

APPLICAZIONE IN GRASS PER L'IDENTIFICAZIONE DI AREE IDONEE ALLA REALIZZAZIONE DI NUOVI IMPIANTI DI ITTICOLTURA OFFSHORE

AN APPLICATION IN GRASS TO IDENTIFY SUITABLE AREAS FOR THE INSTALLATION OF AN OFFSHORE FISH FARMING FACILITIES

G. Dapuzo ^a, L. Cimoli ^{a,b}, F. Massa ^a, B. Federici ^c, P. Povero ^a

^a Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26, 16132 Genova, Italia - giulia.dapuzo@edu.unige.it, (francesco.massa, povero)@unige.it

^b Department of Physics, University of Oxford, Parks Road, OX1 3PU, Oxford, United Kingdom - laura.cimoli@physics.ox.ac.uk

^c Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA), Università degli Studi di Genova, via Montallegro 1, 16145 Genova, Italia - bianca.federici@unige.it

PAROLE CHIAVE: GRASS, gestione marina costiera, itticoltura, pianificazione spaziale, selezione di siti idonei

KEY WORDS: GRASS, marine coastal management, fish farming, spatial planning, suitable site selection

RIASSUNTO

La gestione della fascia costiera è un processo complesso che cerca di integrare lo sfruttamento dell'area con il mantenimento di una buona qualità ambientale. Trattandosi di un problema spaziale complesso può essere ben affrontato mediante strumenti GIS. Questo lavoro presenta un approccio applicato all'itticoltura offshore, sviluppando una procedura con GRASS per l'identificazione delle aree idonee all'installazione di nuovi impianti, applicata al caso della Regione Liguria. La selezione dei siti si è basata sulla definizione di due principali criteri che ne determinano l'idoneità per l'attività proposta ("aree non idonee" e "aree potenzialmente idonee") e di condizioni concernenti la zona studio. La procedura ha permesso di ottenere la mappa finale con la perimetrazione delle aree idonee, tramite la realizzazione intermedia delle mappe dei criteri. Sono state identificate circa trenta zone idonee lungo la costa ligure, principalmente localizzate a ponente; a levante si trovano quelle di maggiore estensione. La procedura è stata verificata confrontando le aree individuate con la posizione degli impianti già esistenti. I risultati di questo lavoro dimostrano come questa procedura permette di individuare le aree idonee in modo semplice, rapido, efficiente ed efficace. Con opportune modifiche la procedura può essere applicata a qualunque sistema marino costiero e può essere adattata ad altre attività della zona costiera. Questo lavoro è inoltre una solida base per lo sviluppo futuro di un Sistema di Supporto alle Decisioni Spaziali che restituisca scenari alternativi per i portatori di interesse al fine di individuare la migliore scelta decisionale.

ABSTRACT

The coastal zone management is a complex process that aims at integrating the exploitation of the area with the conservation of a good environmental quality. Since this is a complex spatial problem, it can be addressed through the GIS systems. Here we presents an approach applied to offshore fish farming, implementing a procedure in GRASS for identifying suitable areas for the installation of new facilities for such activity. The study area is the Liguria Region (Italy). The site selection is based on the definition of two main criteria that determine the suitability for such activity ("not suitable areas" and "potentially suitable areas") and of conditions concerning the study area. The procedure outputs the final map with suitable areas, combining the criteria maps previously created. About 30 suitable areas were identified along the Ligurian coast, mainly located in the west, but the ones with the largest extension are at east. The procedure was verified comparing the areas identified with the position of the existing farms, all falling in these. The results of this work show that this procedure is a valuable system for the identification of suitable areas in a simple, fast and efficient way. This procedure, if appropriately modified, can be applied to any marine coastal system and can be adapted to other activities of the coastal zone. This work is thus a solid basis for a future development of a Spatial Decision Support System, that provides multiple scenarios for the stakeholders in order to facilitate the decision making process.

1. INTRODUZIONE

La fascia marina costiera è una delle aree più produttive della terra, le cui peculiarità l'hanno resa densamente popolata e altamente sfruttata. In questa zona interagiscono molteplici attività produttive, attrazioni turistiche e centri urbani che spesso sfruttano e si contendono le medesime risorse naturali e i medesimi spazi, non garantendo uno sviluppo sostenibile. La necessità di tutelare gli ecosistemi naturali non dovrebbe essere infatti in contrasto con la promozione del benessere economico e sociale delle zone costiere. Per perseguire la sostenibilità

economica, sociale e ambientale di queste aree sensibili è necessaria una gestione integrata, attraverso l'applicazione di un approccio ecosistemico e il coinvolgimento dei diversi portatori di interesse (OECD, 1993; Fabbri, 1998; Rodríguez et. al, 2009).

Negli ultimi 60 anni, come conseguenza del costante declino mondiale della produzione della pesca tradizionale, a causa di un eccessivo sforzo sugli stock naturali (FAO, 2012), e della crescente domanda di organismi acquatici per l'alimentazione, la maricoltura ha visto un notevole e crescente sviluppo. Secondo i dati della FAO (2013), nel 2011 la maricoltura ha contribuito per il 40,1% alla produzione mondiale di pesce.

Questa attività produttiva svolge quindi un ruolo ormai centrale nella produzione mondiale ma porta con sé conseguenti ripercussioni sulle aree marine costiere. Se mal gestita può portare ad inquinamento ed eutrofizzazione dell'area con conseguente impatto sulle biocenosi limitrofe; ci possono essere interazioni economiche e sociali negative con le altre attività presenti e con i diversi fruitori della zona costiera (es. navigazione, turismo, impatto visivo) (Engle, 2010; GESAMP, 2001; Holmer, 2010). Per avviare e mantenere una attività di maricoltura è necessaria una corretta scelta dei siti al fine di uno sviluppo economico compatibile con la salvaguardia dell'ambiente, in grado di soddisfare i bisogni attuali e futuri, come richiesto dalla Comunità Europea (2000/60/EC, 2008/56/EC, 2014/89/EU, COM(2011) 417 final, COM(2002) 511 final, COM(2009) 162 final, Horizon 2020, Blue Growth strategy) e sottolineato dalla FAO (FAO, 1995, 2005a, 2005b). Quindi, seguendo un approccio ecosistemico, basato su fattori ambientali, economici e sociali e sulla loro interazione, è possibile individuare i siti più adatti per la maricoltura (Pérez et al., 2005; GESAMP, 1991, 1996, 2001).

La selezione di siti idonei per un'attività di maricoltura è un problema di decisione spaziale complesso che può avere differenti soluzioni (diverse scelte iniziali implicano l'identificazione di diverse alternative decisionali) e che coinvolge decisori con differenti interessi e preferenze, e pertanto questa scelta non è facilmente e univocamente identificabile (Malczewski, 1997). I sistemi GIS possono essere un potente strumento di supporto alle decisioni con componente spaziale (Densham, 1991; Bartlett and Smith, 2004) e in particolare sono già stati applicati con successo per le operazioni di selezione di siti idonei per l'installazione di impianti di itticoltura (Pérez et al., 2005) e molluschicoltura (Longdill et al., 2008).

Lo scopo di questo lavoro è sviluppare, mediante il software GIS free e open source GRASS, una procedura facilmente scalabile e adattabile che consenta in modo rapido di individuare le aree idonee alla realizzazione di un impianto di itticoltura offshore (allevamento di pesci lontano da costa in zone esposte), considerando non solo gli aspetti necessari all'installazione ed alla sostenibilità dell'impianto stesso ma anche l'interazione di questa attività con le altre presenti nel territorio, oltre che con l'ambiente circostante.

Per mettere a punto tale procedura, si è scelto di esaminare il caso dell'itticoltura offshore lungo le coste liguri, dove tale attività è già presente e sviluppata, al fine di verificare la correttezza del risultato e valutare eventuali potenziali sviluppi nella regione.

2. LA PROCEDURA CON GRASS

La procedura implementata prevede le seguenti fasi: definizione dei criteri, raccolta dei dati, elaborazione dei dati e verifica dei risultati (Fig. 1). Tali fasi sono di seguito descritte in dettaglio.

1. Definizione dei due criteri (combinazione di fattori e relative condizioni) volti a valutare per ogni area presa in esame la propria idoneità all'installazione di un impianto di itticoltura offshore: "aree non idonee" ed "aree potenzialmente idonee". I fattori presi in esame vengono individuati analizzando aspetti morfologici, ambientali, gestionali ed economico-sociali a scala regionale e scegliendo per ognuno un'opportuna condizione per i vincoli geospaziali. Il primo criterio riguarda la definizione delle aree non idonee, cioè le aree in cui non si possono posizionare impianti di itticoltura in quanto aree da preservare o aree da evitare. Le prime sono quelle aree che potrebbero ricevere un inquinamento dall'impianto, dovuto al rilascio di feci e/o cibo non

consumato dai pesci (es. aree marine protette e biocenosi di pregio); le seconde sono le aree da evitare perché potenziale fonte di inquinamento per l'impianto stesso (es. condotte con scarico a mare, fiumi e grossi porti). Oltre alle aree stesse deve essere esclusa un'area di rispetto (buffer) rappresentante l'area di dispersione del materiale, che viene calcolata grazie alla formula di dispersione di Gowen et al. (1989) e alle indicazioni legislative.

Il secondo criterio rappresenta le aree potenzialmente idonee dal punto di vista gestionale, cioè le zone che hanno una batimetria tale da permettere l'ancoraggio delle gabbie al fondale e le operazioni di manutenzione di routine e di emergenza e che sono ad una distanza dai porti tale per cui il tempo e il costo di raggiungimento dell'impianto non siano eccessivi.

2. Raccolta di dati cartografici d'interesse relativi all'area di studio (valutandone dettaglio, precisione e scala di rappresentazione), normative ed eventuali linee guida regionali, informazioni sulle caratteristiche dell'impianto che può essere installato nella zona di studio (impianto tipo) ed eventuali altre informazioni di interesse per la definizione di criteri e fattori.
3. Elaborazione in GRASS dei dati e delle informazioni raccolti al fine di ottenere le mappe dei fattori, che opportunamente unite porteranno alla creazione delle mappe dei due criteri. Sulla base della risoluzione dei dati disponibili e della grandezza dell'impianto tipo viene fissata la risoluzione spaziale della procedura. Le mappe dei fattori derivano dall'elaborazione di dati vettoriali e raster, attraverso i molteplici comandi disponibili in GRASS (tra cui: v.buffer, v.extract, v.overlay, v.surf.rst, v.to.points, v.what.rast, v.to.rast, r.to.vect, r.watershed, r.mapcalc, r.reclass, r.surf.idw). Le mappe dei fattori vengono quindi convertite in formato vettoriale e tramite operazioni booleane di unione (v.overlay OR) vengono prodotte le mappe dei due criteri: "aree non idonee" (con creazione intermedia delle mappe delle aree da preservare e delle aree da evitare) e "aree potenzialmente idonee".
4. Restituzione della mappa finale delle "aree idonee", ottenuta dalla combinazione (v.overlay AND) delle mappe dei due criteri. In seguito, sulla base delle dimensioni dell'impianto tipo, vengono selezionate soltanto le aree sufficientemente estese o opportunamente dimensionate da poter ospitare un impianto tipo di itticoltura (valutando l'occupazione areale dell'impianto e le dimensioni minime di lunghezza/larghezza).
5. Verifica del risultato per controllare la qualità dei dati e dei risultati, confrontando le aree identificate dalla procedura con eventuali impianti già esistenti.

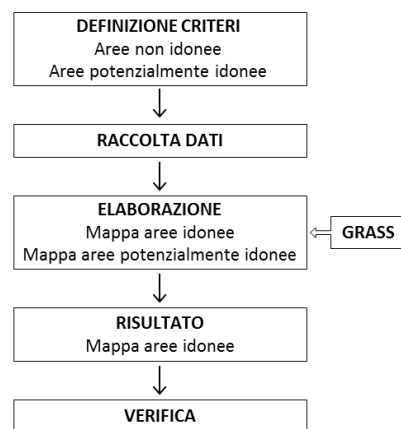


Figura 1. Schema con le fasi principali della procedura.

3. CASO DI STUDIO: ITTICOLTURA OFFSHORE IN LIGURIA

La Liguria è una regione italiana situata nel Mar Mediterraneo nord occidentale (Fig. 2). È una lunga e stretta striscia di terra caratterizzata da 345 km di costa (Ferretti, 2003), con una stretta piattaforma continentale che rapidamente supera i 2000 m di profondità. Questo fa sì che la costa ligure sia strettamente influenzata dal mare profondo.

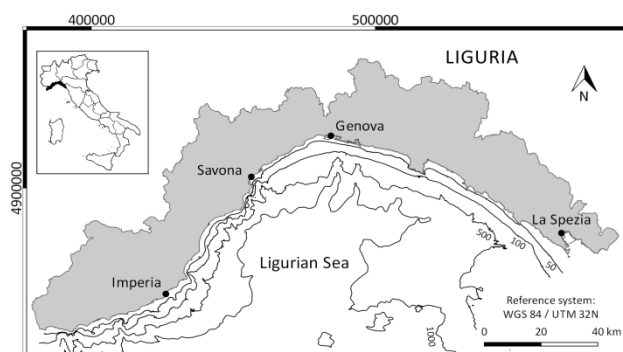


Figura 2. Area di studio: Regione Liguria (sistema di riferimento: WGS84/UTM32N).

La pesca è una delle attività tradizionali dell'economia ligure, incrementata negli ultimi decenni soprattutto come maricoltura, con la presenza di quattro impianti di itticoltura, tre offshore e uno inshore (4% della produzione nazionale), e uno di molluschicoltura (8,3% della produzione nazionale) (Cattaneo-Vietti et al., 2010). Allo stato attuale, il Mar Ligure ha tutte le condizioni necessarie per favorire un ulteriore sviluppo di questa attività produttiva (richiesta del prodotto dal mercato, condizioni ambientali favorevoli, disponibilità di aree marino-costiere non sfruttate), frenato dalla presenza di attività economiche molto radicate e a volte conflittuali. In tale contesto, nella scelta di nuovi siti idonei a sostenere un'attività di maricoltura, è necessario tener conto dell'intrecciarsi delle complessità naturali con quelle socio-economiche: la costa ligure è, allo stesso tempo, un crocevia strategico di traffici portuali e commerciali, un hotspot di biodiversità, un'attrazione turistica internazionale nonché la residenza di quasi tutta la popolazione regionale (<http://www.ambienteinliguria.it>). Sulla base delle indicazioni della FAO a livello mondiale, della legislazione vigente a livello comunitario, nazionale (Decreti Legislativi n. 154/2004 e 152/2006, art. 111) e regionale (Legge Regionale n. 21/2006, Decreto della Giunta Regionale n. 1415/2007) e delle linee guida proposte da ENEA, sono stati individuati i fattori e le relative condizioni che determinano l'idoneità o meno di un sito per l'installazione di un impianto di itticoltura offshore in Liguria (Fig. 3).

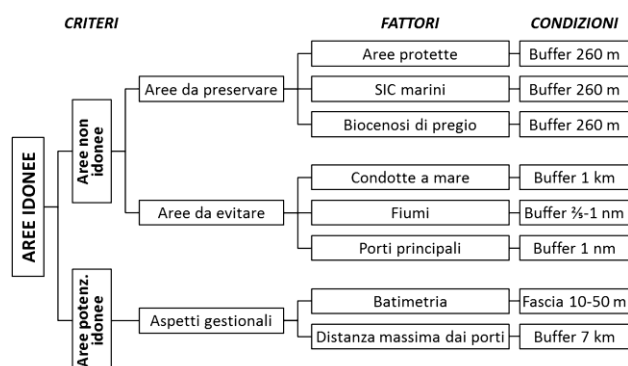


Figura 3. Criteri, fattori e relative condizioni per identificare le aree idonee per un impianto di itticoltura offshore in Liguria.

È stato considerato un impianto tipo per media produzione simile a quelli esistenti nella regione, formato da dieci gabbie galleggianti per una superficie totale di 4 ha (160 m x 250 m).

3.1 Aree non idonee

Tra le aree non idonee rientrano le aree da preservare dal potenziale impatto dell'impianto, cioè quelle aree a elevato pregio ecologico presenti in gran numero nell'area marino-costiera ligure, che spesso sono soggette a speciale protezione, delimitate dai confini dei siti di interesse comunitario marini (SIC marini), di tre aree marine protette (AMP) e di un'area di protezione regionale. La distribuzione orizzontale delle feci e del cibo rilasciati è stata calcolata con la formula di Gowen et al. (1989), come funzione della corrente media massima del Mar Ligure (velocità corrente: 0.40 m/s), la profondità media sotto la gabbia (25 m) e la velocità di sedimentazione del materiale più leggero (velocità di sedimentazione materiale fecale: 0.04 m/s) (Chen et al., 1999; Doglioli et al., 2004; Pérez et al., 2002). Il valore risultante è stato utilizzato per realizzare il buffer delle aree da preservare (Fig. 3).

Le aree da evitare invece includono le condotte che scaricano a mare e i grossi porti dai quali possono essere rilasciati agenti patogeni e tossici che possono causare contaminazioni e morie dei pesci allevati o problemi sanitari da consumo. Per via dell'elevata antropizzazione, la costa ligure presenta moltissime condotte a mare, quattro importanti porti turistici e commerciali (Genova, La Spezia, Imperia e Savona-Vado), possibili fonti di inquinamento. La distanza di dispersione dei materiali rilasciati dalle condotte con scarico a mare è stata massimizzata, considerando il valore di 1 km; per i porti invece è stata considerata cautelativamente un'area di rispetto di 1 nm (1825 m), al fine di evitare anche la possibile interazione con la navigazione. Inoltre nelle aree da evitare sono state considerate le plume dei numerosi fiumi e torrenti liguri, in quanto fonte di possibili cambiamenti idrodinamici e dei parametri fisico-chimici rilevati lungo la fascia costiera, che possono interessare la crescita ottimale dei pesci: è stata stimata una distanza che va da 2/5 di nm (730m) a 1 nm (1825 m) in relazione alla portata del fiume/torrente se disponibile o alla dimensione del rispettivo bacino idrografico.

3.2 Aree potenzialmente idonee

Dal punto di vista gestionale, l'impianto, al fine di ridurre i costi e i problemi connessi all'ancoraggio e per consentire le operazioni di manutenzione, deve essere posizionato a una profondità non troppo elevata. Per contro devono essere evitate le basse profondità poiché l'installazione dell'impianto richiede che sia mantenuta un'opportuna distanza dal fondale per consentire l'adeguato ricambio idrico e garantire la dispersione di cibo non consumato e feci, evitando eutrofizzazione o altri problemi ambientali. Pertanto la profondità di installazione considerata è compresa tra i 10 m e 50 m.

Per una corretta manutenzione e gestione dell'impianto il posizionamento deve avvenire ad una distanza a mare massima dai porti (considerando sia i porti principali che quelli minori) tale da garantirne l'accesso mediante un'imbarcazione senza risultarne eccessivamente oneroso o distante: dall'analisi degli impianti già esistenti sia in Liguria sia in altre regioni italiane, è stata considerata una distanza massima di 7 km.

3.3 Dati utilizzati

Le mappe cartografiche necessarie per le elaborazioni sono state scaricate dal Portale Cartografico della Regione Liguria (<http://www.cartografia.regione.liguria.it/>), ad eccezione della

mappa batimetrica che è stata fornita dall'Istituto Idrografico della Marina. Esse comprendono:

- Linea di costa a scala 1:5000 (ed. 2012)
- Limiti amministrativi (Comunali, Provinciali, Regionali) a scala 1:5000 (ed. 2012)
- Curve di livello batimetriche da 5 m a 2500 m di profondità a scala 1:20000
- Aree naturali marine protette a scala 1:30000 (ed. 2007)
- Siti di interesse comunitario marini e terrestri (DGR 705/2012 and DGR 613/2012) a scala 1:10000
- Depurazione costiera scala 1:10000 (ed. 2008)
- Aree di competenza Autorità Portuali a scala 1:5000 (ed. 2010)
- Carta dell'uso del suolo a scala 1:10000 (ed. 2012)
- Bacini idrografici a scala 1:25000 (ed. 2001)
- Classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali (ARPAL) nel triennio 2009-2011 (DGR n.1615/2012) a scala 1:10000 (ed. 2011)
- Impianti di pesca, maricoltura e barriere di ripopolamento ittico a scala 1:10000 (ed. 2009).

In Figura 4 sono rappresentate schematicamente, per il caso di studio, le operazioni e le elaborazioni della procedura eseguita col software GRASS.

Sulla base dell'analisi della scala e della risoluzione dei dati cartografici disponibili e sulla base della dimensione dell'impianto tipo, è stata fissata una risoluzione spaziale computazionale di 50 m.

3.4 Risultati

Mediante le elaborazioni descritte in figura 4, la procedura crea le mappe dei due criteri e la mappa finale delle aree idonee (Fig. 5).

Sulla base dei parametri dimensionali dell'impianto, in maniera automatizzata vengono eliminati tutti quei poligoni (Fig. 6a) con area inferiore a quella dell'impianto tipo considerato (meno estesi di 4 ha). Dei rimanenti viene valutata la loro dimensione

lineare minima (l_{min}), che deve essere superiore alla soglia definita (160 m). Il valore di l_{min} viene calcolato approssimando i poligoni a dei rettangoli ed utilizzando la seguente equazione:

$$l_{min} = \frac{P - \sqrt{P^2 - 8A}}{4} \quad (1)$$

dove P è il perimetro e A l'area del poligono, calcolati con le rispettive funzioni geospaziali di GRASS. I poligoni caratterizzati da l_{min} inferiore alla soglia (Fig. 6b e 6c) vengono evidenziati automaticamente; quindi essi vengono eliminati manualmente (mediante digitalizzazione) al fine di mantenere i poligoni la cui forma si discosta da quella rettangolare ed è tale da poter contenere l'impianto in una porzione di essa (Fig. 6c).

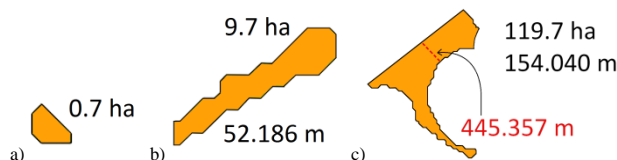


Figura 6. Aree potenzialmente idonee oggetto della selezione: a) poligono con area inferiore a quella dell'impianto tipo e quindi eliminato dalla procedura, b) poligono approssimabile a un rettangolo con area maggiore di 4 ha ma larghezza inferiore a quella dell'impianto tipo individuato dalla procedura e quindi eliminato manualmente, c) poligono non approssimabile a un rettangolo con area maggiore di 4 ha e larghezza inferiore a quella dell'impianto tipo individuato dalla procedura ma ritenuto idoneo in quanto avente una forma tale per cui può contenere l'impianto.

La mappa finale presenta, distribuite lungo tutta la costa ligure, 34 aree idonee al posizionamento di un allevamento ittico offshore, per un'estensione totale di quasi 9000 ha (Fig. 5c).

Nella provincia di Imperia si trovano 11 aree. Il numero più elevato di aree si trova nella provincia di Savona, con 17 aree. Nella provincia di Genova ci sono 5 aree, 3 di fronte a Cogoleto e Arenzano, 1 aree di fronte a Recco e Camogli e 1 area nel Golfo del Tigullio di quasi 2200 ha. Infine, è presente 1 area prossima a La Spezia, di fronte a Portovenere, la cui estensione è di oltre 3500 ha.

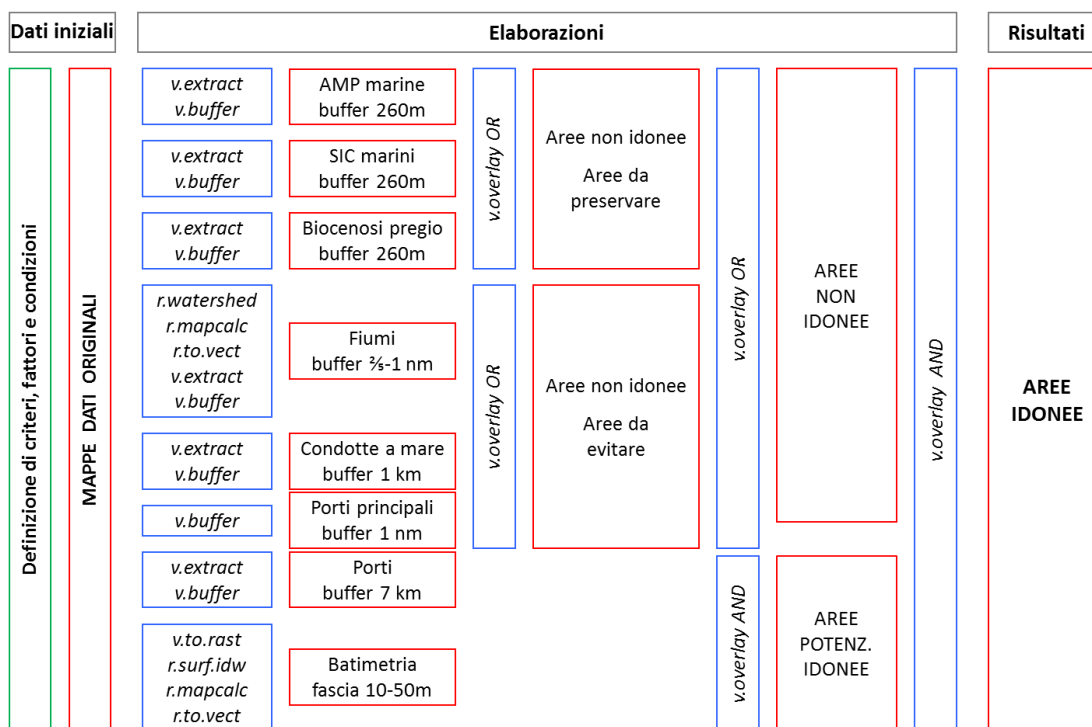


Figura 4. Schema della procedura implementata in GRASS per il caso di studio.

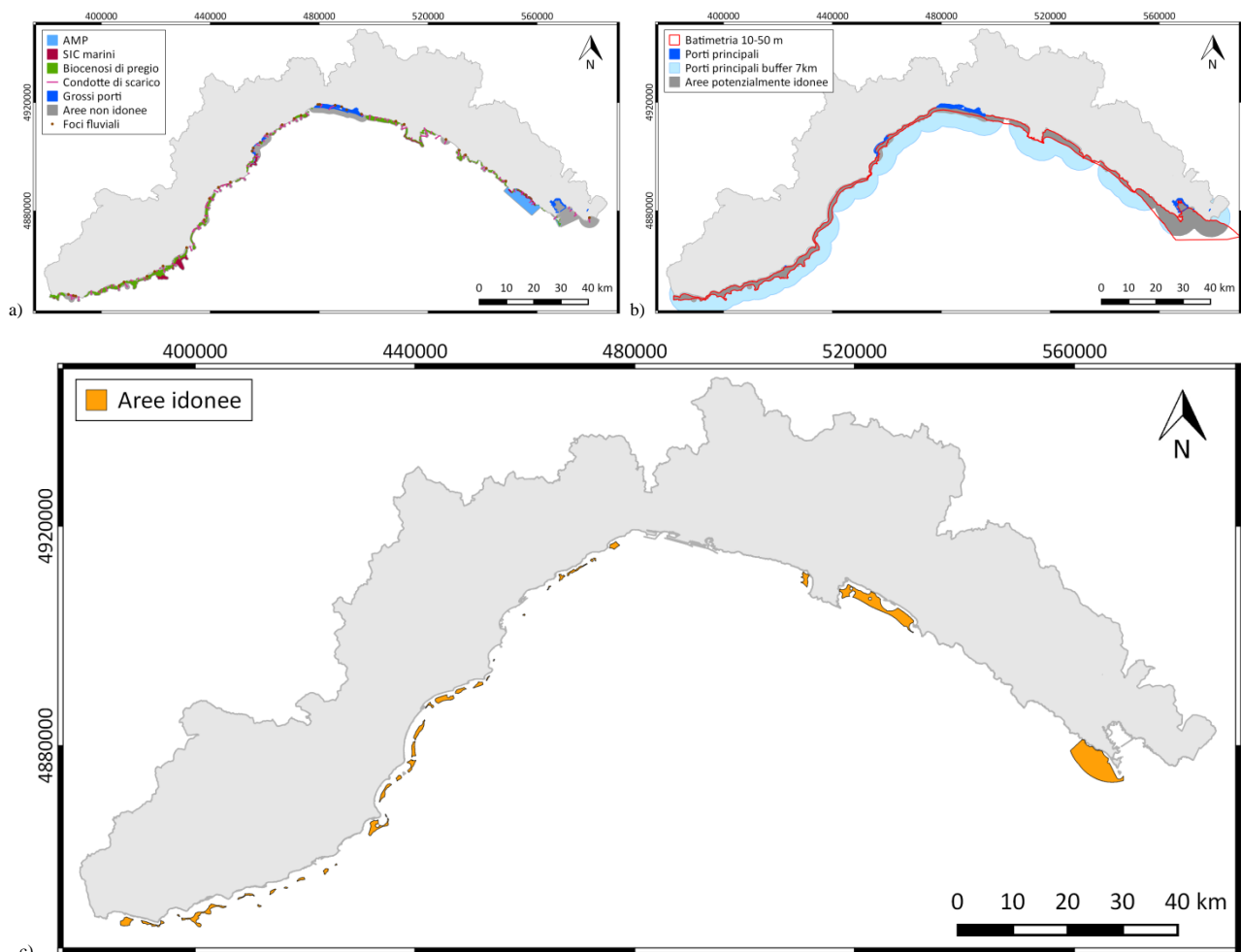


Figura 5. Mappe dei due criteri: a) aree non idonee e b) aree potenzialmente idonee; c) mappa delle aree idonee, escluse quelle con dimensione tale da non poter ospitare l'impianto tipo (sistema di riferimento: WGS84/UTM32N).

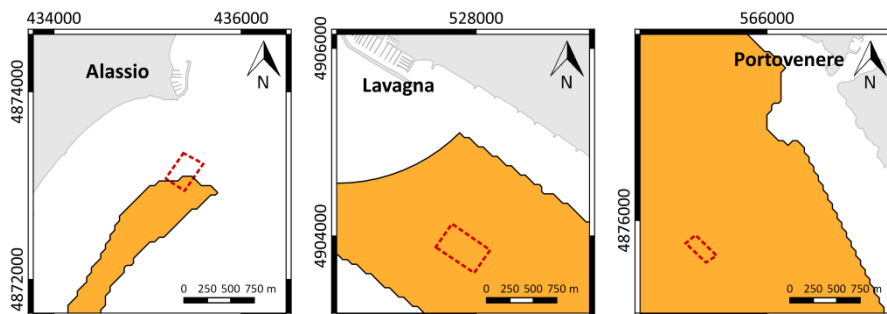


Figura 7. Verifica della procedura: confronto con gli impianti esistenti in Liguria (tratteggiati in rosso in figura) (sistema di riferimento: WGS84/UTM32N).

4. DISCUSSIONE

L'applicazione della procedura all'area di studio ha portato all'individuazione di 34 aree (per un'estensione di circa 9000 ha) distribuite in maniera non omogenea lungo tutta la costa ligure (Fig. 5c) e in maggior numero nella zona di ponente, per via di un elevato numero di porti e approdi e per la presenza di alcune zone con morfologia del fondale più idonea. Tuttavia, le aree di maggiore estensione si trovano a levante del Promontorio di Portofino (circa 2200 ha) e a Portovenere (circa 3500 ha), nelle vicinanze di due aree protette, a conferma della presenza di un'elevata qualità ambientale dell'area, dove è presente anche un numero minore di condotte con scarico a mare. Tali aree risultano probabilmente eccessivamente estese e dovranno essere meglio indagate introducendo condizioni socio-

economiche più stringenti. In lunghi tratti di costa non sono state invece individuate aree idonee, come nella zona davanti al comune di Genova per la presenza del grosso porto del capoluogo, di molti scarichi a mare e di alcune aree di pregio, e davanti al Parco delle Cinque Terre nella riviera di levante per via della presenza dell'estesa AMP, la grande rilevanza ambientale della zona e la mancanza di porti necessari alla gestione dell'impianto.

Per verificare la procedura, la posizione dei tre impianti già presenti in Liguria (nei comuni di Alassio, Lavagna e Portovenere) è stata sovrapposta alle aree individuate: è stato verificato che tutti e tre gli impianti ricadono, totalmente o in parte, in aree idonee (Fig. 7). Gli impianti di Lavagna e Portovenere ricadono interamente in due aree idonee. Il primo, nonostante sia posto a sud-est della foce del fiume Entella e di

una condotta con scarico a mare, non risulta influenzato dalla loro presenza, anche per via dell'effetto della corrente litoranea ciclonica che contribuisce ad allontanare l'eventuale carico inquinante. L'impianto di Portovenere, malgrado si trovi vicino al porto militare e commerciale di La Spezia, risulta protetto dal Promontorio di Portovenere e dall'Isola Palmaria. L'allevamento di Alassio rientra solo in parte in un'area idonea (23.3%), mentre la restante parte ricade in un'area non idonea relativamente estesa per effetto della presenza di una condotta con scarico a mare posta a nord-est dell'impianto. Il calcolo per la determinazione dell'area soggetta al materiale rilasciato dalla condotta è operato mediante buffer simmetrico e non tiene conto della direzione effettiva della corrente. La corrente ligure costiera generale ha una circolazione antioraria che per effetti idrodinamici locali subisce inversione proprio in quest'area (Capello et al., 2014), contribuendo a ridurre l'impatto dello scarico della condotta sull'impianto. Questo è confermato dal fatto che lo stato ecologico dell'area risulti comunque elevato (Deliberazione del Consiglio Regionale n. 32/09 concernente il Piano di tutela delle acque, periodo di monitoraggio 2009-2013) e il prodotto ittico dell'impianto sia considerato di buona qualità.

La procedura sviluppata con GRASS ha permesso di individuare le aree idonee secondo considerazioni di carattere generale, ovvero relative all'intera area di studio (scala regionale). In seguito, analisi a scala locale, come quella del caso di Alassio, potranno essere condotte nelle sole aree idonee individuate, aumentando la precisione del risultato. In particolare, oltre all'utilizzo di dati a scala locale dei fattori individuati, potranno essere presi in esame ulteriori fattori quali l'esposizione del sito alla corrente che può modificare la dispersione locale dell'inquinamento, l'altezza dell'onda che può non consentire il posizionamento delle gabbie e l'impatto visivo che l'impianto può avere sulle zone circostanti.

5. CONCLUSIONI

Questo lavoro descrive l'implementazione di una procedura con il software GIS GRASS per individuare siti idonei per installare potenziali nuovi impianti di itticoltura offshore in Liguria. La procedura lavora a scala regionale in modo semplice, rapido, efficiente ed efficace, sfruttando le potenzialità e la versatilità di GRASS.

Tale applicazione ha portato all'individuazione di circa trenta zone idonee, in maggior numero a ponente, ma con maggiori estensioni a levante. Dal confronto con la posizione degli impianti di itticoltura attualmente esistenti risulta che tutti ricadono, totalmente o in parte, in aree valutate idonee, dimostrando la validità dei risultati ottenuti.

Il risultato finale fornisce un elenco di siti ugualmente idonei senza differenziarne il grado. Mediante un'analisi maggiormente approfondita e definendo ulteriori criteri, fattori e condizioni si potrebbe arrivare a classificare le diverse aree. In particolare migliorando il calcolo della dispersione, le zone da preservare ed evitare potrebbero essere modificate e rese maggiormente dettagliate. Una valutazione socio-economica potrebbe essere condotta per migliorare la sostenibilità economica dell'impianto, analizzando quali siano i porti che possono essere d'appoggio a una simile attività produttiva, considerando anche la disponibilità di spazi a terra. Una più accurata valutazione delle condizioni ottimali per la buona crescita dei pesci e delle interazioni con altre attività (es. immersione subacquea, pesca tradizionale, diportismo) potrebbero modificare l'estensione delle aree. Inoltre mediante il coinvolgimento diretto dei portatori di interesse, potranno essere attribuiti diversi pesi ai singoli criteri, sia in funzione

dell'attività di itticoltura stessa (es. l'aspetto gestionale è più importante della qualità ambientale o viceversa) sia in funzione dell'area indagata (es. presenza di vincoli o divieti legali), arrivando a definire una scala di idoneità.

Modificando opportunamente i fattori e le condizioni, la procedura, che è stata sviluppata per il sito specifico della Liguria, potrà essere adattata a qualunque altra zona costiera. Con adeguate modifiche l'approccio presentato in questo lavoro potrà essere utilizzato anche in molte altre applicazioni, variando la scelta dei criteri in base alle esigenze di ogni singolo caso. Ad esempio, sarà possibile adattarla alla scelta di siti idonei allo sviluppo di molluschicoltura, per l'installazione di un impianto fognario o di depurazione con scarico a mare o di pale eoliche offshore.

La procedura e i risultati ottenuti sono quindi una solida base per lo sviluppo futuro di un Sistema di Supporto alle Decisioni Spaziali, che restituisca scenari alternativi confrontabili e valutabili dai decisori al fine di individuare la migliore destinazione d'uso di un'area. Mediante il coinvolgimento diretto dei portatori di interesse, la loro conoscenza esperta potrà essere integrata con i dati quantitativi dei modelli e con le informazioni qualitative.

6. RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare le seguenti istituzioni e le persone per il loro contributo e l'aiuto nello sviluppo di questo progetto. La piscicoltura di Lavagna AQUA s.r.l., la Cooperativa Aquarius per la maricoltura in Alassio, la Regione Liguria e l'Area Marina Protetta di Portofino per aver fornito dati e informazioni utili a definire le principali condizioni di ottimizzazione. La dott.ssa Michela Castellano (DISTAV, Università degli Studi di Genova) per i suoi preziosi suggerimenti.

7. BIBLIOGRAFIA

Bartlett D., Smith J., 2004. *GIS for coastal zone management*. CRC press, 2004, 344pp.

Capello M., Cutroneo L., Ferranti M.P., Budillon G., Bertolotto R.M., Ciappa A., Cotroneo Y., Castellano M., Povero P., Tucci S., 2014. Simulations of dredged sediment spreading on a Posidonia oceanica meadow off the Ligurian coast, Northwestern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 79, pp. 196-204.

Cattaneo-Vietti R., Albertelli G., Aliani S., Bava S., Bavestrello G., Benedetti Cecchi L., Bianchi C.N., Bozzo E., Capello M., Castellano M., Cerrano C., Chiantore M., Corradi N., Cocito S., Cutroneo L., Diviacco G., Fabiano M., Faimali M., Ferrari M., Gasparini G.P., Locritani M., Mangialajo L., Marin V., Moreno M., Morri C., Orsi Relini L., Pane L., Paoli C., Petrillo M., Povero P., Pronzato R., Relini G., Santangelo G., Tucci S., Tunesi L., Vacchi M., Vassallo P., Vezzulli L., Wurtz M., 2010. The Ligurian Sea: state of the art, problems and perspectives. *Chemistry and Ecology* 26, pp. 319-340.

Chen Y-S., Beveridge M.C.M., Telfer T.C., 1999. Settling rate characteristics and nutrient content of the faeces of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and the implications for modelling of solid waste dispersion. *Aquaculture Research* 30, pp. 395-398.

Densham P.J., 1991. Spatial decision support systems. In: Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W. (Eds.), *Geographical information systems: Principles and applications*

(Volume 1), Longman, London, pp. 403-412.

Doglioli A.M., Magaldi M.G., Vezzulli L., Tucci S., 2004. Development of a numerical model to study the dispersion of wastes coming from a marine fish farm in the Ligurian Sea (Western Mediterranean). *Aquaculture* 231, pp. 215-235.

Engle C.R., 2010. Mariculture, Economic and Social Impacts. In: John H. Steele, Steve A. Thorpe, Porter Hoagland, Karl K. Turekian (eds.), *Marine Policy & Economics: A Derivative of the Encyclopedia of Ocean Science*, Academic press, pp. 236-242.

Fabbri K.P., 1998. A methodology for supporting decision making in integrated coastal zone management. *Ocean & Coastal Management* 39, pp. 51-62.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), 1995. Code of Conduct for Responsible Fisheries. Article 9: Aquaculture development. <http://www.fao.org/docrep/005/v9878e/v9878e00.htm>.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), 2005a. Manual on Hatchery Production of Seabass and Gilthead Seabream. Volume 2. <http://www.fao.org/docrep/008/y6018e/y6018e00.htm>.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), 2005b. Report of the third meeting of the Ad Hoc GFCM/ICCAT Working Group on Sustainable Bluefin Tuna Farming/Farming Practices in the Mediterranean. Rome, 16-18 March 2005. FAO Fisheries Report. No. 779. Rome, FAO. <http://www.fao.org/docrep/008/y8870e/y8870e00.htm>.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), 2012. *The State of World Fisheries and aquaculture*. Rome, 230pp.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), 2013. *FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics*. Rome, 105pp.

Ferretti O., Barsanti M., Delbono I., Furia S., 2003. Elementi di gestione costiera - Parte I: Tipi morfo-sedimentologici dei litorali italiani. *ENEA*, 43pp.

GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Expert on the Scientific Aspects of Marine Pollution), 1991. *Reducing environmental impacts of coastal aquaculture*. Reports and Studies GESAMP 47, 39pp.

GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Expert on the Scientific Aspects of Marine Pollution), 1996. *The contribution of science to integrated coastal management*. Reports and Studies GESAMP 61, 66pp.

GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Expert on the Scientific Aspects of Marine Pollution), 2001. *Planning and management for sustainable coastal aquaculture development*. Reports and Studies GESAMP 68, 107pp.

Gowen R.J., Bradbury N.B., Brown J.R., 1989. The use of simple models in assessing two of the interactions between fish farming and the marine environment. In: De Pauw N., Jaspers E., Wilkins N. (eds.), *Aquaculture: A biotechnology in progress*, European Aquaculture Society, Belgium, pp. 1071-1080.

Holmer M., 2010. Environmental issues of fish farming in

offshore waters: perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture environment interactions* 1, pp. 57-70.

Longdill P.C., Healy T.R., Black K.P., 2008. An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. *Ocean & Coastal Management* 51, pp. 612-624.

Malczewski J., 1997. Spatial Decision Support Systems. NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) Core Curriculum in GIScience. <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u127/u127.html> (6 Oct., 1998).

Nath S.S., Bolte J.P., Ross L.G., Aguilar-Manjarrez J., 2000. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquacultural Engineering* 23, pp. 233-278.

OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development), 1993. *Coastal Zone Management: Integrated policies*. OECD publication, Paris, 166pp.

Pérez O.M., Telfer T.C., Beveridge M.C.M., Ross L.G., 2002. Geographical Information Systems (GIS) as a simple tool to aid modelling of particulate waste distribution at marine fish cage sites. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54, pp. 761-768.

Pérez O.M., Telfer T.C., Ross L.G., 2005. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research* 36, pp. 946-961.

Rodríguez I., Montoya I., Sánchez M.J., Carreño F., 2009. Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. *Geomorphology* 107, pp. 100-105.

7.1 Siti web consultati

http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm (Commissione Europea - Ambiente).

http://europa.eu/legislation_summaries/maritime_affairs_and_fisheries/index_it.htm (Sintesi della legislazione dell'UE - Affari marittimi e pesca).

<http://www.ambienteinliguria.it> (Regione Liguria - Ambiente in Liguria).

<http://www.aqualavagna.it/it/homepage/index.php> (AQUA s.r.l., itticultura di Lavagna).

<http://www.aquarius-lassio.com/> (Cooperativa Aquarius Alassio, maricoltura di Alassio).

<http://www.cartografia.regione.liguria.it/> (Portale Cartografico della Regione Liguria).

<http://www.fao.org/fishery/aquaculture/en> (Food and Agriculture Organization - Fisheries and Aquaculture Department).

<http://www.spezzinaitticoltura.it/home.html> (Spezzina itticultura s.r.l., itticultura di La Spezia).