# ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITA' DI BOLOGNA

## FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Corso di laurea in SCIENZE AMBIENTALI

# "INDICATORE DI QUALITÀ DELL'ONDA PER IL SURF: UN APPROCCIO METODOLOGICO."

T = = 1	"OTDLITTLIDA		DELL'ATMOSFER <i>A</i>	
i agi di laliraa in	SIRILINA	$\vdash$ I HNI $\triangle$ N/H $\triangle$		1 H I H I I ( )( .H 4 N ( )

Relatore Presentata da

Prof. Nadia Pinardi Giacomo Lucidi

Correlatori

Dott. Ivan Federico

Dott. Rita Lecci

(III sessione)

Anno Accademico 2014-2015

# Indice

1. Introduzione	1
2. Le onde	4
2.1 Definizioni e classificazione	4
2.2 II frangimento	7
3. Surfabilità nelle aree costiere	g
3.1 Onde per il surf e tipologie di stile di surf	g
3.2 Indicatori di surfabilità e stato dell'arte	10
3.2.1 Altezza d'onda al frangimento	12
3.2.2 Il numero di Iribarren	13
3.2.3 Peel rate e peel angle	14
3.2.4 Il vento sotto costa	15
3.2.5 Indice di qualità per la surfabilità	16
3.3 Un caso applicativo: surfabilità nel Nord Adriatico	17
3.3.1 Area di studio	17
3.3.2 Campi di moto ondoso	20
3.3.3 Campi di vento	21
3.3.4 Casi reali di studio	22
4. Conclusioni e prospettive future	29
Referenze	31
Bibliografia consultata	31
Siti internet consultati	33

#### 1. Introduzione

Il surf da onda è uno sport che consiste nel cavalcare (surfare) un'onda nel momento del suo frangimento tramite l'utilizzo di una tavola o di un qualsiasi oggetto in grado di scivolare sull'acqua rimanendo in piedi su di esso (Figura 1).



Figura 1. Surfista su un'onda di qualità ottima in Adriatico.

Le prime testimonianze sulla pratica del surf ci giungono dal diario del cartografo e navigatore britannico James Cook in cui durante il suo viaggio nella Polinesia francese nel 1769 scrive: "Mentre osservavo quell'indigeno penetrare su una piccola canoa le lunghe onde al largo di Matavai Point, non potevo fare a meno di concludere che quell'uomo provasse la più sublime delle emozioni nel sentirsi trascinare con tale velocità dal mare...". La nascita e lo sviluppo del surf sono però da attribuire agli abitanti delle isole Hawaii, in seguito si diffuse nella gran parte delle coste del mondo tra gli anni '60 e '70 (fonte: www.surfnews.it).

In Italia l'effige di pionieri del surf va ai fratelli Frascas di Genova e ad Alessandro Forte di Pisa che, utilizzando tavole artigianali e ignari dell'esistenza del surf nel resto del mondo, iniziarono a cavalcare le onde italiane. Marco Frascas ricorda: "Nel '75 non avevamo ancora sentito o letto la parola surf" (fonte: <a href="www.surfnews.it">www.surfnews.it</a>), solo dopo aver visitato le coste basche nel '76 si accorsero dell'influenza internazionale del surf.

Dagli anni '90, con l'avvento del web e l'arrivo nelle sale cinematografiche di alcune pellicole di successo, come *Point break* (1991), il surf iniziò ad affermarsi anche in Italia come un vero e proprio stile di vita e fenomeno di mercato. Oggi giorno la comunità di surfisti italiani conta circa cinquantamila praticanti e quella versiliese rappresenta in particolare la prima in cui la pratica del surf da onda si è affermata favorendone poi la diffusione lungo tutta la penisola (fonte: www.surfnews.it).

Lo scopo della presente tesi è di proporre un indice di qualità che suggerisca le condizioni ottimali per il surf prendendo in considerazione alcuni parametri che caratterizzano le onde e ponendo un focus particolare su alcune aree costiere dell'Emilia Romagna. I parametri di riferimento utilizzati per la definizione degli indicatori sono l'altezza dell'onda al frangimento, il numero di Iribarren, il peel rate e l'azione locale del vento.

La surfabilità dell'onda rappresenta la condizione necessaria per la pratica del surf. Tale condizione si verifica in caso di mare sufficientemente mosso, dovuto a un impulso ventoso generato da un centro di bassa pressione che, interagendo con la superficie del mare, dà vita a moto ondoso (Corazzon e Giuliacci, 2010). Le perturbazioni meteo-marine possono essere previste con l'aiuto di sistemi operativi di forecasting basati su modelli numerici atmosferici e oceanografici ad alta e altissima risoluzione. Tali sistemi giornalmente rendono fruibili le previsioni tramite differenti piattaforme tra cui alcuni portali online (e.g. www.sea-conditions.com, www.dicca.unige.it, www.westwind.ch). A questi si affiancano servizi più orientati al surf forecasting che interpretano le previsioni meteomarine da un punto di vista surfistico in modo da guidare il surfista nella pianificazione delle proprie sessioni, a seconda delle condizioni del mare. Tra questi vanno menzionati a livello internazionale Surfline (www.surfline.com) Magicseaweed (www.magicseaweed.com). Esistono poi realtà nazionali come 4surf (www.4surf.it), Surfcorner (www.surfcorner.it), Mediterranean Surf Culture (www.surfculture.it) e realtà locali che si stanno affermando, quali Surfinsalento (www.surfinsalento.it) per la penisola salentina.

Le aree potenzialmente surfabili sono denominate **aree surf** o **surf spot** e rappresentano porzioni di spiaggia in cui la morfologia del fondale consente il verificarsi di onde adatte per il surf.

Il tema della surfabilità è stato affrontato dalla ricerca scientifica (e.g. Pattiaratchi, 2002; Dafferner e Klein, 2009; Shaffer, 2010). In molti casi le relazioni e i relativi parametri

descrittori della qualità delle onde sono stati validati analizzando i dati provenienti dal monitoraggio del moto ondoso interagente con reef artificiali, ovvero fondali costruiti appositamente per la formazione di onde potenzialmente surfabili oppure per prevenire l'erosione costiera. In altri casi si è ricorso ad esperimenti di laboratorio tramite l'utilizzo di apposite vasche per la validazione.

Il documento è suddiviso in quattro sezioni, in particolare nella Sezione 2 è riportata la classificazione delle onde con focus specifico sui processi di frangimento, in Sezione 3 si descrivono gli indicatori di surfabilità proposti e i casi studio analizzati, infine la Sezione 4 riporta le conclusioni sui risultati ottenuti esponendo le possibili prospettive future.

#### 2. Le onde

#### 2.1 Definizioni e classificazione

Un'onda è un'oscillazione approssimativamente sinusoidale, generata dall'energia che il vento traferisce alla superficie del mare (Pranzini, 2004). Strutturalmente è composta da un cavo (punto più basso) e da una cresta (punto più alto) (Figura 2).

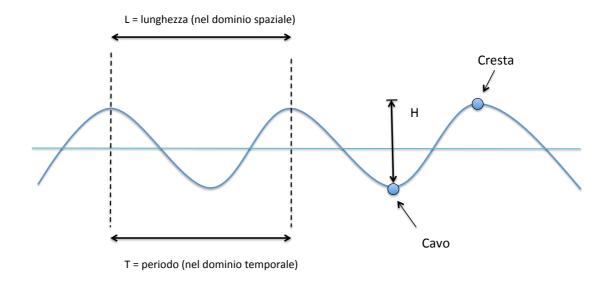


Figura 2. Struttura di un profilo di onda.

L'altezza (H) di un'onda al largo è definita dalla distanza tra un cavo e una cresta, mentre la lunghezza (L) dell'onda corrisponde alla distanza tra due creste successive. Il tempo che queste ultime impiegano per attraversare uno stesso punto fisso è chiamato periodo (T) dell'onda (Pranzini, 2004) (Figura 2).

La generazione delle onde avviene sotto l'azione del vento che trasferisce energia alla superficie del mare generando onde di piccole dimensioni chiamate increspature. Le dimensioni delle onde generate dal vento dipendono dalla sua intensità, dalla durata della sua azione e dall'estensione dell'area di mare su cui il vento spirando genera moto ondoso. Tale area prende il nome di **fetch** (Figura 3). Le onde all'interno dell'area di fetch vengono definite onde vive e sono caratterizzate da forma irregolare e lunghezza ridotta. Allontanandosi dall'area sottesa dal vento, la lunghezza e il periodo delle onde aumentano generando così onde lunghe di forma più regolare: le cosiddette onde di **swell** (Pranzini, 2004).

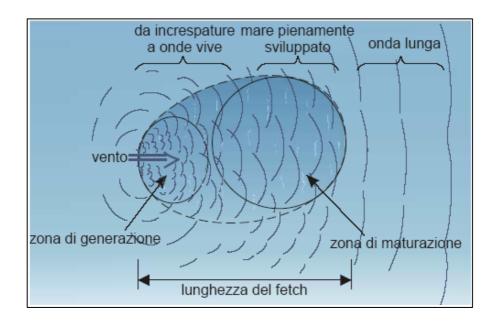


Figura 3. Illustrazione del fetch e delle condizioni di mare nelle diverse aree a partire da quella di generazione dell'onda.

In Figura 4 si riporta la classificazione delle onde (maree, sesse, tsunami, surge e onde generate dal vento) in relazione all'energia e al periodo (Tomasicchio, 2011). Le onde di swell sono quelle ideali per il surf.

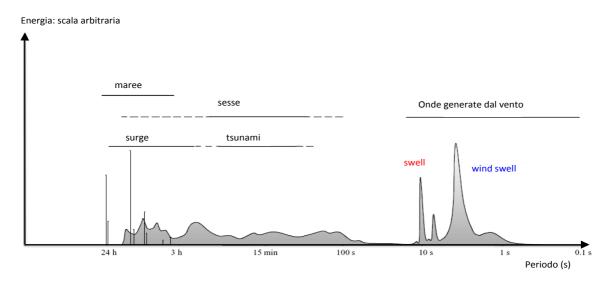


Figura 4. Differenze tra onde di swell e wind swell in relazione a periodo ed energia.

La propagazione di un'onda in mare consiste nell'oscillazione verticale delle particelle d'acqua al passaggio dell'onda (Figura 5). Le particelle, oscillando, descrivono orbite circolari con raggio decrescente al crescere della **profondità (h)** in cui si trovano. (Pranzini, 2004).

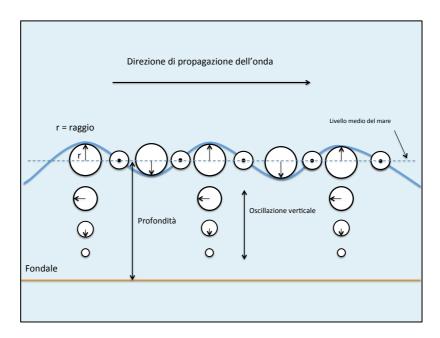


Figura 5. Illustrazione dell'oscillazione verticale delle circonferenze descritte dalle particelle d'acqua al passaggio dell'onda.

In acqua profonde, laddove la profondità è maggiore della metà della lunghezza d'onda (*h*>*L*/2), il moto oscillatorio delle particelle non risente del fondale e il passaggio dell'onda non implica spostamenti di masse d'acqua riportando le particelle quasi al loro punto di partenza. In acque la cui profondità è minore della metà della lunghezza d'onda, il moto ondoso inizia a risentire del fondale. Avvicinandosi a riva in acque intermedie, ovvero in acque dove la profondità è 1/20*L*<*h*<1/4*L*, il movimento delle particelle negli strati più bassi è rallentato dall'attrito, le orbite circolari diventano ellittiche e sempre più schiacciate con velocità decrescente quanto più la profondità diminuisce. In acque molto basse (*h*<1/20*L*) le orbite rimangono quasi costanti lungo la verticale mentre quelle al fondo si schiacciano fino a che il movimento verticale delle particelle non si trasforma in un'oscillazione orizzontale (Figura 6). Alla propagazione dell'onda in acque intermedie e basse è associato un trasporto di massa (Tomasicchio, 2011).

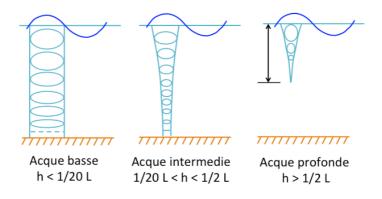


Figura 6. Orbite delle particelle in funzione della profondità del fondale.

## 2.2 II frangimento

Un'onda avanzando verso riva diminuisce la sua velocità a causa dell'attrito con il fondale, aumentando invece la sua ripidità, definita come il rapporto tra l'altezza e la lunghezza dell'onda stessa. Questo effetto è dovuto al minor attrito col fondale delle particelle nello strato superficiale rispetto a quelle in prossimità del fondo col conseguente avanzamento più rapido della cresta rispetto a quello del cavo dell'onda, fino a raggiungere un'altezza critica, funzione di una specifica profondità che porta alla chiusura in avanti dell'onda. Questo fenomeno è chiamato **frangimento o rottura** dell'onda (Pranzini, 2004) (Figura 7).

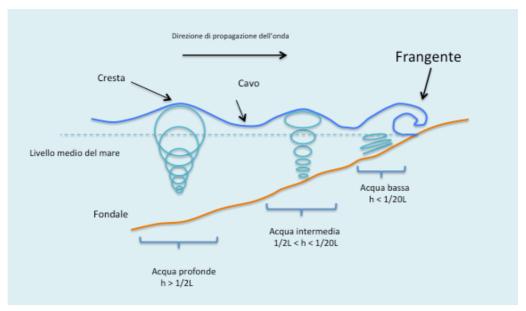


Figura 7. Rappresentazione del frangimento e dell'interazione del frangente con la battigia.

Il frangimento avviene attraverso 4 differenti modalità (Pranzini, 2004) in funzione del numero di Iribarren ( $\varepsilon$ ), parametro legato alla pendenza del fondale e alla ripidità dell'onda.

In dipendenza del valore assunto da  $\varepsilon$ , si individuano quattro modalità di frangimento dell'onda (Figura 8):

- Spilling: avviene su spiagge a bassa pendenza. Un'area surf con questo tipo di frangimento presenta onde con cresta franosa. Generalmente possiedono una moderata ripidità.
- Plunging: accade su aree surf di media pendenza. Il frangimento dell'onda presenta una sezione da mediamente a molto ripida. La cresta si riversa in avanti con più violenza rispetto alla tipologia spilling, non è franosa, ricade ad una certa distanza dal cavo formando una cavità, il cosiddetto tubo o barrel.

- Surging: avviene su spiagge con una forte pendenza. Le onde sono poco ripide e spesso non riescono a raggiungere il punto di rottura.
- Collapsing: modalità di frangimento caratteristica di onde che dopo aver franto procedono gradualmente verso riva su di una spiaggia a pendenza medio elevata.

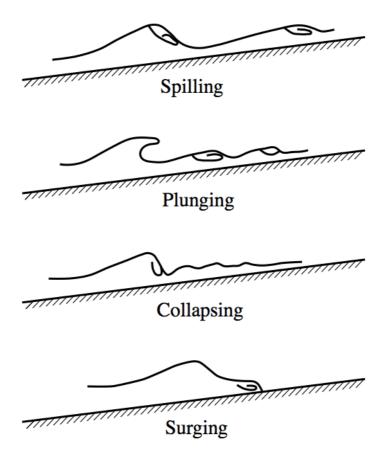


Figura 8. Illustrazione delle quattro tipologie di frangimento.

#### 3. Surfabilità nelle aree costiere

## 3.1 Onde per il surf e tipologie di stile di surf

Le onde a seconda della loro altezza, seguendo una classificazione nella comunità surfistica italiana (fonte: <a href="https://www.surfnews.it">www.surfnews.it</a>), possono essere distinte in:

- Onde basse: altezza al frangimento compresa tra 0.3 m e 1.0 m;
- Onde medie: altezza al frangimento compresa tra 1.0 m e 2.0 m;
- Onde alte: altezza al frangimento superiore ai 2.0 m.

In base all'onda da surfare esistono inoltre diverse modalità di surf associate all'uso di diversi tipi di tavole (una classificazione dettagliata è riportata in Figura 9 e a diversi modi di frangimento. Generalmente, si distinguono quattro tipologie di surf:

- Long-boarding: si utilizzano tavole da surf relativamente lunghe, dai 9 agli 11 piedi (2.7-3.3 m) di lunghezza e larghe tra i 20 e i 23 pollici circa (0.50-0.58 m). Sono tavole voluminose, utilizzabili in maniera classica o performante. Solitamente un *long-boarder* predilige onde basse o di media altezza, di forma regolare e con una modalità di frangimento spilling.
- Big-wave riding: tipologia di surf che rientra nella cerchia degli sport estremi. Consiste nel cavalcare onde "giganti". Ad oggi quella più alta mai cavalcata è stata valutata essere di circa 27 metri.
- Retrò: è uno stile di surf in cui sono utilizzate tavole con forma specifici, corte e relativamente larghe. La surfata è fluida con curve dolci.
- Short-boarding: si pratica utilizzando tavole corte con misure che variano dai 5 ai 6.4 piedi. (1.5-1.9 m). Lo short-boarding prevede uno stile radicale, curve potenti e strette, salti in gergo chiamati aerial. La tipologia di frangimento preferita da uno short-boarder è il plunging, caratteristico di onde con sezioni spesso veloci e tubanti. Per sfruttarle è necessario avere una surfata molto veloce.

Gli indicatori di surfabilità proposti prendono in considerazione il caso specifico dello shortboarding.

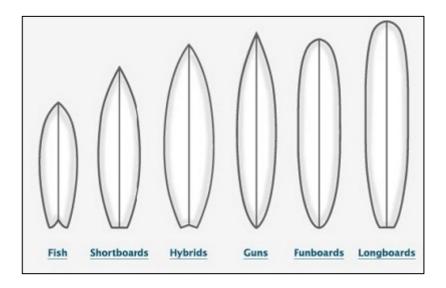


Figura 9. Tavole da surf a confronto. Da destra verso sinistra: *longboards*; *funboards* sono tavole adatte ai principianti; *guns* sono utilizzate per affrontare le onde grandi; *hybrids* sono utilizzate dai principianti per avvicinarsi allo shortboarding; shortboards; fish sono tavole dalla forma classica utilizzate nello stile del retrò surfing.

#### 3.2 Indicatori di surfabilità e stato dell'arte

Gli indicatori di qualità dell'onda proposti in questo studio sono valutati in funzione di quattro parametri fisici caratteristici delle onde e della batimetria costiera, qui definiti e descritti nello specifico nella sezione successiva.

#### 1) Altezza dell'onda al frangimento (**H**<sub>b</sub>).

Tale parametro definisce l'altezza dell'onda al momento della rottura ed è funzione di altezza, periodo dell'onda al largo (acque profonde, h > L/2) e profondità di frangimento  $h_b$ , ovvero la profondità alla quale rompe l'onda. Il valore di  $H_b$  si assume essere l'altezza di onda potenzialmente surfabile.

#### 2) Numero di Iribarren ( $\varepsilon$ ).

Il numero di Iribarren identifica la tipologia di frangimento dell'onda nell'area surf di riferimento. Il valore è calcolato in funzione della pendenza della spiaggia nell'area surf oggetto di studio e della ripidità dell'onda calcolata come il rapporto tra altezza di frangimento e lunghezza d'onda.

## 3) Peel rate

Il peel rate indica la velocità con cui il punto di rottura si sposta in modo planimetrico. Questo valore, inversamente proporzionale al peel angle, indica quanto un'onda può essere difficile da surfare e in alcuni casi quando risulta non surfabile. Il peel angle è definito come l'angolo tra il punto di rottura e la morfologia del fondale.

4) Velocità e direzione del vento sull'area surf d'interesse.

L'intensità e la direzione del vento sotto costa influiscono sulla tipologia di frangimento delle onde modificandone la surfabilità. In particolare si distinguono i casi di vento onshore (da mare verso costa) e off-shore (da costa verso mare).

La scelta di tali indicatori è effettuata a partire dallo studio della letteratura scientifica in ambito di surfabilità delle onde.

Nello specifico, Dafferner e Klein (2009) definiscono la relazione tra la morfologia della nota spiaggia di Santa Caterina in Brasile (Brava beach) e la surfabilità. La spiaggia è stata divisa in sette settori in ognuno dei quali sono stati calcolati i parametri di altezza d'onda al frangimento, periodo, tipologia di rottura attraverso numero di Iribarren, direzione del vento sotto costa, numero di surfisti, peel angle e peel rate. Da questi valori è stato prodotto un indice di surfabilità per lo short-boarding in ogni settore. L'analisi mostra una relazione tra qualità d'onda e morfologia della spiaggia, catalogata da intermedia a dissipativa, in funzione della velocità di sedimentazione dei grani di sabbia. Sono individuate le migliori condizioni per la surfabilità in termini di velocità di sedimentazione, tipologia di frangimento (plunging), peel angle (di circa 60°), assenza di vento e altezza d'onda al frangimento (superiore a 1.5 m).

Una metodologia simile è stata adottata da Pattiaratchi et al. (1999) nel valutare la surfabilità della zona costiera a Perth Metropolitan. Nello studio sono stati calcolati vento e parametri come altezza al frangimento dell'onda, numero di Iribarren e peel rate integrati con modelli di rifrazione/diffrazione dell'onda in acque superficiali. Lo studio individua le aree soggette a maggiore surfabilità e quantifica l'impatto della presenza di reef artificiali per migliorare la surfabilità dell'area (Pattiaratchi, 2002), Il monitoraggio della surfabilità è stato valutato attraverso le immagini prodotte da webcam e da dati di onda.

In altri casi si è ricorso a esperimenti di laboratori tramite l'utilizzo di apposite vasche. Schaffer et al. (2010) analizza l'effetto del vento sul frangimento delle onde dovuto a vari tipi di profili batimetrici. Gli esperimenti in laboratorio effettuati variando la pendenza del fondale hanno individuato vari tipi di rottura dell'onda: plunging, spilling e surging. Questi,

sottoposti all'azione del vento simulato all'interno della vasca hanno permesso di studiare gli effetti che esso produce sulle varie tipologie di frangimento. Nello studio si è determinato che il vento off-shore permette alle onde con tipologia plunging di aumentare l'altezza al frangimento e diminuire la profondità di rottura permettendo all'onda di rompere più vicino alla linea di riva. E' verificato che un vento off-shore agendo su una tipologia di rottura spilling, tende a trasformarla, in relazione all'intensità, in un frangimento di tipo plunging. A causa di restrizioni dell'esperimento non è stato possibile simulare gli effetti del vento on-shore.

## 3.2.1 Altezza d'onda al frangimento

Si definisce altezza d'onda al frangimento (H<sub>b</sub>) la distanza tra la cresta e il cavo dell'onda nel momento della sua rottura nell'avanzare verso riva. Il valore di H<sub>b</sub> si assume essere l'altezza dell'onda potenzialmente surfabile espresso tramite la relazione:

$$(1.1) H_h = \gamma h_h$$

dove  $\gamma$  è un coefficiente equivalente a 0.78 (Galvin, 1972) e  $h_b$  è la profondità a cui l'onda frange definita, partendo dalla relazione riportata di Weggel (1972), adattata per tenere in conto dell'altezza d'onda a largo, come:

$$h_b = \frac{1}{\frac{b}{H_0} - \frac{a}{aT_0^2}}$$

con  $H_o$  e  $T_o$  valori di altezza e periodo d'onda al largo rispettivamente, g accelerazione di gravità e a e b coefficienti pari a:

$$(1.3) a = k(1 - e^{-19\tan\beta})$$

$$b = \frac{1.56}{1 + e^{-19.5 \tan \beta}}$$

dove  $\beta$  corrisponde alla pendenza del fondale nell'area surf d'interesse e k ad un parametro empirico opportunamente tarato. Considerando l'esperimento di Pattiaratchi (1999) in cui k era fissato pari a 43.8, per l'area costiera di Perth in Australia, si sono effettuati diversi test di sensitività per l'area del Nord Adriatico, in relazione alla batimetria e al dato di onda a largo. L'analisi ha riportato come valore ottimale, al fine di ottenere un'altezza d'onda al frangimento realistica, k pari a 1.

Con riferimento alla Figura 10, fissando i valori di pendenza  $\beta$  della spiaggia e periodo T rispettivamente di 1° e 8 s e l'altezza di onda al largo  $H_0$  di 2 m si ottiene  $H_b$ =1.97 m su una profondità di rottura  $h_b$ =2.5 m. I valori ottenuti sono realistici dal punto di vista fisico.

La qualità dell'onda in funzione del frangimento è definita secondo 4 livelli dell'indicatore:

0 m < H<sub>b</sub> < 0.5 m qualità 1, surfabilità scarsa;</li>

-  $0.5 \text{ m} < H_b < 0.8 \text{ m}$  qualità 2, surfabilità sufficiente;

0.8 m < H<sub>b</sub> < 1.5 m qualità 3, surfabilità buona;</li>

- H<sub>b</sub> > 1.5 m qualità 4, surfabilità ottima.

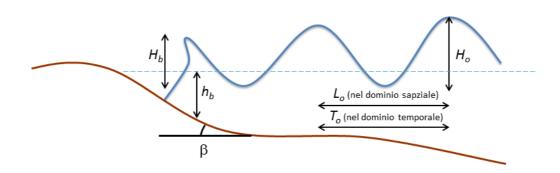


Figura 10. La figura illustra l'angolo β, valore del grado di pendenza del fondale in relazione all'altezza d'onda e alla profondità di frangimento.

#### 3.2.2 Il numero di Iribarren

Il numero di Iribarren è definito dalla relazione:

$$\varepsilon = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_b}{L_o}}}$$

e identifica la tipologia di frangimento in funzione della pendenza della spiaggia e dei parametri d'onda. Si distinguono quattro casi:

-  $\varepsilon$  < 0.4 tipologia *spilling*;

-  $0.4 < \varepsilon < 1.0$  tipologia plunging;

-  $1.0 < \varepsilon < 1.2$  tipologia *collapsing*;

-  $\varepsilon > 1.2$  tipologia *surging*.

Con riferimento alla Figura 10, considerando una pendenza del fondale di 5°, un periodo dell'onda di 8 s e altezza al frangimento di 1.97m si ottiene dall'equazione (1.5) un numero di Iribarren pari a 0.7 corrispondente ad un frangimento *plunging*. Questa è considerata la miglior tipologia di rottura per lo *short-boarding* poiché l'onda è più ripida e veloce. Ciò

permette al surfista di sfruttare la velocità e la manovrabilità di una tavola corta e stretta. Considerando una pendenza del fondale minore rispetto al caso precedente ( $\beta$ =2°) e lasciando invariati i parametri di onda, si ottiene come risultato dalla relazione (1.5)  $\epsilon$ =0.26, valore che ricade nella tipologia *spilling*. Tale frangimento è influenzato da una lieve pendenza del fondale che non consente alla cresta dell'onda di diventare più ripida, come nel caso plunging, portandolo a *franare* su se stessa. Tali onde risultano potenzialmente surfabili, ma poco adatte per lo short-boarding.

La qualità dell'onda in funzione del numero di Iribarren è definita secondo 4 livelli dell'indicatore:

- Frangimento plunging: qualità 4, surfabilità ottima;
- Frangimento spilling: qualità 3, surfabilità buona;
- Frangimento collapsing: qualità 2, surfabilità appena sufficiente;
- Frangimento surging: qualità 1, surfabilità scarsa.

## 3.2.3 Peel rate e peel angle

Il peel rate di un onda è definito come la velocità di spostamento del punto di rottura in funzione della morfologia del fondale. Si ricava dalla relazione:

$$V_p = \frac{c}{\sin \alpha}$$
 (Walker, 1974)

dove:

- $c = \sqrt{gh_b}$  celerità dell'onda in acque basse (Pranzini, 2004);
- $\alpha$  è il peel angle, angolo formato dal punto di rottura e il profilo del fondale formato da tutti i punti corrispondenti alla profondità di frangimento (Pattiaratchi, 1995) (Figura 11).

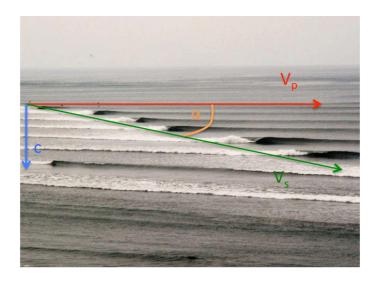


Figura 11. Foto dimostrativa del peel angle e del peel rate.

Dally (1990) definisce un'onda surfabile quando permette al surfista di mantenere una velocità ( $v_s$ ) della tavola uguale o superiore alla velocità di spostamento del punto di rottura, ovvero il peel rate.

Per un peel angle inferiore a 30° (a cui corrisponde un elevato valore di peel rate) si ottiene un'onda di tipo "close-out" (totale chiusura su se stessa) senza un graduale spostamento del punto di rottura. Tale onda è non surfabile ed è il caso di un'onda che frange su un reef o su una barra di sabbia dove non varia la pendenza sul piano orizzontale: l'oscillazione verticale incontra lungo tutto il fronte d'onda la stessa profondità fino a quella di rottura, provocando il frangimento della cresta in tutti i punti del fronte allo stesso momento (Figura 11).

Per caratterizzare un'onda surfabile si ritiene necessario un peel angle di almeno 30°, tale da permettere a diversi punti del fronte di incontrare la profondità di rottura in momenti diversi tra loro. Il frangimento dell'onda è quindi graduale e lo spostamento del punto di rottura avviene verso destra o verso sinistra o in entrambe le direzioni rispetto alla posizione di partenza del surfista seguendo la morfologia del fondale. Con un peel angle prossimo ai 30° il peel rate sarà tale da rendere l'onda surfabile solamente ai surfisti più esperti in quanto è necessario mantenere un'elevata velocità della tavola.

In condizioni di un ampio peel angle, l'onda risulta surfabile anche ai surfisti meno esperti in quanto è possibile rimanere su di essa pur avendo una velocità della tavola contenuta.

#### 3.2.4 II vento sotto costa

Ad influenzare maggiormente la surfabilità dell'onda è il vento che spira localmente sull'area di surf a differenza di quello che spira sull'area di fetch. L'intensità e la direzione di tale vento influiscono sulla qualità di surf poiché caratterizzano la forma, la tipologia di frangimento e le dimensioni delle onde. Si definiscono due condizioni: vento on-shore e vento off-shore.

Il vento on-shore spira dal mare sulla costa agendo sulla parte *posteriore* delle onde durante il frangimento causandone una perdita di forma e generando un mare caotico. Il vento on-shore abbassa il valore del numero di Iribarren, favorisce la tipologia spilling e la tendenza dell'onda al close-out, salvo particolari morfologie del fondale, con innalzamento

della profondità di rottura (Schaffer, 2010). Condizioni di vento on-shore abbassano quindi la surfabilità dell'onda proporzionalmente all'intensità.

Il vento off-shore spira da terra verso mare e la sua azione si oppone al verso di propagazione delle onde. Queste assumono una forma regolare con sezioni dall'aspetto vitreo, il cosiddetto effetto *glassy* (Schaffer, 2010). L'azione del vento off-shore *sorregge* l'onda: ne abbassa la profondità di rottura ritardando il frangimento, favorendo la tipologia plunging e aumentando le dimensioni e la ripidità. Questa direzione del vento in un range d'intensità da debole a moderata è ideale per il surf. In caso di vento forte off-shore potrebbe invece risultare difficile eseguire il *take-off* (mettersi in piedi sulla tavola).

Considerando le differenti condizioni di provenienza e intensità del vento secondo la classificazione della scala Beaufort, si distinguono in particolare i seguenti casi:

- Vento on-shore:
  - o Intensità da teso a burrasca (17-40 nodi): qualità 1, scarsa
  - Intensità da brezza leggera a vento moderato (4-16 nodi): qualità 2, surfabilità sufficiente
- Vento off-shore:
  - o Intensità da teso a burrasca (17-33 nodi): qualità 3, surfabilità buona
  - o Intensità da assente a moderato (0-16 nodi): qualità 4, surfabilità ottima

## 3.2.5 Indice di qualità per la surfabilità

In Tabella 1 è proposta una classificazione delle condizioni di surfabilità a seconda dei valori assunti dai parametri descritti: altezza di frangimento dell'onda, numero di Iribarren, peel angle e azione del vento locale. Al valore 1 è associata una condizione d'onda che non permette di fare surf (qualità scarsa); ai valori 2 e 3 sono attribuite condizioni del mare con una surfabilità rispettivamente sufficiente e buona; con il valore 4 si identifica invece una condizione d'onda ottimale per lo short-boarding.

Tabella 1. Classificazione della qualità delle onde per il caso dello short-boarding.

Indice di qualità dell'onda	Altezza di frangimento dell'onda (m)	Numero di Iribarren ( $arepsilon$ )	Peel angle*	Azione del vento locale
1 <u>scarsa</u>	$0 < H_b < 0.5$	$\varepsilon > 1.2$ Surging	< 30	<ul><li>On-shore</li><li>Da teso a burrasca (17-40 nodi)</li></ul>
2 <u>sufficiente</u>	0.5 < H <sub>b</sub> < 0.8	$1.0 < \varepsilon < 1.2$ Collapsing	= 30	<ul><li>On-shore</li><li>Da brezza leggera a moderato (4-16 nodi)</li></ul>
3 <u>buona</u>	0.8 < H <sub>b</sub> < 1.5	$\varepsilon$ < 0.4 Spilling	> 45	<ul><li>Off-shore</li><li>Da teso a burrasca (17-40 nodi)</li></ul>
4 <u>ottima</u>	H <sub>b</sub> > 1.5	$0.4 < \varepsilon < 1$ Plunging	> 30-45	<ul><li>Off-shore</li><li>Da assente a moderato (0-16 nodi)</li></ul>

\*Un peel angle inferiore a 30° individua una condizione non surfabile. Per valori superiori ai 30° la classificazione di surfabilità dell'onda è strettamente legata all'abilità e all'esperienza del surfista. In particolare, la classificazione qui proposta prende in esame un surfista dalla media abilità. Surfisti molto abili e tecnicamente preparati potrebbero ritenere una qualità dell'onda ottima quella con un peel angle prossimo ai 30° (qui classificato invece come sufficiente).

## 3.3 Un caso applicativo: surfabilità nel Nord Adriatico

L'indice di surfabilità proposto è stato validato testandolo su casi reali di mareggiate avvenute in un recente passato lungo la costa romagnola nel Nord Adriatico.

#### 3.3.1 Area di studio

Il Mar Adriatico è un bacino stretto e di forma allungata con un orientamento geografico SE – NO (Figura 12). L'area di studio è rappresentata da un tratto di costa romagnola (Lido di Dante, Ravenna) che si affaccia sulla porzione più settentrionale del Mar Adriatico, una zona di mare racchiusa tra Italia e Croazia (Figura 13).

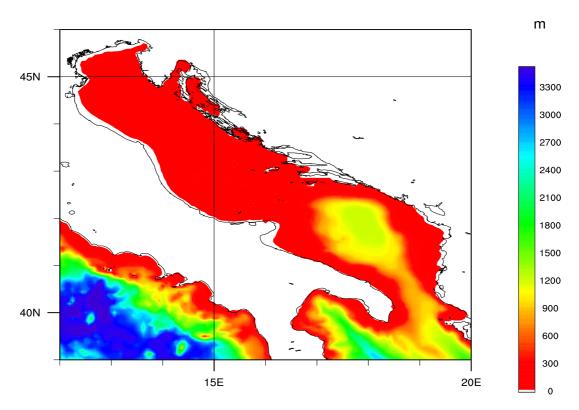


Figura 12. Batimetria del Mar Adriatico.

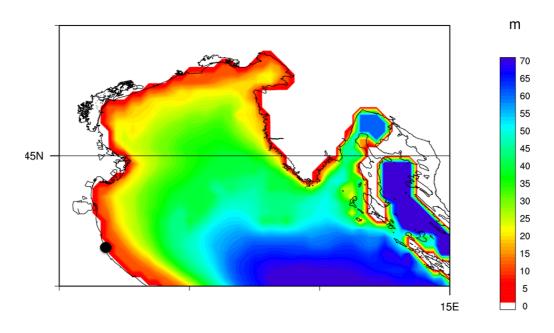


Figura 13. Batimetria con focus sulla costa emiliano-romagnola. In evidenza in nero il surf spot preso in considerazione per questo studio (Lido di Dante, Ravenna).

Tale lembo di costa è influenzato prevalentemente da venti di grecale che prendono il nome di Bora nel Nord Adriatico (Montanari e Pinardi, 2006). La Bora può assumere

intensità molto elevate arrivando a raggiungere spesso anche i 40 nodi. La lunghezza del fetch su cui essa spira in Nord Adriatico non supera i 200 km; il wind swell generato è caratterizzato da onde che giungono nei vari surf spot romagnoli con un periodo massimo di 5 s, piccola lunghezza d'onda, fronti non uniformi e punti di rottura sparsi. Le onde prodotte si avvicinano a riva con vento generalmente on-shore e la loro surfabilità diminuisce all'aumentare dell'intensità del vento.

Dai quadranti meridionali il vento di Scirocco proveniente da SE è quello che interessa maggiormente il Mar Adriatico. La sua presenza nel Nord Adriatico è attribuibile a brezze di origine termica oppure dovuta a un centro di bassa pressione sul Mar Mediterraneo (Corazzon e Giuliacci, 2010). La direzione dello Scirocco è tale da conformarsi con l'orientamento geografico dell'Adriatico, con impulsi di vento da SE causati da una perturbazione generata dalla presenza di un nucleo di bassa pressione nel Sud Adriatico (Corazzon e Giuliacci, 2010). Il fetch in caso di Scirocco può risultare lungo anche 700 km (Figura 14).

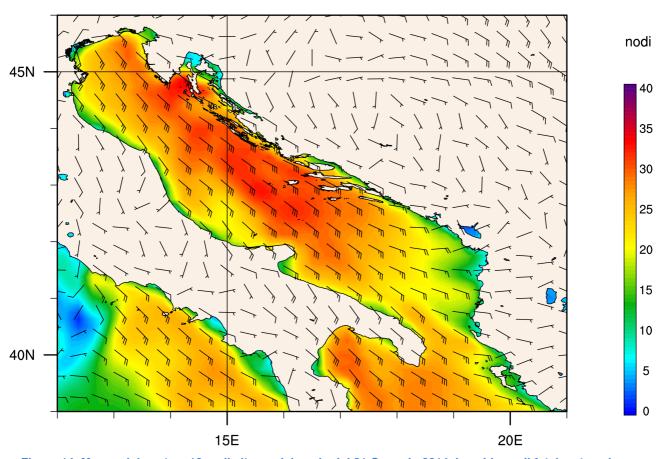


Figura 14. Mappa del vento a 10 m di altezza dal suolo del 31 Gennaio 2014. In evidenza il fetch esteso lungo tutto il bacino Adriatico.

Le onde prodotte da Scirocco giungono sul litorale romagnolo con periodo che può raggiungere gli 8 s producendo fronti surfabili fino ai 2 m di altezza. Le onde sono lunghe e con fronti uniformi contrariamente a quelle prodotte dal vento di Bora. In caso di vento assente oppure off-shore, sulla costa romagnola, si verificano le migliori condizioni per il surf.

I venti secondari in termini di frequenza sul Nord Adriatico sono il Maestrale proveniente da NO e il Libeccio da SO. Questi venti riferiti alla costa romagnola sono venti off-shore (Montanari e Pinardi, 2006).

La Tramontana, spirando invece da N e a causa dell'inclinazione parallela rispetto al litorale romagnolo, non riesce a generare un moto ondoso surfabile.

Per quanto riguarda le maree, il Nord Adriatico è soggetto ad una oscillazione del livello del mare fino a 1 m (Montanari e Pinardi, 2006). Questo influisce molto sulla qualità del surf poiché una variazione del livello del mare in un surf spot sposta il punto in cui l'onda raggiunge la sua profondità di rottura modificandone il frangimento e di conseguenza la qualità.

La surfabilità sul litorale romagnolo è tanto più sensibile alla marea quanto più è ridotta la profondità dell'area surf.

La profondità del fondale in ogni punto delle aree surf di interesse lungo la costa romagnola è stata ottenuta dalla batimetria EMODnet Digital Terrain Model (DTM). Tale batimetria è stata prodotta per le regioni europee affacciate sul Mar Mediterraneo e sull'Oceano Atlantico da sondaggi batimetrici mentre i punti non coperti dai rilevamenti sono stati definiti integrando la Batimetria Digitale GEBCO. La DTM è gratuitamente visibile e scaricabile online (www.emodnet-hydrography.eu). La risoluzione spaziale di EMODnet DTM è di 1/8 minuti. La linea di costa utilizzata per il presente studio è quella fornita dai dataset di GADM Global Administrative Boundaries derivata dal Global Self-Consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database (GSHHG, www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html).

## 3.3.2 Campi di moto ondoso

I valori di periodo e altezza d'onda al largo utilizzati per valutare gli indicatori sono stati ottenuti dai risultati prodotti dal sistema di previsioni dello stato del mare WaveWatchIII (WW3) operativo presso INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) di Bologna

(Clementi et al., 2013). Tale sistema si basa su un modello che risolve le onde in acque profonde considerando le interazioni vento-onda e onda-onda e la dissipazione di *whitecapping* alla superficie del mare.

WW3 rilascia giornalmente le previsioni dei parametri d'onda per i successivi 5 giorni con risoluzione temporale di un'ora e risoluzione spaziale di 1/16 di grado. Per gli stessi parametri sono inoltre disponibili le analisi per gli ultimi 3 anni (Figura 15).

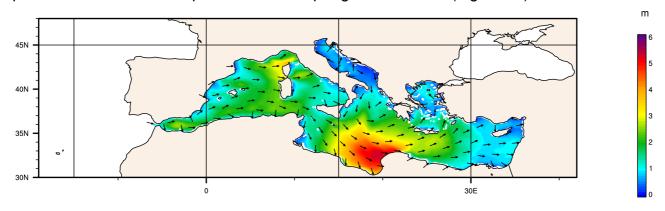


Figura 15. Esempio di mappa di altezza e direzione dell'onda prodotta dal sistema di previsioni WW3.

WW3 è un sistema accoppiato al sistema operativo per l'idrodinamica del Mar Mediterraneo denominato MFS (Mediterranean Forecasting System, Pinardi et al., 2003; Pinardi e Coppini, 2010) che fornisce previsioni e analisi per la temperatura, salinità, correnti e livello del mare per l'intero bacino. La risoluzione spaziale è la medesima di WW3.

## 3.3.3 Campi di vento

Il sistema di previsione per le onde WW3 utilizza come forzante atmosferico alla superficie del mare i campi di vento a 10 m di altezza prodotti operativamente dal sistema IFS (Integrated Forecasting System) e rilasciati giornalmente da ECMWF (European Center Medium Weather Forecast) a Reading (UK).

IFS rilascia giornalmente 10 giorni di previsioni per le maggiori variabili atmosferiche (es. vento a 10 m, temperatura dell'aria a 2 m, pressione atmosferica, copertura nuvolosa, precipitazioni) con risoluzione temporale di 3 ore per le prime 72 ore e di 6 ore per le restanti 168; la risoluzione spaziale è di 1/8 di grado. La serie storica delle analisi è disponibile a partire dal 1999 (Figura 16).

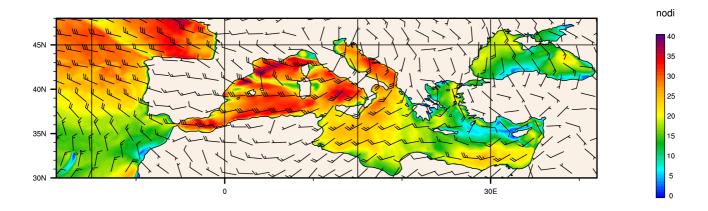


Figura 16. Esempio di mappa di intensità e direzione del vento a 10 m dalla superficie prodotta dal sistema operativo IFS .

## 3.3.4 Casi reali di studio

L'indice di qualità proposto per la surfabilità delle onde è stato testato nella presente tesi su due casi reali che hanno interessato il surf spot di coordinate 44.38°N, 22.32°E (Figura 17) situato a sud dell'abitato di Lido di Dante (Ravenna), durante le giornate del 31 gennaio 2014 e 25 febbraio 2015.



Figura 17. Area surf presso Lido di Dante, Ravenna (fonte: Google Maps). Le frecce indicano le direzioni di swell e wind swell per le quali il surf spot produce onde surfabili. Maggior spessore della freccia indica una qualità migliore di surf, minore spessore una qualità peggiore.

Il grado di qualità della surfabilità durante tali mareggiate è stato valutato tramite il confronto con materiale fotografico disponibile ed esperienze personali sul campo.

L'area surf considerata presenta un fondale sabbioso confinato a Nord da un pennello (Figura 17) la cui presenza ha generato a Sud di esso barre di sabbia sommerse non uniformi che, unite alla pendenza accentuata del fondale rispetto alle altre aree surf romagnole, rendono quest'area una delle migliori in Adriatico in termini di qualità d'onda per lo short-boarding.

L'approccio metodologico di definizione degli indicatori qui proposto è stato testato per i parametri di altezza dell'onda al frangimento, numero di Iribarren e azione locale del vento. Non è stato possibile quantificare un range di valori per il peel angle a causa della scarsa risoluzione del campo di batimetria disponibile per l'area surf di interesse.

## Caso 1: mareggiata del 31 gennaio 2014

Un centro di bassa pressione di formazione atlantica generò tra il 30 e il 31 gennaio 2014 un impulso di Scirocco lungo il Mar Adriatico con un'intensità massima prevista sui 35 nodi (Figura 14). Al largo di Ancona la boa ondametrica registrò un'altezza d'onda massima di circa 4 m (fonte: ISPRA).

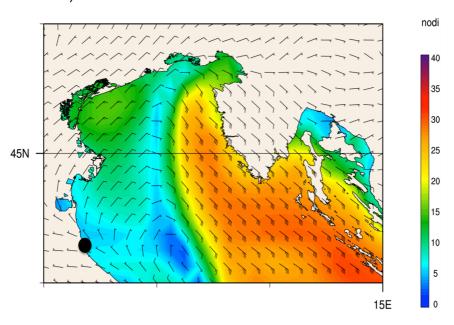


Figura 18. Mappa del vento a 10 m dalla superficie del 31 gennaio 2014 per l'area del Nord Adriatico. In evidenza in nero la posizione del surf spot preso in considerazione.

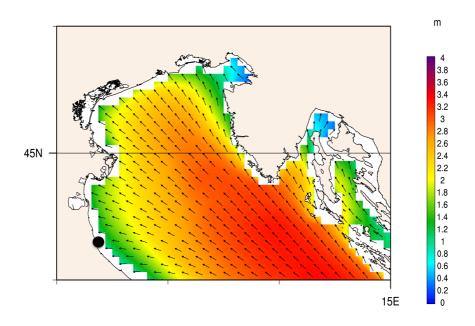


Figura 19. Mappa di altezza dell'onda del 31 gennaio 2014 per l'area del Nord Adriatico. In evidenza in nero la posizione del surf spot preso in considerazione.

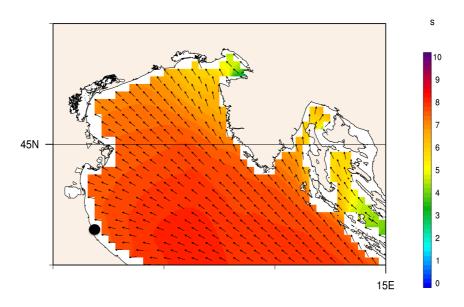


Figura 20. Mappa del periodo dell'onda del 31 gennaio 2014 per l'area del Nord Adriatico. In evidenza in nero la posizione del surf spot preso in considerazione.

Sull'area surf presa in esame il parametro H<sub>o</sub>, ricavato dai dati di analisi di WW3, risulta pari a 1.2 m con un periodo d'onda di 8 s (onde di swell) (Figura 19, Figura 20).

Il calcolo degli indicatori riporta un'altezza d'onda al frangimento  $H_b=0.9$  m, un numero di Iribarren  $\varepsilon=0.5$  e presenza di brezza leggera sotto costa (Figura 18).

Con riferimento alla Tabella 1 si evince dagli indicatori della qualità dell'onda una condizione buona per l'altezza d'onda al frangimento, ottima per il numero di Iribarren (frangimento dell'onda di tipo plunging) e ottima per l'azione del vento.

## Caso 2: mareggiata del 25 febbraio 2015

Un centro di bassa pressione in discesa sull'Italia da Nord verso Sud tra il 24 e il 25 febbraio 2015 *richiamò* aria fredda da Nord-Est generando un impulso di Bora sul Nord Adriatico con intensità massima prevista di 30 nodi durante la notte.

Dai dati di analisi di WW3 si è ricavato per il surf spot considerato un'altezza d'onda al largo  $H_0$  di 1.5 m e un periodo d'onda di 5 s (wind swell) (Figura 21, Figura 22).

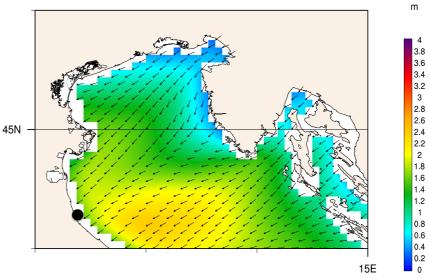


Figura 21. Mappa di altezza e direzione dell'onda per il 25 febbraio 2015 per l'area del Nord Adriatico.

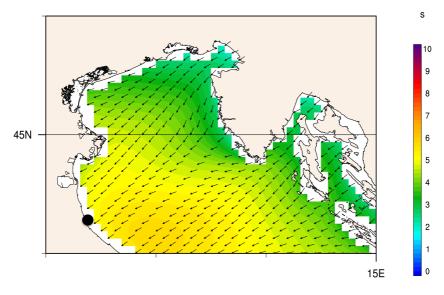


Figura 22. Mappa del periodo e direzione dell'onda per il giorno 25 febbraio 2015 per l'area del Nord Adriatico.

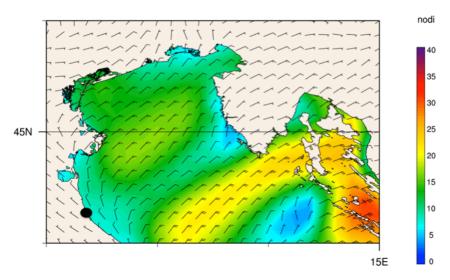


Figura 23. Mappa del vento del 25 febbraio 2015 per l'area del Nord Adriatico.

Il calcolo degli indicatori riporta un'altezza d'onda al frangimento  $H_b=1.3$  m e un numero di Iribarren  $\varepsilon=0.3$  e la presenza sotto costa di brezza leggera on shore (circa 5 nodi) (Figura 23).

Con riferimento alla Tabella 1 si evince dagli indicatori della qualità dell'onda una condizione buona per l'altezza d'onda al frangimento, buona per il numero di Iribarren (frangimento dell'onda di tipo spilling) e sufficiente per l'azione del vento.

Dai due casi studio riportati si evince come una mareggiata generata da un vento di Scirocco (caso 1), avente come fetch gran parte del Mar Adriatico, possa produrre lungo le aree surf della costa romagnola, onde con una buona surfabilità per lo short-boarding. Questo risultato è favorito anche dall'assenza di vento sotto costa che permette alle onde di mantenere forma regolare e *glassy*. Uno swell da SE conferisce alle aree surf romagnole la migliore qualità d'onda soprattutto nelle zone settentrionali della regione poiché ad esso più esposte, contrariamente alle zone più a sud che ricevono onde con qualità minore in termini di altezza al frangimento in quanto si disperdono maggiormente per giungere a riva. Una mareggiata generata dal vento di Bora (caso 2) differentemente, agisce su un'area di mare ristretta (wind swell) irrompendo solitamente sulla costa romagnola come vento on-shore, producendo quindi una qualità di surf generalmente minore rispetto ad uno swell proveniente da SE.

Nella Tabella 2 è riportata in sintesi la classificazione della qualità degli indicatori per i due casi studio.

Tabella 2. Classificazione della qualità dei parametri nei due casi studio.

	Indicatori di qualità della surfabilità				
	Altezza di frangimento	Numero	Azione del vento locale		
	dell'onda (m)	di Iribarren ( $\varepsilon$ )			
Caso 1 (31 gennaio 2014)	<u>Buona</u>	<u>Ottima</u>	<u>Ottima</u>		
	• $H_b = 0.9$	• ε = 0.5	Off shore		
		• Plunging	Brezza leggera (4 nodi)		
Caso 2	<u>Buona</u>	<u>Buona</u>	Sufficiente		
(25 febbraio 2015)	• H <sub>b</sub> = 1.3	• ε =0.3	On shore		
(23 16001810 2013)		Spilling	Brezze leggera (5 nodi)		

In Figura 24 e Figura 25 si riportano delle foto scattate nei giorni relativi agli eventi sopra riportati nelle area surf investigata. E' possibile identificare la forma di frangimento di tipo plunging per il caso 1 (Figura 24) e di tipo spilling per il caso 2 (Figura 25).



Figura 24. Un surfista durante la mareggiata del 31 gennaio 2014 a Lido di Dante. Si evidenzia un'onda di tipo plunging.



Figura 25. Un surfista durante la mareggiata del 25 febbraio 2015 a Lido di Dante. Si evidenzia un'onda di tipo spilling.

## 4. Conclusioni e prospettive future

La presente tesi ha proposto degli indici di qualità identificativi delle condizioni ottimali per la surfabilità delle onde. I parametri utilizzati per la definizione degli indicatori sono l'altezza dell'onda al frangimento, il numero di Iribarren, il peel angle e l'azione locale del vento. Tali parametri sono stati individuati dall'analisi della letteratura scientifica, basata per lo più su studi sperimentali di laboratorio e materiale fotografico ottenuto da webcam rivolte su reef artificiali e spiagge con batimetria del fondale nota.

La qualità dell'onda è definita, per ognuno dei quattro parametri descrittori, da quattro livelli di qualità: scarsa, sufficiente, buona e ottima.

Gli indicatori sono stati testati per l'area surf di Lido di Dante (Ravenna) lungo la costa romagnola considerando due differenti mareggiate avvenute nel gennaio 2014 e febbraio 2015.

La valutazione dei parametri della surfabilità ha utilizzato come dati di input sistemi di modellistica in modalità previsionale e operativa sia per la componente mare (dati di onda dal modello WW3) che per la componente atmosferica (dati di vento dal sistema IFS).

I risultati ottenuti nei due casi di studio sono stati confrontati con il materiale fotografico disponibile, costatando un buon accordo tra quanto ottenuto dagli indicatori e quanto riscontrato in sito durante le sessioni di surf.

Un limite del presente studio è stato individuato nella scarsa risoluzione della batimetria disponibile nell'area surf considerata, che non ha permesso di stimare l'indicatore del peel angle.

Si riportano qui di seguito le prospettive di sviluppo futuro del presente lavoro:

- Identificare un unico indicatore della surfabilità dell'onda che inglobi e ponderi i quattro parametri individuati in maniera il più possibile oggettiva;
- Utilizzare batimetrie e dati morfologici ad altissima risoluzione al fine di poter meglio individuare le caratteristiche delle aree surf e superare i limiti qui identificati nella valutazione del peel angle per il caso reale;
- Utilizzare dati da sistemi operativi di previsione del campo d'onda basati su modelli numerici a più alta risoluzione costiera e con risoluzione dei processi sotto costa (come ad esempio il modello SWAN, Simulating Waves Nearshore, Booij et al., 1999);
- Utilizzare dati da sistemi operativi di previsione delle variabili atmosferiche a più alta risoluzione spaziale e temporale (come ad esempio COSMO-ME e COSMO-IT del

servizio meteorologico dell'Aeronautica Italiana, <u>www.meteoam.it/modelli-di-previsione-numerica</u>);

• Rendere automatizzata e operativa la procedura di determinazione dei parametri al fine di produrre gli indicatori in maniera previsionale per le principali aree surf italiane.

#### Referenze

## Bibliografia consultata

- [1] Bascom W. (1965), "Onde e spiagge: dinamica della superficie marina", Zanichelli Bologna [libro].
- [2]Battjes J.A. (2011), "Surf similarity", Coastal Engineering Proceedings, No. 14, doi:http://dx.doi.org/10.9753/icce.v14.%p.
- [3] Benoit C. and Magnus L. (2007), "Predictive formulas for breaker depth index and breaker type", Journal of Coastal Research, Vol.23, No.4, pp. 1028-1041, West Palm Beach, Florida.
- [4] Booij N., Ris R.C., and Holthuijsen L.H. (1999), "A third-generation wave model for coastal regions 1. model description and validation", Journal of Geophysical Research, 104: pp. 7649-7666.
- [5] Caldwell P.C. and Aucan J.P. (2007), "An empirical method for estimating surf heights from deepwater significant wave heights and peak periods in coastal zones with narrow shelves, steep bottom slopes, and high refraction", Journal of Coastal Research: Vol. 23, Issue 5: pp. 1237–1244.
- [6] Clementi E., Oddo P., Korres G., Drudi M., N. Pinardi N. (2013), "Coupled wave-ocean modelling system in the Mediterranean sea", Conference: 13th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting and 4th Coastal Hazards Symposium, At Banff, Canada.
- [7] Corazzon P., Giuliacci M. (2010), "Manuale di meteorologia", Alpha Test [libro].
- [8] Dafferner G and da F. Klein A.H. (2009), "The Relationship Between Morphodynamics and Surfability at Brava Beach, Southern Brazil", Reef Journal 2009, Vol.1, No. 1, pp. 153-161.
- [9] Dally W.R. (1990), "Stochastic modelling of surfing climate.", Proc 22nd International Conference on Coastal Engineering.
- [10] Douglass, S. (1990). "Influence of wind on breaking waves." *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-950X(1990)116:6(651), 651-663.
- [11] Galloway J.S., Collins M.B. and Moran A.D. (1989), "Onshore/Offshore wind influence on breaking waves: an empirical study", Coastal Engineering, Vol. 13, pp. 305-323, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- [12] Galvin C.J. (1972), "Wave breaking in shallow water; in waves on beaches and resulting sediment transport", Academic Press, 413.
- [13] Mase H. and Iwagaki Y. (1982), "Wave height distributions and wave grouping in surf zone", Coastal Engineering, pp. 58-76. doi: 10.1061/9780872623736.004.
- [14] Montanari G. and N. Pinardi N. (2006), "Le correnti costiere dell'Emilia Romagna nel periodo 1995-2002". I quaderni di ARPA. Bologna, ARPA EMR [libro].
- [15] Over R.W.J. (2006), "Surfability of an ASR in irregular waves", Civil Engineering and Geosciences, Master thesis, TU Delft, FAculty of Civil Engineering and Geosciences, Hydraulic Engineering.
- [16] Pattiaratchi C., Masselink G. and Hurst P. (1999), "Surfability of the Perth Metropolitan Coastline: an assessment". Ports & Coasts'99 Conference, Perth.

- [17] Pattiaratchi C. (2002), "Performance Monitoring of the Cable Station Artificial Surfing Reef: 1999-2001", Technical Report prepared for Ministry of Sport and Recreation, Centre for Water Research, The University of Western Australia, Nedlands, Australia, Report number: WP-1732-CP.
- [18] Phillips D., Mead S., Black K., Healy T. (2003), "Surf zone currents and influence on surfability", Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium, Raglan, New Zealand, June 22-25, 2003. pp. 60-82.
- [19] Pinardi N., Allen I., Demirov E., De Mey P., Korres G., Lascaratos A., Le Traon P-Y., Maillard C., Manzella G., Tziavos C. (2003), "The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001)", Annales Geophysicae, 21:3-20.
- [20] Pinardi N., Coppini G. (2010), "Operational oceanography in the Mediterranean Sea: the second stage of development", Ocean Sci., 6, 263-267.
- [21] Pranzini E. (2004), "La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali", Zanichelli [libro].
- [22] Shaffer F. (2010), "Effect of wind on near-shore breaking waves", Engineering and Computer Science, Master thesis, Florida Atlantic University.
- [23] Tomasicchio U. (2011), "Manuale di ingegneria portuale e costiera", Ed. Hoepli, pp. 896.
- [24] Walker J.R. (1974), "Recreational surf paramaters. University of Hawaii", Look Laboratory Rep No.30, pp. 311.
- [25] Weggel J.R. (1972), "Maximum breaker height" .Journal of Waterway, Port, Coastal and OceanEngineering, 98, 529-548.

#### Siti internet consultati

- www.4surf.it
- www.meteoam.it/modelli-di-previsione-numerica
- www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html
- www.dicca.unige.it/meteocean
- www.emodnet-hydrography.eu
- www.magicseaweed.com
- www.meteoam.it/modelli-di-previsione-numerica
- www.sea-conditions.com
- www.surfcorner.it
- www.surfculture.it
- www.surfinsalento.it
- www.surfline.com
- www.surfnews.it
- www.westwind.ch
- www.wetterzentrale.de