presenze/m

Tab. 19.2 - Intervalli di normalizzazione delle variabili.

Per la normalizzazione sono state utilizzate delle funzioni lineari, con l'eccezione della variabile "PF", dove è stata utilizzata una funzione logaritmica, che meglio si adatta alla normalizzazione di una variabile derivata da un rapporto.

A ciascuna delle variabili è stato quindi attribuito un peso sulla base della rilevanza ai fini della mitigazione del rischio. In questo modo solo le variabili "PF" e "ASP" assumono valore massimo (pari a 1) poiché rappresentano le condizioni di dissipazione dell'energia del moto ondoso, prima a mare e poi sul tratto immediatamente subaereo. Le variabili "TEF" e "ERR" costituiscono un insieme che definisce l'attuale tendenza evolutiva; poiché la loro importanza può essere considerata paritetica, si è deciso di attribuire loro un peso uguale (0,5) con somma 1, evitando in tal modo una ridondanza che potesse inficiare il valore delle due precedenti variabili. Sia "ESR" che "PU" rappresentano due indicatori di potenziale destabilizzazione del litorale, che tuttavia hanno un basso peso nel computo dell'indice di vulnerabilità. Nel primo caso si è deciso di assegnare un peso pari a 0,1, in quanto l'evoluzione della linea di riva è già ben rappresentata dal *trend* recente; nel secondo caso è stato attribuito un peso di 0,2, che corrisponde a una stima del 20% di abbattimento della valenza della spiaggia emersa. L'algoritmo per il calcolo di "Vp" risulta dunque:

$$V_p = PF + SE + 0,5 TEF + 0,5 ERR + 0,1 ESR + 0,2 PU$$

La vulnerabilità potenziale può variare da un minimo e massimo teorici di 0 e 13,2.

La "vulnerabilità reale V_r " che rappresenta la vulnerabilità del litorale, mitigata dalle difese naturali e artificiali, è stata ricavata secondo la procedura descritta in seguito.

Idealmente ciascun tipo di difesa può efficacemente assolvere al suo compito, qualora le condizioni e la

struttura stessa della difesa siano ottimali, come nel caso di un muraio alto e ben consolidato o di una duna molto elevata, ben strutturata e priva di discontinuità. Tuttavia le difese costiere non sempre presentano queste caratteristiche, perdendo quindi efficacia o richiedendo interventi supplementari di rinforzo. In pratica, assumendo cautelativamente che nessuna delle tipologie difensive possa assolvere indefinitamente al proprio compito, può essere stabilita una sorta di graduatoria che identifica come difese più efficaci - sia strutturalmente che temporalmente - quelle rigide.

Per ogni tipo di difesa è stato quindi attribuito un coefficiente di efficacia "C" così ripartito:

- Difese morbide: $C_d = 0,6$
- Difese a mare: $C_m = 0,5$
- Difese radenti e del retrospiaggia $C_e, C_r = 0,8$

Tali coefficienti indicano che le difese rigide (cemento e massi) poste in aderenza o nel retrospiaggia sono in grado di abbattere la vulnerabilità potenziale fino all'80%. Un analogo comportamento si verifica per le altre categorie di difese, nella misura del 50% per quelle a mare (computato stimando cautelativamente un pari abbattimento dell'energia dell'onda) e del 60% per quelle morbide, in virtù della loro maggior fragilità rispetto a quelle rigide. La variabile considerata fondamentale per valutare l'efficacia delle difese è la quota (d). La normalizzazione nell'intervallo 0-4 dei dati relativi alle quote delle difese è stata effettuata utilizzando un valore soglia massimo (quota di sicurezza) di 4 m per le difese rigide radenti e di 3,2 m per quelle del retrospiaggia, giudicate più efficienti a parità di quota, rispetto alle prime. Le difese del retrospiaggia, infatti, vengono più difficilmente investite dall'azione diretta del moto ondoso dissipato in prevalenza dalla spiaggia antistante e devono soprattutto fronteggiare l'aumento di livello del mare spesso concomitante all'evento di mareggiata.

Un discorso a parte è stato fatto per le difese morbide, in quanto la loro efficienza e stabilità non è determinata solamente dal valore di altezza assoluta (in questo caso discretizzata per classi), ma anche da un insieme di 5 variabili (ripidità, copertura vegetale, discontinuità ecc.). L'effetto combinato di queste 5 variabili deve tradursi in un indice di efficienza e stabilità ("IES") che varia da 0 a 1:

$$IES = \frac{\sum V_i}{20}$$

dove V_i indica l'insieme delle cinque variabili descrittive delle difese morbide, la cui importanza è considerata uguale. Il denominatore 20 è dato dalla somma dei massimi valori attribuiti alle variabili e serve per normalizzare l'indice nell'intervallo 0-1.

L'efficacia di ogni difesa " D_i " è rappresentata da:

$$D_i = d * \frac{13,2}{4}$$

dove d rappresenta la quota della difesa normalizzata tra 0 e 4 col metodo sopra esposto e il rapporto $13,2/4$ rappresenta il coefficiente di normalizzazione dei valori delle difese nell'intervallo della vulnerabilità potenziale.

La vulnerabilità reale può quindi essere così definita:

$$V_r = V_p - (D_d * IES * C_d + D_m * C_m + D_r * C_r + D_e * C_e)$$

dove D_d , D_m , D_r e D_e rappresentano i nuovi valori di efficacia (" D_i ") rispettivamente per le difese morbide, le difese rigide a mare, quelle radenti e quelle del retrospiaggia.

Definita la vulnerabilità reale, è semplice calcolare il valore del *rischio*, che tiene in considerazione la valenza della fascia retrostante alle spiagge, definita dalle classi di uso del suolo e delle tipologie insediative dell'entroterra. I massimi valori sono attribuiti quindi ai centri urbani (4) e i minimi alle aree naturali (0), sottintendendo il rischio associato primariamente alle vite umane e subordinatamente al valore economico delle abitazioni e dell'attività produttiva.

Il rischio si ottiene pertanto dal prodotto tra la vulnerabilità reale e la valenza dell'entroterra (" E "):

$$R = V_r * E$$

La valenza di alcune aree naturali costiere (aree SIC) è stata riconosciuta come valore aggiunto e quindi valutata a parte in termini di rischio (" R_2 ") nel seguente modo:

$$R_2 = V_r * (E+1)$$

In Fig. 19.7 sono riassunte schematicamente le variabili utilizzate e il peso assegnato loro per il calcolo di "Vulnerabilità" e "Rischio".

19.2. RISULTATI

19.2.1. Quantificazione della vulnerabilità

Attraverso l'applicazione del metodo già utilizzato nel 2001 e grazie all'aggiornamento effettuato per gran parte dei dati, si è giunti alla quantificazione della vulnerabilità reale e del rischio relativi ai litorali della provincia di Venezia.

Dalla distribuzione dei valori ottenuti della " V_r " e in base alle caratteristiche dei tratti sono state ricavate le seguenti categorie:

V_r	Categoria di Vulnerabilità Reale	% (km)
$\leq 3,3$	Bassa	78,2
$3,3 < R \leq 6,6$	Moderata	17,73
$6,6 < R \leq 9,9$	Elevata	3,57
$R > 9,9$	Molto elevata	0,52

Per ciascuna categoria vengono di seguito descritte le tipologie di litorale riscontrate.

19.2.1.1. Vulnerabilità reale bassa

Il 78% dei litorali indagati, per un totale di circa 69 km, ricade entro il campo di vulnerabilità reale bassa.

In questa categoria sono compresi tratti di litorale caratterizzati storicamente da importanti *trend* erosivi, che hanno determinato la totale scomparsa della spiaggia emersa e l'approfondimento dei fondali. A queste situazioni si è fatto fronte con la costruzione di imponenti opere di difesa in epoca storica, come i murazzi che fronteggiano il centro storico di Caorle, quelli del Lido e di Pellestrina (Fig. 19.8 B, C): tratti CD, LH, LI, e PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ) o dopo la mareggiata del 1966, con le difese radenti di Eraclea (tratti EB, EC, EH), di Duna Verde (tratti DVA, DVC, DVD) e di Jesolo (tratto JG). I *trend* erosivi attualmente non si manifestano attraverso un arretramento della linea di riva, che è stata del tutto artificializzata. In tempi recenti la realizzazione di difese rigide nel retrospiaggia è stata invece effettuata solamente in due casi (tratti JF, IVB), per contrastare situazioni critiche in atto da tempo. Le quote elevate di queste opere consentono di compensare le cattive condizioni morfologiche del litorale, che presenta V_p elevata (sempre $> 7,24$), determinata da spiaggia assente o poco ampia, pendenze dei fondali molto o mediamente elevate e da una generale tendenza erosiva. In alcuni casi, come lungo il litorale di Pellestrina, si è inoltre intervenuti mediante rifluimento per la creazione di una nuova spiaggia. Altri tratti, con condizioni morfologiche nettamente negative, presentano ancora sistemi di dune sufficienti a garantire la protezione dell'entroterra, soprattutto in virtù di quote elevate (tratto BV, dove è inoltre presente un sistema difensivo di barriere distaccate e una coronella in massi a difesa del faro; tratto DVB, con palancola cementizia verso mare).

Tratti di litorale con condizioni morfologiche ed evolutive meno negative ($3,3 < V_p < 6,8$) presentano spesso dune o lembi residuali di dune più o meno antropizzate oppure argini in sabbia, le cui caratteristiche di quota ed efficienza consentono di mitigare una vulnerabilità potenziale comunque significativa. Presentano queste caratteristiche numerosi tratti del litorale di Bibione (BB, BC, BE, BL - cfr. Figg. 19.8E, BM, BN) e alcuni a Sottomarina (tratti SA, SB, SC), Lido (tratti LB, LC, LD), Valle Altanea (tratto SMC) e Caorle (tratto CA). Talora le condizioni negative della spiaggia sono state mitigate mediante ripascimenti (ad es. lungo il Cavallino), che hanno portato all'ampliamento dell'arenile e ridotto sensibilmente le possibilità di esondazione marina. In numerosi casi i litorali presentano sistemi difensivi nel retrospiaggia che, anche se non molto elevati, permettono di compensare efficacemente la vulnerabilità potenziale (come ad esempio nei tratti SF, SG, LF, LJ, CVH, CVF, CVJ, CVK, CVL, CVN, CVO, CVS, CVU, JF, JG, CB, CE).

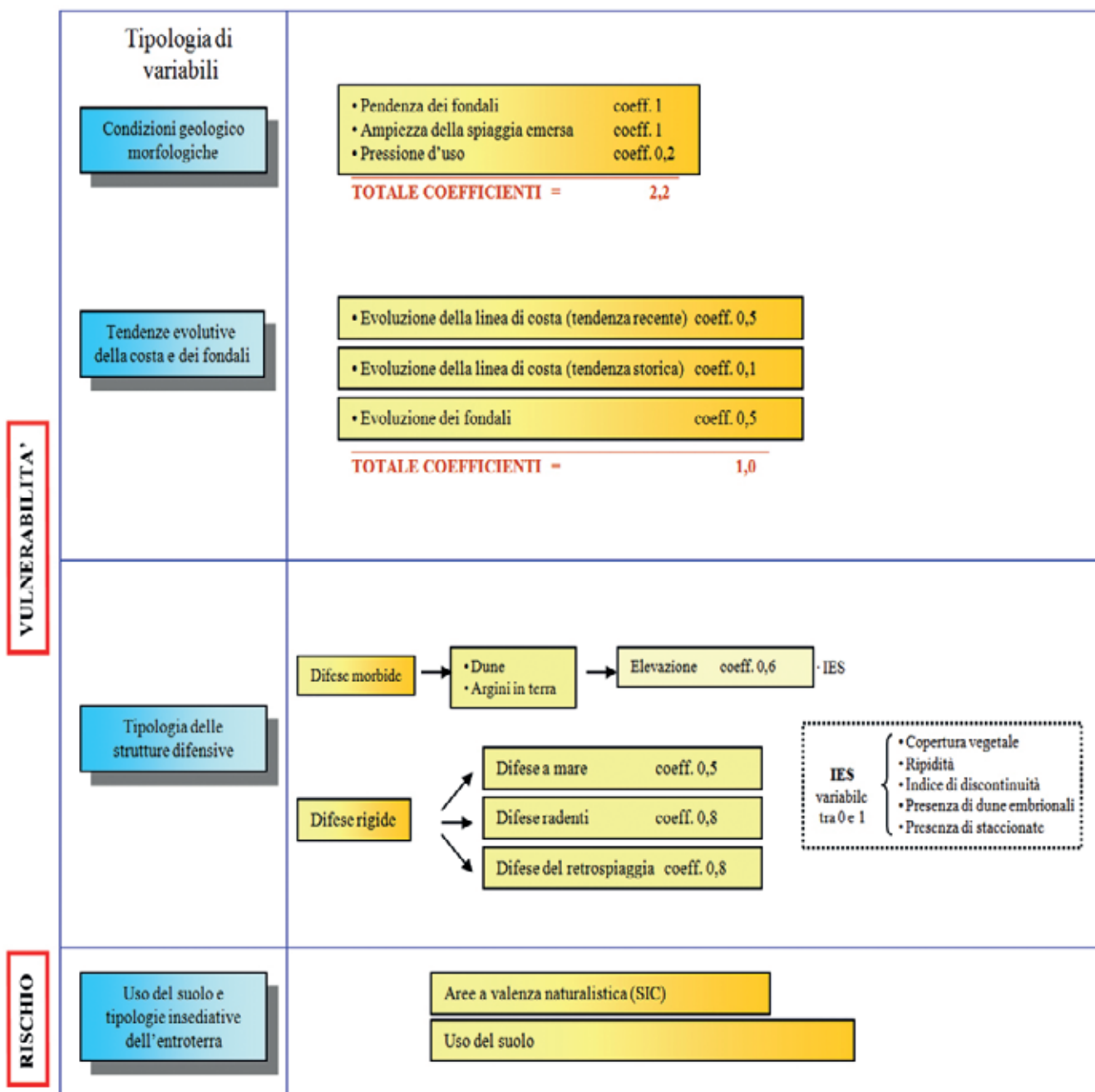


Fig. 19.7 - Schema sinottico delle variabili utilizzate per il calcolo di vulnerabilità e rischio.

Ricadono infine in questa categoria di Vr tratti di litorale con Vp molto bassa ($Vp < 3,3$) e che hanno quindi condizioni morfologiche estremamente dissipative e *trend* evolutivi positivi. Si tratta in generale di sistemi accrezionari posti, ad esempio:

- sopra- e sottoflutto ai moli foranei lagunari, come il settore settentrionale di Sottomarina (tratti da SH a SK), il litorale di Ca' Roman (tratto PA, Fig. 19.8A) e degli Alberoni (tratto LA), la porzione settentrionale di Lido (tratti da LK ad LN);
- in corrispondenza di aree di accrescimento di frecce litorali limitrofe a bocche tidali in rapida evoluzione, come a Porto Baseleghe (tratto BA);
- in aree particolarmente protette, con tipica configurazione a baia, come nel caso di Caorle Levante (tratti da CF a CI, fig. 19.8D).

In alcuni di questi tratti le condizioni estremamente positive di Vp consentono di avere una bassa Vr anche in assenza di opere di difesa, siano esse dune o manufatti (tratti LL, SH, SI, SJ, SK); si tratta di spiagge estremamente ampie, dove l'assenza di dune, dovuta all'azione antropica di spianamento, risulta compensata dalle caratteristiche morfodinamiche estremamente positive.

19.2.1.2. Vulnerabilità reale moderata

Risultano compresi in questo intervallo circa 16 km di litorale (pari al 18% circa). Questi casi sono accomunati da condizioni morfologiche ed evolutive che, nel complesso, portano a valori mediamente elevati (anche se non critici) di vulnerabilità potenziale ($3,6 < Vp < 8,63$) solo marginalmente mitigati, qualora presenti, dalle difese.



Fig. 19.8 - Esempi di tratti di litorale a bassa "Vr": A: Foto dall'elicottero dell'isola di Ca' Roman (foto Emiliano Ramieri), B: il murazzo a difesa dell'isola di Pellestrina, C: il murazzo a difesa del centro storico di Caorle, D: la spiaggia di Levante di Caorle, E: tratto del litorale di Bibione con dune parzialmente antropizzate.



Fig. 19.9 - Tratto del litorale di Jesolo dove è stato effettuato un intervento di ricostruzione delle dune.

Nella maggior parte dei casi, questa categoria è rappresentata da un sistema spiaggia-difesa morbida (tratti IVA, IVC, IVD, SD, JB, LG, CVE e da BF a BK), che può potenzialmente garantire un'efficace azione dissipativa del moto ondoso, anche se episodi frequenti e particolarmente intensi di mareggiata possono renderli vulnerabili. Inoltre, lungo questi tratti, è spesso riscontrabile una cattiva o mancata gestione delle dune e degli argini, con degrado, eccessiva antropizzazione e mancanza di adeguate protezioni, che abbattano l'efficacia delle difese e non garantiscono quindi la sicurezza a lungo termine di questi settori costieri.

In questa casistica ricadono, inoltre, anche alcuni contesti erosivi, con valori medio alti di V_p , lungo i quali sono presenti argini (BR) o dune costiere naturali (tratti EA, VB e VC) o ricostruite di recente (JK, Fig. 19.9); per tali tratti va sottolineata la condizione di equilibrio precario, che potrebbe portare a una sensibile riduzione futura dell'ampiezza dell'arenile, con contestuale incremento della vulnerabilità.

Nella categoria di V_r moderata ricadono, infine, alcuni tratti con valori moderati di V_p , associati a un contesto evolutivo stabile e a condizioni dissipative in parte garantite da spiagge sufficientemente ampie o da pendenze dei fondali medio-basse. In questi casi è la mancanza di un sistema integrato spiaggia-duna (o argine) a incrementare la vulnerabilità, come riscontrato localmente a Sottomarina (SE), Jesolo (JD), Cavallino (CVI) e Bibione (BD); oppure tale mancanza non è sopperita dalle misure difensive attuate, che risultano inefficienti come lungo i tratti ED, EF e BF.

19.2.1.3. Vulnerabilità reale elevata

Ricadono in questa classe circa 3 km di litorale (pari al 4% circa). Sono tratti costieri privi o quasi di opere di difesa naturali o antropiche, in contesti da moderatamente a fortemente erosivi, con ridotta capacità dissipativa della spiaggia e dei fondali.

In due casi le condizioni estremamente dinamiche, legate alla vicinanza di bocche o foci fluviali (VE, BS),

determinano *trend* fortemente erosivi con superfici di spiaggia ridotte, ma spiaggia sottomarina non eccessivamente acclive. Gli altri casi coincidono con le porzioni prive di difese lungo il litorale di Jesolo (JE, JH, JJ) dove la spiaggia, di recente rifluta e ampliata, compensa solo parzialmente un contesto storico fortemente erosivo, con pendenze dei fondali in genere significativamente elevate.

19.2.1.4. Vulnerabilità reale molto elevata

Un valore molto elevato di V_r si riscontra in un unico tratto costiero del litorale di Bibione (BU) caratterizzato da un elevato *trend* erosivo, con capacità dissipative ormai ridotte e privo di difese.

19.2.2 Quantificazione del rischio

La tipologia di utilizzo dell'entroterra determina l'attribuzione di un valore più o meno elevato di rischio alle situazioni appena descritte. Analogamente a quanto effettuato per la vulnerabilità, sono state quindi individuate le quattro categorie di rischio sotto riportate.

R	Categoria di Rischio	% (km)
$\leq 13,2$	Trascurabile	86%
$13,2 < R \leq 26,4$	Moderato	12,3%
$26,4 < R \leq 39,6$	Medio	1,7%
$> 39,6$	Elevato	0%

E' stata esclusa a priori la creazione di una categoria di rischio "molto elevato", in quanto, secondo quanto riportato nel D.P.C.M. 29.09.98, essa prevede la significativa possibilità di perdita di vite umane, caso da escludere nel contesto del rischio da mareggiata per i litorali veneti, fatti salvo casi legati ad accidentalità. Per ciascuna categoria di Rischio vengono di seguito descritte le tipologie dei litorali.

19.2.2.1. Rischio trascurabile

La grande maggioranza dei tratti costieri, che rappresentano in termini di estensione l'86% delle coste della provincia di Venezia (pari a circa 76 km), risulta a rischio trascurabile in base ai dati disponibili e alla metodologia di calcolo applicata nel presente lavoro. Ciò grazie alla bassa vulnerabilità reale (V_r sempre inferiore a 3,3) da cui sono caratterizzati.

In molti casi la situazione di sicurezza è diretta conseguenza di condizioni morfodinamiche buone ($V_p < 3,3$); queste ultime però possono essere soggette a cambiamenti significativi a scala temporale medio-lunga, in virtù di modificazioni esterne al sistema spiaggia (decremento degli apporti solidi fluviali, subsidenza ecc.). Tali cambiamenti possono avere conseguenze importanti soprattutto laddove siano presenti aree urbanizzate nell'immediato retrospiaggia. In tali condizioni il sistema non ha gradi di libertà e non può quindi evolversi, in risposta ai cambiamenti, nella direzione di un nuovo equilibrio, come avverrebbe

be in condizioni naturali. Lo stato dei litorali va quindi attentamente monitorato nel tempo, in modo da fornire risposte gestionali adeguate, prima dell'instaurarsi di condizioni critiche.

Nei casi appartenenti a questa classe, in cui le condizioni morfodinamiche sono invece fortemente negative, la sicurezza è garantita da difese particolarmente imponenti ed efficaci. In questo modo anche aree fortemente antropizzate, con centri abitati e zone turistico residenziali nell'immediato retrospiaggia, risultano garantite nella protezione dalle mareggiate. E' chiaro che, essendo la sicurezza di queste aree totalmente affidata alle opere, queste andranno correttamente monitorate e devono essere garantiti la manutenzione e il controllo, anche in riferimento alle quote (soprattutto in aree soggette a subsidenza).

19.2.2.2. *Rischio moderato*

Una modesta ma significativa percentuale (circa il 13%, corrispondente a circa 11 km di litorale) della costa della provincia di Venezia risulta caratterizzata da rischio moderato. Si tratta di litorali la cui Vr risulta compresa tra 3,3 e 6,6, per i quali la fascia costiera non è quindi completamente in grado di dissipare e contenere gli eventi da mareggiata e la presenza di opere di difesa non è sufficiente a compensare questa mancanza.

Ciò significa che non si esclude la probabilità che accadimenti calamitosi abbiano conseguenze sull'entroterra, sebbene i conseguenti danni sociali ed economici possano essere assunti come di tipo marginale. Di questi litorali circa 6,5 km sono caratterizzati da una fascia dell'entroterra fortemente urbanizzata (categoria "centro abitato"); è evidente come l'urbanizzazione della fascia costiera, avvenuta senza alcun criterio di pianificazione razionale, rappresenti una delle problematiche maggiori lungo questi litorali, di cui soltanto circa 1600 m ricadono nella tipologia aree agricole / case sparse.

In tutto 6 km si presentano completamente privi di difese sia naturali che antropiche, rendendo evidente come non sempre all'urbanizzazione del territorio sia conseguita una gestione della fascia costiera; anzi, la mancanza di difese è per la maggior parte imputabile proprio all'antropizzazione che ha determinato su gran parte dei litorali la distruzione delle dune costiere.

19.2.2.3. *Rischio medio*

I tratti costieri che possono essere considerati a rischio medio sono soltanto due, situati lungo il litorale di Jesolo (JE) e di Bibione (BS) e si estendono per un totale di 1,5 km, pari soltanto a 1,7% circa del litorale indagato.

Si tratta di settori fortemente urbanizzati, soggetti a regimi erosivi e privi di opere di difesa. Per questi litorali è ipotizzabile che eventi significativi di mareggiata arrechino danni minori e allagamenti agli edifici e alle infrastrutture turistiche, con conseguenze negative per le attività socioeconomiche.

19.2.3. *Valenze ambientali*

Poiché il D.P.C.M. 29.09.98 prevede espressamente di considerare nella valutazione del rischio i danni al patrimonio ambientale, un'ulteriore quantificazione è stata effettuata considerando nella categorizzazione dell'uso del suolo la presenza di aree SIC, come dettagliato nel paragrafo 19.1.4.2. I risultati mostrano come i tratti interessati siano numerosi, pari a circa 37 km.

In alcuni casi il rischio risulta, come logico aspettarsi, significativamente più elevato in seguito al nuovo calcolo; da ciò sono esclusi i siti che presentavano Vr fortemente negativa e che quindi mantengono valori negativi nonostante il valore aggiunto delle aree SIC. In questa tipologia di tratti costieri gli interventi gestionali vanno programmati con particolare cura, a prescindere dal vincolo legislativo che prevede per essi la necessità di effettuare una valutazione d'incidenza. Nella grande maggioranza dei casi l'area SIC non interessa solo l'entroterra (come nel caso dei tratti LL e PJ), ma comprende la spiaggia o l'insieme spiaggia-duna quando quest'ultima è presente. Proprio in questi contesti l'obiettivo primario non è dato dalla protezione o conservazione dell'entroterra, bensì della spiaggia stessa. Il ricorso alle difese rigide deve quindi essere evitato o valutato con estrema attenzione; di converso dovranno essere studiate attentamente soluzioni di tipo morbido (rifluimenti) o interventi di ingegneria naturalistica (piantumazioni, staccionate frangivento ecc.) con estremo rigore metodologico. E' necessario infatti rispettare la naturale dinamicità degli ambienti costieri ed evitare l'introduzione di specie vegetali alloctone o non corrispondenti al preciso contesto morfo-ecologico.

19.2.4. *Considerazioni conclusive*

L'importanza di una classificazione in termini di vulnerabilità e rischio è quella di costituire anche un ordine di priorità di intervento. Le zone caratterizzate dai valori di rischio più elevati saranno ovviamente da considerare prioritarie in una strategia di intervento, rispetto a quelle caratterizzate da rischio minore. All'interno del primo gruppo si identificano, in base alla vulnerabilità più o meno elevata, i tratti di litorale che necessitano interventi urgenti. Si è ritenuto opportuno, in sede conclusiva, segnalare i casi di rischio e le differenti cause che li determinano, fornendo inoltre alcune indicazioni sulle strategie di mitigazione più opportune.

19.2.4.1. *Isola Verde e Sottomarina*

Lungo il litorale tra il porto di Chioggia e la foce dell'Adige la zona maggiormente critica risulta quella di Isola Verde, la più meridionale. L'elevato dinamismo di questo litorale, compreso tra le foci fluviali di Brenta e Adige, rende difficili gli interventi di sistemazione. Il settore centro-meridionale, in particolar modo, era stato giudicato a rischio nella precedente valutazione del rischio da mareggiata (FONTOLAN *et*

al., 2001) avendo sofferto di fenomeni erosivi intensi, con forte riduzione della superficie di spiaggia e distruzione delle dune per un tratto di 750 m. Proprio questo tratto è stato interessato da un intervento del *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* iniziato nel corso del 1998 e concluso nel 2002. Le opere hanno portato alla messa in sicurezza di una parte di circa 600 m (tratto IVB) attraverso il rifluimento della spiaggia, la costruzione di un argine cementizio e la formazione di una nuova duna mediante l'utilizzo di staccionate frangivento (Fig. 19.10). L'intervento è stato invece solo parziale per il tratto immediatamente a nord (IVC), dove non è stata realizzata la struttura in cemento e per il quale permane (per un'estensione di circa 139 m) una situazione di moderata vulnerabilità reale. Ne consegue un rischio moderato, vista la presenza nell'entroterra di un'area turistica urbanizzata ("nuclei di case").

L'elevato dinamismo di questo paraggio obbliga a una certa cautela sull'effettiva riuscita nel tempo dell'operazione. Le incognite sono molteplici, in quanto anche la realizzazione della palancola a pelo d'acqua, che allunga il molo guardiano nord dell'Adige di 540 m, avrà un'influenza significativa sulla circolazione sottocostiera e su quella fluviale, sottraendo inevitabilmente il carico solido al fondo che alimentava il tratto in questione. Questa incertezza è messa in evidenza dal fatto che, nonostante il rifluimento, il *trend* erosivo di questa parte di litorale resta confermato dal confronto tra la CTR 1987 e i rilievi del 2004 (CVN, 2004a; 2004b; 2004c), che indicano un tasso medio annuo di evoluzione della linea di riva per il tratto centro-meridionale (tratti IVA, IVB, IVC), che va da -0,36 m a -2 m.

E' auspicabile che per le dune ricostruite, ma il discorso vale anche per le altre dune della zona, venga attuata una efficace politica gestionale, che favorisca l'attecchimento di vegetazione autoctona sulle dune di neoformazione e conservi adeguatamente i cordoni ancora presenti. Va rispettata la zonazione naturale



Fig. 19.10 - Tratto del litorale di Isola Verde protetto da una difesa rigida parzialmente interrata, alle spalle è visibile un discutibile intervento di stabilizzazione della duna con piantumazioni e reti frangivento.



Fig. 19.11 - Un tratto del litorale di Sottomarina privo di difese (tratto SE).

della vegetazione, evitando l'inserimento di specie alloctone o non proprie del contesto ecologico e morfologico ed è consigliabile l'uso di materiali biodegradabili per le protezioni frangivento.

Per quanto riguarda il litorale di Sottomarina la situazione generale è buona, poiché l'arenile, soprattutto nel settore centro-settentrionale, è molto ampio e in progradazione. In alcuni punti la spiaggia emersa è ampia anche 300 m. Tuttavia un tratto, che si estende per circa 300 m (SE), presenta rischio moderato (Fig. 19.11).

Sebbene caratterizzata da una spiaggia molto ampia (206 m), quest'area manca di difese dalle acque alte. Conseguentemente, poiché l'entroterra risulta intensamente urbanizzato, il valore del rischio è più elevato rispetto agli altri tratti dello stesso litorale. Data la notevole estensione di arenile a disposizione sarebbe certamente di facile sistemazione un muretto di protezione dalle acque alte, tra l'altro già realizzato per il settore più settentrionale (SG).

Potrebbe anche essere facilmente programmata una ricostruzione di dune, che risulterebbe qui particolarmente favorita dall'orientazione del litorale, che viene investito quasi ortogonalmente dai venti di bora, principali responsabili della costruzione di dune in nord Adriatico.

Tutto il settore meridionale è difeso da cordoni dunosi. Tuttavia le dune si trovano spesso in condizioni critiche, con il fianco a mare molto ripido, o addirittura terrazzato, e con frequenti interruzioni e varchi di accesso alla spiaggia che non sempre sono attrezzati in modo da impedire l'erosione da parte del vento e per il passaggio delle persone. Inoltre, i frequenti spianamenti meccanici che vengono operati sulla spiaggia vanno spesso a intaccare il piede delle dune (Fig. 19.12).

In considerazione del fatto che le dune rappresentano una difesa che coniuga il valore estetico, il valore ambientale e l'efficacia protettiva, sarebbe auspicabile istituire una politica di salvaguardia e di ripristino di questo patrimonio ambientale, sull'esempio di quanto già fatto lungo altri litorali del Veneto.



Fig. 19.12 - Dune fortemente degradate nella porzione meridionale del litorale di Sottomarina.

19.2.4.2. Lido

Lungo il litorale del Lido è stato identificato un unico tratto a rischio moderato (tratto LE), localizzato nella porzione meridionale del litorale, per una lunghezza di circa 280 m. In corrispondenza del limite verso terra della spiaggia emersa, ampia in media 129 m, si sono formati accumuli eolici spontanei che non possono essere considerati una difesa, in quanto privi di alcun carattere di stabilità e continuità (Fig. 19.13).

L'assenza di difese e la presenza del complesso ospedaliero di S. Camillo (Fig. 19.14), posto a bassa quota direttamente alle spalle della spiaggia, concorrono all'identificazione di un rischio moderato per questo tratto, per il quale esiste una certa probabilità di inondazione in caso di mareggiata associata all'acqua alta.

L'ampiezza elevata della spiaggia emersa consentirebbe, con relativa semplicità, la costruzione di una duna, che potrebbe avvenire anche in modo spontaneo, vista la notevole efficacia del trasporto eolico lungo il litorale. Il processo di crescita e stabilizzazione della duna andrebbe favorito con l'utilizzo di frangivento e con idonea fitostabilizzazione, anche in più fasi, che garantisca anche un'adeguata protezione dalla deflazione di sabbia verso le strutture dell'ospedale.



Fig. 19.13 - Accumuli eolici spontanei che si formano addossati alle strutture del San Camillo.



Fig. 19.14 - Tratto a rischio moderato sul litorale del Lido di Venezia, sul retro spiaggia si affacciano direttamente le strutture ospedaliere del San Camillo.

19.2.4.3 Cavallino

In tutta l'estensione del litorale del Cavallino, sono stati identificati due soli tratti a rischio moderato (CVE, CVI). Il primo (esteso 220 m) presenta come difesa un piccolo argine che raggiunge i 3,2 m di quota, ma che per le sue condizioni di bassa efficienza non è in grado di compensare le condizioni morfologiche e dinamiche non ottimali. Il secondo, per una lunghezza di 350 m circa, è privo di strutture di difesa che sono rappresentate, nei tratti adiacenti, da un muro paraonde. L'unico limite fisico tra il campeggio e la spiaggia emersa è qui invece costituito da una rete.

Per questi tratti, soprattutto nel secondo caso, è auspicabile che venga realizzato, in continuità con i manufatti e con le nuove dune costruite dal CVN, un muro antisifonamento. Un nuovo cordone dunoso, viceversa, potrebbe essere realizzato solo se si prevede l'ampliamento ulteriore dell'arenile mediante rifluimento.

19.2.4.4. Jesolo

Il litorale di Jesolo Lido soffre di problemi cronici di erosione e rischio da mareggiata. La causa principale è stata la costruzione edilizia intensiva, fin dagli anni '50, che non tenne conto della dinamicità che caratterizza i litorali dell'Alto Adriatico. L'occupazione dello spazio costiero avvenne qui con l'ottica della massima aderenza al mare, a discapito del cordone dunoso che fu smantellato. In seguito, si continuò sulla stessa linea aggravando sempre di più il problema. Le mareggiate del 1966-67 resero evidente l'errore che era stato fatto e fu quindi necessaria l'attuazione di sistemazioni atte a migliorare la protezione del litorale. Tuttavia il litorale rimase in precarie condizioni di sicurezza fino ai tempi recenti. Solamente nel 1999 il *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* ha intrapreso una campagna di lavori di riqualificazione del litorale di Jesolo Lido, all'interno del vasto progetto di difesa dalle acque alte e dalle mareggiate dei litorali posti sotto la propria competenza. I lavori eseguiti, tra i quali un vasto rifluimento, hanno consentito la messa in sicurezza di ampi tratti e mi-

griorato le condizioni morfologiche e paesaggistiche. Tra di essi assume particolare rilevanza un settore di circa 2130 m (JC) dove, in corrispondenza di un entroterra densamente urbanizzato, è stata realizzata una struttura di difesa nel retrospiaggia. Questa consta di un'ampia gradonata che sale dalla spiaggia fino a un percorso pedonale, posto a una quota media di 2,5 m (CVN, 2004a; 2004b; 2004c). Continuando verso est, il successivo tratto (JD) si presenta però tuttora privo di qualsiasi protezione e lungo il retrospiaggia corre una passeggiata, realizzata in piastrelle di cemento, senza alcuna valenza difensiva. Come evidenziato in precedenza, lungo questo settore si è costruito fin dagli anni '50 senza nessun criterio di compatibilità ambientale né di sicurezza per gli edifici stessi. L'unica difesa, posta in opera dopo la mareggiata del 1966, consiste in una palancola in calcestruzzo infissa nella spiaggia ad una distanza di 30 m circa dagli edifici e ora soffolta. Questo tratto fa registrare pertanto un rischio moderato, che risulta ancora più elevato (rischio medio) nel settore posto immediatamente a est (JE) e lungo circa 1000 m (Fig. 19.15).

Si tratta di settori fortemente urbanizzati che hanno subito evidenti danni in occasione delle mareggiate del 66/67. Nonostante l'ampliamento della spiaggia, dopo l'intervento di rifluimento nel 1999 che ha portato a un'ampiezza intorno agli 80 m, l'assenza di difese dalle acque alte rende critica la situazione in quest'area, per la quale sussiste la probabilità di allagamento dell'immediato entroterra in caso di mareggiata con $T_r=10$ anni e concomitante acqua alta. Per questi tratti adiacenti sarebbe auspicabile la messa in opera di una difesa dall'ingressione marina. Tale difesa potrebbe essere del tipo rigido sull'esempio e in continuazione di quella presente nel tratto JC, oppure del tipo morbido, con la costituzione di un cordone dunoso di altezza e ampiezza adeguati, debitamente fitostabilizzato e protetto da staccionate e passerelle di accesso alla spiaggia, sull'esempio di quanto fatto sul litorale del Cavallino e in destra Piave (JK). Segue una porzione di litorale (tratti JG e JF) che mostra condizioni di sicurezza grazie alla presenza di opere di difesa rigide, tra cui una gradonata con muro paraonde con sommità a 2,7 m realizzata recentemente lungo 1700 m (tratto JF, Fig. 19.16).

Tutta la fascia orientale del litorale di Jesolo, caratterizzata da un entroterra mediamente urbanizzato (nuclei di case), presenta rischio moderato (tratti JH, JJ, JI, JK), dovuto in primo luogo alle condizioni morfologiche ed evolutive. La completa assenza di difese fa sì che sussistano condizioni di vulnerabilità elevata per JH e JJ, mentre nel caso JI è presente un argine/duna con una bassa efficienza in quanto privo di vegetazione e di protezione. Il tratto più orientale (JK) era stato interessato già prima del 2000 da un intervento di risistemazione delle dune, che però sono state investite e parzialmente distrutte dalla mareggiata del novembre 2000 (Fig. 19.17). Le dune, nuovamente ricostituite, non hanno però quota sufficiente (in media



Fig. 19.15 - Tratto privo di difese sul litorale di Jesolo.



Fig. 19.16 - Difesa rigida costruita in tempi recenti sul litorale di Jesolo.



Fig. 19.17 - Porzione settentrionale del litorale di Jesolo: erosione della spiaggia e delle dune in seguito alla mareggiata del novembre 2000.

3 m) a garantire una difesa adeguata. Inoltre la linea di riva appare in netta regressione con quasi -3,8 m/anno e non garantisce quindi capacità difensive a lungo termine. Infatti, pur essendo attualmente la spiaggia totale, incluse le dune, molto ampia (123 m), lo spazio emerso prospiciente le dune è ridotto. Le dune vengono quindi facilmente aggredite dalle onde che non risultano abbastanza smorzate dalla spiaggia e dai fondali piuttosto ripidi. Questa porzione di litorale va quindi monitorata e mantenuta con interventi continui. Non è invece auspicabile, per esigenze morfodinamiche e paesaggistiche, intervenire con strutture rigide.



Fig. 19.18 - La spiaggia di Eraclea ampliata in seguito al rifluimento.

19.2.4.5. Eraclea Mare

Il litorale di Eraclea Mare, dopo la mareggiata del 1966, è stato munito di difese rigide per quasi tutta la sua lunghezza. L'intervento di rifluimento realizzato nel 2004 ha permesso di ricostruire la spiaggia in alcuni tratti dove era stata completamente erosa. Si è ottenuto così un miglioramento delle caratteristiche paesaggistiche e turistiche dell'area, ma anche di quelle morfologiche, grazie al ripristino della spiaggia, che funge da naturale difesa dissipando l'energia delle onde.

Nella mareggiata del novembre 2000 infatti si era osservato che l'impatto diretto del moto ondoso sulle difese poteva danneggiarle in maniera consistente. Oltre all'energia intrinseca del mare, si abbatterono sui manufatti materiali presi in carico dalla mareggiata, come tronchi d'albero e massi tolti ai pennelli o ai rinforzi della palancola, causando danni in grado di deteriorare in breve tempo i manufatti stessi. Si constatò inoltre che, nonostante la quota di 3 m del muro paraonde, le onde, frangendosi direttamente sulla struttura, avrebbero potuto sormontarla allagando le aree retrostanti. Per tali motivi la costruzione di una nuova spiaggia è risultata particolarmente importante ai fini della mitigazione degli eventi di alta energia. Nello stesso tempo, la presenza di una spiaggia emersa di ampiezza adeguata nelle zone dove sono presenti le dune costituisce una difesa per le dune stesse, garantendo l'attenuazione dell'energia del moto ondoso e la possibilità di riequilibrio spontaneo della duna, qualora venisse intaccata durante gli eventi più intensi.

Per gli stessi motivi appare auspicabile l'intervento di rifluimento programmato per costituire una nuova spiaggia anche lungo il litorale di Valle Altanea (Duna Verde e Porto Santa Margherita).

Nonostante l'intervento di rifluimento effettuato, due tratti (ED ed EF) conservano un valore di rischio significativo (moderato) anche se minore rispetto alle condizioni pre-rifluimento, per una lunghezza di 240 e 174 m rispettivamente. Tali tratti sono ubicati nel settore nord-orientale che è difeso dalla sola palancola soffolta e sono privi delle dune presenti nei

tratti adiacenti. Dove le dune sono sopravvissute alle spalle della palancola, l'intervento di rifluimento offre nuova possibilità di alimentazione eolica per le dune stesse e quindi ne assicura una migliore possibilità di conservazione nel tempo anche nel fronteggiare gli eventi erosivi occasionali (Fig. 19.18).

Sarebbe perciò auspicabile la costituzione di nuove dune in questi tratti e la riqualificazione di quelle presenti nei tratti adiacenti, così da costituire una difesa dalle mareggiate che sia nel contempo conciliabile con gli aspetti paesaggistici e l'utilizzo turistico dell'area.

19.2.4.6 Valle Vecchia

Il litorale di Valle Vecchia presenta nella sua estremità orientale un settore fortemente dinamico legato alla vicinanza della Bocca di Baseleghe; questo contesto ha determinato la progressiva erosione dell'estremità più vicina alla bocca per una lunghezza di circa 450 m (tratto VE). L'elevata vulnerabilità reale riscontrata è dovuta soprattutto al rapido arretramento della linea di riva che ha portato alla quasi totale scomparsa della spiaggia; il rischio moderato deriva invece dalla bassa antropizzazione dell'entroterra ("Aree agricole"). Nonostante l'elevata valenza ambientale del territorio retrostante, che ricade nell'area SIC "Laguna di Caorle e Foce del Tagliamento" e che determina l'incremento, se computato, del valore di rischio, è auspicabile che non vengano effettuati interventi in questa zona, che può ragionevolmente essere mantenuta libera di evolversi.

19.2.4.7 Bibione

Sul litorale di Bibione le condizioni morfologiche ed evolutive, unitamente alla presenza di argini e dune costiere residue, garantiscono a circa 6,7 km di litorale una vulnerabilità reale bassa o molto bassa.

Quando i valori di ampiezza della spiaggia diminuiscono sensibilmente per cause naturali o dove l'azione antropica ha danneggiato le difese naturali, si assiste però ad una certa criticità del litorale.

Sulla porzione occidentale, per una lunghezza totale

di 1,4 km è stato evidenziato un rischio moderato (tratti BF, BG, BH, BI). I tratti citati presentano caratteristiche morfodinamiche simili; sono privi di difese rigide e presentano sistemi dunosi degradati con frequenti varchi, aree prive di vegetazione e quote irregolari.

Il tratto BF, con una lunghezza di circa 300 m, è quello che presenta la duna con le quote maggiori (tra 3,7 e 4,6 m), ben lungi però, a causa delle modificazioni antropiche intervenute, dall'esplicitare in maniera soddisfacente la sua potenzialità difensiva. Più che di una duna continua si tratta infatti di lembi di dune interrotti da frequenti varchi e aree spianate. Nell'entroterra sono presenti aree residenziali.

Il miglioramento delle condizioni e quindi dell'efficienza delle dune sarebbe facilmente realizzabile con interventi di protezione delle dune stesse e della vegetazione spontanea, per limitare i danni da calpestio e le azioni di sbancamento; in corrispondenza dei varchi di maggiori dimensioni andrebbe favorito, attraverso il posizionamento di frangivento, l'accumulo spontaneo di sedimento almeno nella fascia più prossima alla spiaggia emersa. Verso l'interno potrebbe essere previsto il riporto di sabbia, per colmare le depressioni, opportunamente fitostabilizzata.

Il tratto BG, lungo circa 400 m, è praticamente privo di difese, in quanto l'unico rilevato presente è un piccolo argine in sabbia, la cui quota è però troppo ridotta (2,8 m). L'entroterra è caratterizzato dalla presenza di ampie zone residenziali. L'ampiezza della spiaggia emersa, pari in media a 107 m, consentirebbe in parte l'ampliamento dell'argine presente sia in altezza che in larghezza, con una minima occupazione di arenile disponibile a fini turistici. Questo si potrebbe facilmente ottenere mediante la collocazione di frangivento posizionati a una distanza di alcuni metri verso mare rispetto all'attuale rete, al fine di favorire l'accumulo eolico spontaneo. La fitostabilizzazione potrebbe essere effettuata con graminacee locali, ricreando così anche una certa continuità paesaggistica con i tratti precedenti. E' però necessario che gli spianamenti di prassi per la pulizia della spiaggia vengano limitati, adottando una fascia di rispetto nella zona prossima ai frangivento. Eventuali passerelle sopraelevate saranno utili per evitare che la presenza di varchi di accesso alla spiaggia limitino l'efficacia difensiva.

Per i tratti BH e BI, per una lunghezza totale di circa 740 m, gli elementi fondamentali che riducono la soglia di sicurezza sono rappresentati dalla scarsa elevazione ed efficienza delle difese morbide e dalla presenza alle spalle di aree residenziali, anche se separate dalla spiaggia da una zona a pineta. In maniera analoga al caso del tratto BF, gli interventi possono essere tesi a migliorare dimensioni ed efficienza della duna, mediante utilizzo di frangivento. Interventi di fitostabilizzazione ed eventuali apporti di materiale esterno potrebbero essere necessari per il tratto BI, dove la situazione è più critica, perché di fatto non esiste la duna, bensì un argine di dimensioni molto ridotte e molto sottile. Nel tratti adiacenti (BH e BJ),

dove la duna conserva alcuni caratteri di naturalità e ampiezza e quota discreta, sarebbero sufficienti semplici interventi di protezione. In questo modo l'efficienza della difesa sarebbe facilmente aumentata in modo spontaneo.

Un elemento critico, per gli ultimi tre casi citati, è rappresentato dalla presenza di strutture fisse (bar/ristoranti) costruiti direttamente sulla spiaggia emersa e che non hanno alcuna elevazione rispetto a questa (Fig. 19.19). Essi costituiscono dei veri e propri punti deboli nel sistema difensivo. Premesso che difficilmente potrà essere garantita la loro difesa permanente, se non con pesanti e costosi interventi strutturali di dubbio risultato per la spiaggia stessa, potrebbe essere auspicabile almeno la presenza di una difesa alle loro spalle, sempre di tipo morbido, approfittando proprio della presenza di una vasta area verde.

Nella parte centrale del litorale, quella maggiormente urbanizzata, dove nell'analisi del 2001 si identificava un tratto a rischio moderato (BO, 713 m), la messa in sicurezza è stata effettuata grazie alla costruzione di un ampio rilevato con pista pedonale e ciclabile in sommità, che raggiunge la quota di 3 m. La realizzazione dell'opera è stata possibile anche grazie all'ampiezza molto elevata della spiaggia; va tuttavia rilevato che questo manufatto risulta meno efficiente ai fini della protezione a lungo termine del litorale rispetto a una duna costiera vera e propria, oltre a essere oggettivamente di scarso valore ambientale e paesaggistico. Il rilevato non è in grado di assorbire l'energia del moto ondoso se non lesionandosi e soprattutto non è in grado di autoripararsi come può fare invece un'avanduna; inoltre offre scarsa se non nulla protezione dalla deflazione eolica, che determina lo spostamento di sedimento verso le aree urbanizzate, richiedendo pulizia continua e protezioni invernali.

La porzione orientale del litorale di Bibione presenta i tratti più critici dal punto di vista della vulnerabilità potenziale a causa di una linea di riva soggetta a forte arretramento, erosione dei fondali, scarsa o nulla ampiezza della spiaggia emersa. La presenza o meno di difese riduce l'individuazione dei casi più critici ai trat-



Fig. 19.19 - Esempio di strutture fisse costruite direttamente sulla spiaggia sul litorale di Bibione; con le acque alte è frequente l'allagamento del retrospiaggia.

ti BR, BS e BU, questi ultimi lunghi rispettivamente 308, 455 e 460 m. Il tratto BS presenta un'ampiezza di spiaggia ridotta in seguito alla recente erosione; la spiaggia vera e propria è rappresentata da uno scanno sabbioso separato dalla linea di costa da una lama d'acqua (Lama di Revelino). La forte tendenza all'arretramento, unitamente alla presenza di un'area fortemente urbanizzata direttamente alle spalle della lama d'acqua, fanno sì che questa zona possa essere considerata a rischio medio. Effettivamente, durante la mareggiata che si è verificata nel novembre del 2000, lo scanno sabbioso ha subito il completo sormonto che ha portato all'allagamento della lama, con le onde che investivano il suo limite naturale di conterminazione, determinando fenomeni di erosione al piede dei terreni.

Il tratto BU è il più critico del litorale: tutti i parametri presi in considerazione concorrono nel determinare una vulnerabilità reale estremamente elevata. Ne consegue un rischio molto elevato nei confronti di un entroterra in prevalenza agricolo, ma caratterizzato dalla presenza di alcuni lembi di un ambiente naturale estremamente prezioso. La pineta costiera si trova ormai a ridosso della linea di riva, essendo andata perduta la protezione naturale offerta dalle avandune e dalla spiaggia emersa.

Sono infatti evidenti i segni di allagamenti, che si sono tra l'altro verificati anche durante la già citata mareggiata del 2000 (Fig. 19.20).

Si tratta in generale di una zona a elevata dinamicità, che subisce fluttuazioni repentine in relazione alla dinamica della foce del Tagliamento.

Gli interventi in questa zona sono quindi difficili e bassa è nel contempo la capacità previsionale in relazione all'efficacia degli stessi. Sarebbe auspicabile che la zona conservasse il più possibile un certo grado

di libertà, consentito dalla mancanza di infrastrutture nell'immediato entroterra. Ciò non può avvenire nel tratto BS, fortemente condizionato dalla presenza di una zona residenziale molto prossima alla linea di riva. Per questo tratto sarebbe forse consigliabile la costruzione di una difesa rigida a tutela dell'abitato, o perlomeno un rinforzo del margine di conterminazione della lama d'acqua.

Ringraziamenti

Questo lavoro utilizza una grande mole di dati, in parte inediti, in parte editi o raccolti presso strutture che gentilmente hanno messo a disposizione il materiale per la consultazione. A tale proposito è doveroso ringraziare il Genio Civile OO.MM. di Venezia nella persona del geom. Biscontin per la disponibilità dimostrata e per i preziosi consigli; il Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova, nelle persone degli ingg. Ardone, Cecconi, Libardo e Rosselli, per aver permesso la consultazione dell'archivio dati presso il Centro Informativo e per aver fornito i dati più recenti sui rilievi lungo il litorale in formato digitale. Un sentito ringraziamento va inoltre ai Comuni di Jesolo, Eraclea, Caorle e San Michele al Tagliamento per aver fornito informazioni e studi aggiornati riguardanti i tratti costieri di competenza e agli amici Castelli e Sabbatani della Te.Ma di Faenza, per l'aggiornamento sui dati dei capisaldi del territorio provinciale.

Si ringraziano infine i collaboratori e gli studenti che nel corso degli anni hanno condiviso con noi l'entusiasmo per lo studio della dinamica costiera e delle problematiche erosive delle spiagge, in particolare Francesca Delli Quadri e Laura Schiozzi.



Fig. 19.20 - Retrospiaggia allagato sul litorale orientale di Bibione nei giorni successivi alla mareggiata del novembre 2000.