Food and Agriculture Organization of the United Nations

General Fisheries Commission for the Mediterranean

FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER

705

ISSN 2070-7010

Manuale sull'uso dei sistemi informativi geografici per l'identificazione delle zone assegnate all'acquacoltura



Funded by the European Union

Progetto di copertina:
Yamrote Alemu Haileselassie

Manuale sull'uso dei sistemi informativi geografici per l’identificazione delle zone destinate all’acquacoltura

DOCU
MENTO TECNICO
DELLA FAO SULLA
PESCA E
L’ACQUACOLTURA
DOCUMENTO

705

Riveduto

di

Linda Fourdain
Organizzazione delle Nazioni Unite per l’alimentazione e l’agricoltura

José Carlos Macias
Esperto di acquacoltura

Erika M.D. Porporato
Fondazione Centro Marino Internazionale

ORGANIZZAZIONE DELLE NAZIONI UNITE PER L'ALIMENTAZIONE E L'AGRICOLTURA
Roma, 2026

Citazione obbligatoria:
Fourdain, L., Macias, J.C. & Porporato, E.M.D. 2026. *Manuale sull'uso dei sistemi informativi geografici per l'identificazione delle zone destinate all'acquacoltura.* Edizione riveduta. Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 705. Roma, FAO. https://doi.org/10.4060/cd2378en

Riveduto nell'aprile 2026.

Le denominazioni utilizzate e la presentazione del materiale contenuto in questo prodotto informativo non implicano l'espressione di alcun giudizio da parte dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) riguardo allo status giuridico o di sviluppo di alcun paese, territorio, città o area o delle relative autorità, né riguardo alla delimitazione delle relative frontiere o confini. Il riferimento a specifiche aziende o prodotti di produttori, indipendentemente dal fatto che siano stati brevettati o meno, non implica che questi siano stati approvati o raccomandati dalla FAO rispetto ad altri di natura simile che non sono menzionati.

Le opinioni espresse in questo prodotto informativo sono quelle degli autori e non riflettono necessariamente le opinioni o le politiche della FAO.

ISSN 2070-7010 [Versione cartacea]
ISSN 2664-5408 [Online]

ISBN 978-92-5-139106-8
© FAO, 2026
Prima edizione: 2024



Alcuni diritti riservati. L'opera è resa disponibile ai sensi della licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/ legalcode).

Ai sensi dei termini di questa licenza, l'opera può essere copiata, ridistribuita e adattata per scopi non commerciali, a condizione che l'opera sia citata in modo appropriato. In qualsiasi utilizzo di quest'opera, non deve essere dato ad intendere che la FAO avalli alcuna organizzazione, prodotto o servizio specifico. L'uso del logo della FAO non è consentito. Se l'opera viene adattata, deve essere concessa in licenza con la stessa licenza Creative Commons o con una licenza equivalente. Se viene realizzata una traduzione di questa opera, essa deve includere la seguente dichiarazione di non responsabilità insieme alla citazione richiesta: «La presente traduzione non è stata realizzata dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO). La FAO non è responsabile del contenuto o dell'accuratezza di questa traduzione. L'edizione originale in inglese costituisce l'edizione autorevole».

Le controversie derivanti dalla licenza che non possano essere risolte in via amichevole saranno risolte mediante mediazione e arbitrato come descritto nell'articolo 8 della licenza, salvo quanto diversamente previsto nel presente documento. Le norme di mediazione applicabili saranno quelle dell'Organizzazione mondiale della proprietà intellettuale http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules e qualsiasi arbitrato sarà condotto in conformità con il Regolamento di arbitrato della Commissione delle Nazioni Unite per il diritto commerciale internazionale (UNCITRAL).

Materiali di terzi. Gli utenti che intendano riutilizzare materiale tratto dalla presente opera attribuito a terzi, quali tabelle, figure o immagini, sono tenuti a verificare se sia necessaria un'autorizzazione per tale riutilizzo e a ottenere tale autorizzazione dal titolare del diritto d'autore. Il rischio di rivendicazioni derivanti dalla violazione di qualsiasi componente dell'opera di proprietà di terzi ricade esclusivamente sull'utente.

Vendite, diritti e licenze. I prodotti informativi della FAO sono disponibili sul sito web della FAO (www.fao.org/publications) e possono essere acquistati tramitepublications-sales@fao.org . Le richieste relative all'uso commerciale devono essere inviate all'indirizzo: www.fao.org/contact-us/licence-request. Le richieste relative ai diritti e alle licenze devono essere inviate all'indirizzo:copyright@fao.org .

Elaborazione del presente documento

Il presente manuale è stato redatto dalla Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo (CGPM) dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) in risposta alle priorità individuate dai paesi del Mediterraneo e del Mar Nero, in particolare alla necessità di rafforzare la sostenibilità e la resilienza del settore dell'acquacoltura. Tali priorità sono delineate negli impegni internazionali e nelle strategie regionali, tra cui la Strategia GFCM 2030 per la pesca e l'acquacoltura sostenibili nel Mediterraneo e nel Mar Nero (Strategia GFCM 2030). Fornendo informazioni dettagliate sull'uso dei sistemi informativi geografici nella definizione delle zone destinate all'acquacoltura, il presente manuale mira a contribuire in particolare all'Obiettivo 3, Risultato 2 «Promuovere pratiche a sostegno della sostenibilità del settore dell'acquacoltura» della Strategia GFCM 2030.

Il presente documento è stato elaborato sotto la guida e il coordinamento generale di Houssam Hamza (Responsabile per l'acquacoltura). La redazione e la pubblicazione sono state curate da Alexandria Schutte (Specialista in gestione delle conoscenze sull'acquacoltura), in coordinamento con Ysé Bendjeddou (Coordinatrice delle pubblicazioni) e sotto la supervisione di Dominique Bourdenet (Responsabile della gestione delle conoscenze). Koen Ivens e Yamrote Alemu Haileselassie si sono occupati della progettazione grafica e dell'impaginazione.

Abstract

Lo sviluppo sostenibile dell'acquacoltura nella regione del Mediterraneo e del Mar Nero dipende in larga misura dalla disponibilità di spazi idonei. In questo contesto, le zone destinate all'acquacoltura (AZA) sono considerate strumenti essenziali nella regione, poiché derivano da un processo di zonizzazione basato sulla pianificazione dello spazio marittimo (MSP) e presentano rischi minimi di conflitto con altri usi e utenti.

La GFCM ha individuato, nella sua Strategia 2030 per la pesca e l'acquacoltura sostenibili nel Mediterraneo e nel Mar Nero, la necessità di continuare a promuovere le AZA nell'ambito della MSP attraverso una maggiore assistenza tecnica, al fine di sostenere la sostenibilità del settore dell'acquacoltura. Nell'ambito di questo processo di pianificazione spaziale, i sistemi informativi geografici (GIS) rivestono particolare importanza in quanto consentono agli utenti di analizzare i dati spaziali e forniscono preziose informazioni su aspetti quali gli usi costieri e marini, la qualità delle acque e le considerazioni ambientali.

Concepito come una guida passo dopo passo per tutti gli attori del settore dell'acquacoltura, questo manuale accompagna i lettori attraverso il processo di utilizzo del GIS nell'ambito della pianificazione marittima (MSP) per la pianificazione spaziale dell'acquacoltura, compresa l'identificazione delle AZA, partendo dalle nozioni di base del GIS fino alle tecniche avanzate. È suddiviso in cinque capitoli. Il primo capitolo introduce il concetto di AZA nell'ambito della pianificazione marittima (MSP). Il secondo capitolo fornisce definizioni dettagliate della terminologia GIS più utile. Il terzo capitolo evidenzia l'utilità degli strumenti GIS per la pianificazione spaziale. Il quarto capitolo illustra i fondamenti del GIS, compresi i concetti fondamentali, i diversi tipi di dati spaziali, i sistemi di coordinate e le fonti di dati. Il quinto capitolo identifica le componenti specifiche di un GIS e propone diversi software per guidare i lettori nella configurazione di un ambiente GIS adeguato. Infine, la pubblicazione si conclude con una serie di raccomandazioni per il corretto utilizzo del GIS ai fini dell'analisi spaziale e dello sviluppo sostenibile dell'acquacoltura.

La presente pubblicazione fa parte di una serie di strumenti elaborati dalla GFCM per sostenere il processo di identificazione delle AZA e approfondire la conoscenza delle metodologie. Tali strumenti includono la Risoluzione GFCM/36/2012/1 sulle linee guida relative alle zone destinate all'acquacoltura (GFCM, 2022); *Zone destinate all'acquacoltura: una guida per l'istituzione di zone costiere dedicate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero* (Macias *et al.*, 2019); e il *Toolkit sulle zone destinate all'acquacoltura: benefici, attuazione e gestione* (FAO, 2019).

Indice

Preparazione del presente documento iii
Abstract iv
Ringraziamenti ix
Abbreviazioni x

Introduzione 1

1. Fondamenti dei sistemi informativi geografici: comprensione dati spaziali 3
1.1 Che cos'è un sistema informativo geografico? 3
1.2 Dati vettoriali e raster 3
1.3 Raccolta dei dati 4
1.4 Scala e risoluzione 5
1.5 Sistemi di riferimento coordinato 6
1.6 Dati satellitari 6

2. Utilizzo dei sistemi informativi geografici per la pianificazione territoriale dell'acquacoltura 9
2.1 Zonizzazione dell'acquacoltura e selezione dei siti 9
2.2 Istituzione e gestione delle zone assegnate all'acquacoltura 10

3. Metodologie per la pianificazione territoriale dell'acquacoltura 17
3.1 Applicazione di modelli e strumenti di supporto 18
3.2 Stima del grado di compatibilità 18
3.2.1. Selezione dei parametri, dei fattori di ponderazione e degli indici di idoneità 19
3.2.2. Valutazione della compatibilità di un'area con le attività di acquacoltura 21

4. Utilizzo dei sistemi informativi geografici per l'identificazione delle zone destinate all'acquacoltura 23
4.1 Panoramica degli strumenti dei sistemi informativi geografici per l'identificazione delle zone destinate all'acquacoltura 23
4.2 Identificazione delle zone destinate all'acquacoltura utilizzando QGIS 24
4.2.1 Fase uno: contestualizzazione del sito 24
4.2.2 Fase due: raccolta di informazioni e dati 32
4.2.3 Fase tre: preselezione delle zone destinate all'acquacoltura 34
4.2.4 Fase quattro: processo di consultazione e convalida 36
4.2.5 Fase cinque: analisi del potenziale acquicolo 36
4.3 Identificazione delle zone destinate all'acquacoltura mediante il software R 41
4.3.1 Interfaccia del software RStudio 41
4.3.2 Utilizzo di R e RStudio per l'estrazione dei dati satellitari 42
4.3.3 Estrazione dei dati satellitari con QGIS 44

5. Componenti e software dei sistemi informativi geografici 47
5.1 Componenti 47
5.2 Software 47

Conclusioni e raccomandazioni 51

Bibliografia 52

Allegato 1. Esempio di tabella di marcia e piano di lavoro per la zona assegnata al processo di insediamento dell'acquacoltura 57

Allegato 2. Piattaforme che consentono l'accesso a dati open source 59

Allegato 3. Pacchetti R per l'identificazione delle zone destinate all'acquacoltura 61

Tabelle e figure

Tabelle

1. Metodi e fonti di raccolta dei dati primari e secondari 5
2. Classificazione delle aree idonee all'acquacoltura in base al grado di compatibilità 18
3. Esempio di parametri, intervalli, indici di idoneità e fattori di ponderazione utilizzati per l'acquacoltura dei pesci 19
4. Parametri utilizzati per individuare le zone destinate all'acquacoltura 25
5. Parametri, intervalli e relativi indici di idoneità e fattori di ponderazione fattori da considerare nell'allevamento dei pesci 35
6. Componenti e funzioni dei sistemi informativi geografici 47
7. Software dei sistemi informativi geografici utilizzati nell'acquacoltura 48

Figure

1. Zona destinata all'acquacoltura con programma di monitoraggio ambientale all'interno e all'esterno della zona di effetto consentita 2
2. Componenti del sistema informativo geografico 3
3. Modelli di realtà geospaziale 4
4. Esempi di classi di proiezioni cartografiche 7
5. Esempio di formato di file CDF (Common Data Form) di rete 8
6. Mappatura effettuata nell'ambito del processo di definizione di una zona assegnata per l'acquacoltura nella baia di Izmir, in Turchia 10
7. Esempio di limitazione della zonizzazione per l'acquacoltura dovuta alla distanza dal porto locale nella baia di Monastir, in Tunisia 11
8. Panoramica della zona assegnata per il processo di insediamento dell'acquacoltura e relativi strumenti del sistema informativo geografico 13
9. Esempio di aree idonee all'acquacoltura, individuate in base alla per l'insediamento dell'acquacoltura nella baia di Monastir, in Tunisia 15
10. Esempio di disposizione delle stazioni di campionamento in un allevamento ittico 16
11. Le prime quattro fasi della pianificazione territoriale dell'acquacoltura mediante sistemi informativi geografici informativi 17
12. Esempi di indicatori stimati utilizzando dati satellitari 21
13. Esempio di processo semplificato di analisi multicriteriale 22
14. Prime cinque fasi dell'identificazione delle zone destinate all'acquacoltura utilizzando i sistemi informativi geografici 23
15. Panoramica dell'interfaccia di QGIS 24
16. Piattaforma QGIS con livelli aggiunti nell'area di lavoro e focus sulla baia di Monastir, in Tunisia 26
17. Caricamento delle mappe di base in QGIS 26
18. Piattaforma QGIS con livelli e una mappa di base aggiunti nell'area di lavoro e con un'area di interesse sulla baia di Monastir, in Tunisia 27

19. Visualizzazione del sistema di riferimento coordinato del progetto in QGIS 27
20. Visualizzazione del sistema di riferimento coordinato del livello in QGIS 28
21. Modifica del sistema di riferimento coordinato del progetto 28
22. Aggiunta di punti di controllo a terra con lo strumento Georeferencer di QGIS 30
23. Importazione di dati tabulari in QGIS 30
24. Creazione di un oggetto poligonale in QGIS 31
25. Delimitazione dell'area di studio in QGIS 32
26. Rappresentazione dei porti di origine e degli habitat sensibili in QGIS 33
27. Dati batimetrici aggiunti alla piattaforma QGIS 33
28. Griglia con una risoluzione spaziale di 4 km per 4 km 34
29. Aggiunta di un buffer di 400 m attorno a un livello poligonale (a sinistra) e rimozione delle aree incompatibili (a destra) 36
30. Griglia dopo l'applicazione dei criteri di esclusione (a sinistra) e delle aree rimanenti (a destra) 36
31. Incorporazione della media dei pixel del livello raster della batimetria nella griglia in QGIS 37
32. Un buffer di 10 nm aggiunto attorno ai porti di origine (a sinistra), il buffer rimodellato in base all'area di studio (al centro) e il buffer incorporato nella griglia (a destra) 38
33. Utilizzo della funzione CASE per assegnare i valori dell'indice di idoneità in QGIS 39
34. Aggiornamento dei valori dell'indice di idoneità in QGIS 39
35. Categorizzazione delle aree in base al grado di compatibilità 40
36. Delimitazione delle potenziali zone destinate all'acquacoltura 40
37. Interfaccia di RStudio 42
38. Temperature della superficie del mare visualizzate in RStudio 43
39. Selezione di una variabile da un file CDF (Common Data Form) di rete in QGIS 45
40. Temperature della superficie del mare visualizzate in QGIS 45

Ringraziamenti

Gli autori sono grati per il fondamentale sostegno fornito dal Segretariato della GFCM durante l'intero processo di preparazione del presente documento, compresa la direzione generale di Miguel Bernal (Segretario Esecutivo). Un ringraziamento speciale va a Fabio Massa (Esperto di Acquacoltura), che ha fornito commenti specialistici sulle prime bozze della pubblicazione, nonché a Daniele Brigolin (Professore Associato di Ecologia, Università Iuav di Venezia), la cui revisione approfondita ha contribuito a migliorare il presente documento.

Abbreviazioni

AZA	zona assegnata all'acquacoltura
CRS	sistema di riferimento delle coordinate
DC	grado di compatibilità
EMP	programma di monitoraggio ambientale
FAO	Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura
GCP	punto di controllo a terra
GFCM	Commissione generale per la pesca nel Mediterraneo
GIS	sistema informativo geografico
K	fattore di ponderazione
MSP	pianificazione dello spazio marittimo
NetCDF	formato comune di dati di rete
SI	indice di idoneità
UTM	Mercator trasversale universale

Introduzione

Il settore dell'acquacoltura è diventato un fattore determinante per la produzione ittica nel Mediterraneo e nel Mar Nero (FAO, 2022). Tuttavia, esso deve affrontare diverse sfide, tra cui la concorrenza di mercato, le questioni ambientali, l'assegnazione degli spazi e la competizione tra i diversi utenti costieri. Per affrontare queste sfide e garantire la sostenibilità del settore, è necessario attuare un'efficace pianificazione e gestione territoriale. Alla luce di ciò, sono stati sviluppati processi di pianificazione strategica, quali la pianificazione dello spazio marittimo (MSP), per promuovere l'integrazione armoniosa delle attività umane che si svolgono nelle zone costiere, compresa l'acquacoltura (EPC, 2014; Meaden *et al.*, 2016). In questo contesto, le zone destinate all'acquacoltura (AZA) nell'ambito della MSP sono considerate strumenti essenziali per lo sviluppo sostenibile e l'espansione dell'acquacoltura nei paesi del Mediterraneo e del Mar Nero (Macias *et al.*, 2019).

Un'AZA può essere definita come un'area marina in cui l'acquacoltura ha la priorità rispetto ad altri usi, come stabilito giuridicamente dagli enti amministrativi attraverso processi di zonizzazione basati sulla pianificazione spaziale partecipativa (Sanchez-Jerez *et al.*, 2016). L'identificazione e l'istituzione delle AZA consentono di ridurre gli oneri amministrativi, il che a sua volta può migliorare la produttività e la competitività del settore. Va notato che, sebbene l'acquacoltura abbia la priorità in una AZA, queste zone non si limitano all'acquacoltura e possono includere anche altri usi e utenti costieri, quali la pesca, il turismo e le aree marine protette, che possono coesistere e contribuire allo sviluppo costiero sostenibile nell'ambito del concetto di crescita blu (Massa, Onofri e Fezzardi, 2017; IUCN, 2017; Chopin, 2013).

Le zone destinate all'acquacoltura si riferiscono anche a sistemi inseriti in relazioni ecosistemiche più ampie e si basano sull'elaborazione di processi specifici, tra cui i programmi di monitoraggio ambientale (EMP) (Macias *et al*., 2019). Tali EMP dovrebbero essere condotti sia all'interno che all'esterno della zona di effetto consentita e dovrebbero includere una serie di parametri da campionare nella colonna d'acqua e nei sedimenti e da confrontare con i pertinenti obiettivi e standard di qualità ambientale (Figura 1).

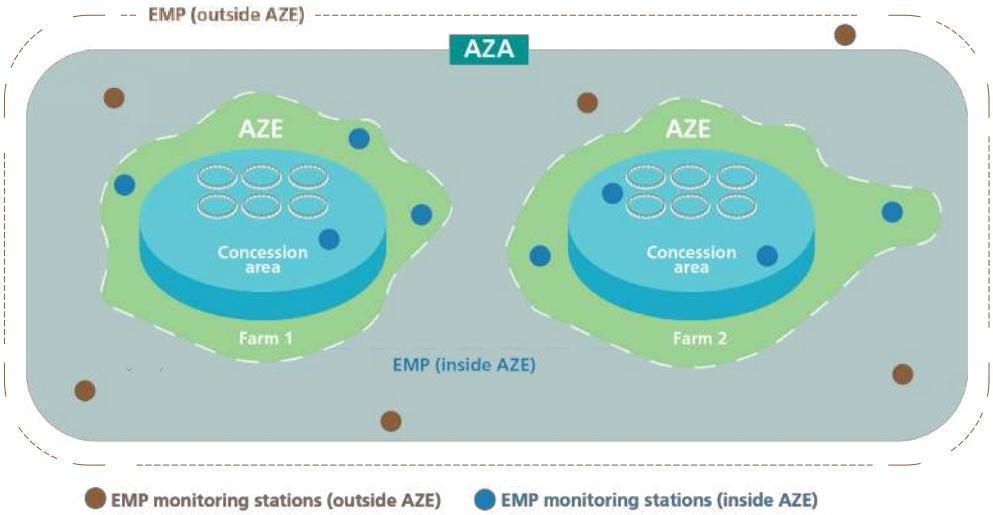
L'identificazione delle AZA dovrebbe basarsi sulla selezione dei siti e sull'analisi spaziale multicriteriale in linea con gli obiettivi nazionali. Questo processo deve integrare i migliori dati amministrativi, sociali, economici e ambientali disponibili, poiché la qualità dell'analisi spaziale multicriteriale e l'area che ne risulta sono direttamente proporzionali all'affidabilità delle informazioni.

A questo proposito, nell'ambito della pianificazione dello spazio marittimo (PSM) è aumentato l'uso di strumenti di analisi geografica in grado di migliorare l'integrazione di questa attività nelle zone costiere, al fine di supportare tutti i processi decisionali (Caldow *et al.*, 2015). Pertanto, vi è una forte domanda di strumenti in grado di integrare modelli multipli per contribuire geograficamente all'identificazione di aree idonee allo sviluppo dell'acquacoltura (Kapetsky, Aguilar-Manjarrez e Jenness, 2013). Questi modelli, che integrano risultati ambientali, socioeconomici e relativi alla capacità di carico, possono essere tradotti e gestiti utilizzando un sistema informativo geografico (GIS) (Stelzenmüller *et al.*, 2012; Stelzenmüller *et al.*, 2017). L'uso del GIS può supportare la pianificazione e la gestione di diverse attività, tra cui l'acquacoltura e la pesca (Kapetsky *et al.*, 1990), ed è considerato essenziale per definire le AZA e attuarne la gestione a livello locale, nazionale e regionale. Esiste un'ampia bibliografia specifica e dettagliata sull'uso del GIS nella pesca e nell'acquacoltura, che può essere utilizzata come riferimento in questi ambiti.

Il presente manuale pratico mira a facilitare la comprensione e l'uso del GIS per la pianificazione e la gestione dell'acquacoltura nei paesi del Mediterraneo e del Mar Nero. Offre una panoramica di come il GIS possa aiutare le autorità e le parti interessate a migliorare la pianificazione dell'acquacoltura e, di conseguenza, la sua integrazione nel territorio, nonché a rafforzare la sostenibilità delle attività. In particolare, il presente manuale fornisce informazioni di base sull'uso degli strumenti GIS nella gestione e nella pianificazione dell'acquacoltura e mira a sviluppare un quadro metodologico per l'applicazione dei GIS nella definizione delle AZA.

Il presente manuale è uno strumento a disposizione di tutte le parti interessate che si occupano di acquacoltura, sviluppo costiero e ambiente acquatico nel Mediterraneo e nel Mar Nero, destinato ai responsabili delle decisioni delle amministrazioni regionali, nazionali e locali, alle organizzazioni non governative, alle istituzioni di ricerca e accademiche, agli operatori del settore privato, ai produttori acquacolturali e alle comunità di pescatori.

FIGURA 1
Zona destinata all'acquacoltura con programma di monitoraggio ambientale all'interno e all'esterno della zona di effetto ammissibile



Nota: zona assegnata all'acquacoltura (AZA), programma di monitoraggio ambientale (EMP), zona di effetto ammissibile (AZE).

La delimitazione dell'AZE può, in alcuni casi, coincidere interamente con l'area di concessione (a seconda dei criteri normativi o ambientali locali) o con la forma dell'AZA. Le posizioni delle stazioni di campionamento dell'EMP qui illustrate sono indicative; in pratica, le stazioni sia all'interno che all'esterno dell'AZE dovrebbero essere posizionate in relazione alle direzioni predominanti delle correnti e alle vie di dispersione previste.

Fonte: Ridisegnato da Macias, J.C., Avila Zaragozá, P., Karakassis, I., Sanchez-Jerez, P., Massa, F., Fezzardi, D., Yücel Gier, G., Franicevic, V., Borg, J.A., Chapela Pérez, R.M., Tomassetti, P., Angel, D.L., Marino, G., Nhhala, H., Hamza, H., Carmignac, C. e Fourdain, L. 2019. *Zone destinate all'acquacoltura: una guida per l'istituzione di zone costiere dedicate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero.* Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo. Studi e Rassegne. N. 97. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ ca7041en

1. Fondamenti dei sistemi informativi geografici: comprendere i dati spaziali

1.1 Che cos'è un sistema informativo geografico?

Un GIS è un sistema informatico composto da hardware, software e dati, progettato per acquisire, archiviare, aggiornare, manipolare, analizzare, riportare e visualizzare in modo efficiente informazioni georeferenziate e dati descrittivi (Johnston, 1998; FAO, 1999) (Figura 2).

FIGURA 2
Componenti di un sistema informativo geografico



Fonte: Adattato da Dempsey, C. 2011. Che cos'è il GIS? In: *GIS lounge.* Santa Clara, USA, GIS lounge. [Consultato il 16 gennaio 2024]. https://gislounge.com/what-is-gis

Questo sistema mira a strutturare i dati e consente un'ampia gamma di analisi, comprese quelle sui dati spaziali, sui dati statistici e sui modelli e le tendenze associati. I risultati delle analisi possono essere informazioni derivate, interpolate o classificate per priorità (Dempsey, 2011).

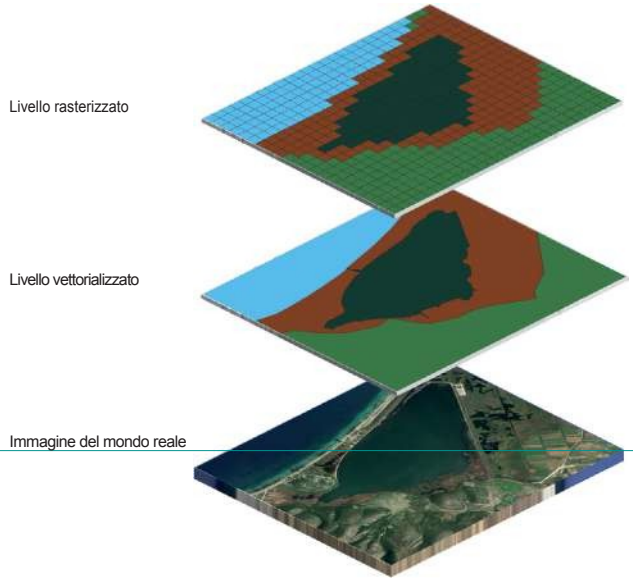
1.2 Dati vettoriali e raster

I dati dei sistemi informativi geografici possono essere suddivisi in due categorie: i dati con riferimento spaziale, rappresentati in forma vettoriale e raster, comprese le immagini (Figura 3), e le tabelle di attributi, rappresentate in formato tabellare. La maggior parte delle applicazioni software GIS si occupa dell'uso e della manipolazione di geodatabase vettoriali, con componenti aggiuntive per lavorare con geodatabase basati su raster.

I dati vettoriali sono particolarmente adatti alla creazione di mappe lineari accurate, consentendo agli utenti di eseguire calcoli basati sulle lunghezze lineari. Nello specifico, i dati vettoriali possono essere rappresentati da punti, linee e poligoni. I punti sono definiti da un singolo insieme di coordinate, ad esempio le boe che delimitano l'area di concessione di un allevamento. Le linee iniziano e terminano in punti noti come nodi e possono includere un gran numero di vertici collegati da un segmento di linea noto come arco, ad esempio la linea di costa di un'area costiera, un fiume o un'isobata. I poligoni sono costituiti da più linee con gli stessi nodi di inizio e fine per rappresentare aree chiuse, ad esempio un'area marina protetta, una zona di pesca o l'area di concessione di un allevamento.

I dati raster sono rappresentati da una griglia uniforme in cui ogni cella possiede una coppia di coordinate in un sistema di latitudine/longitudine. I dati numerici relativi alle caratteristiche spaziali rappresentate nella griglia vengono assegnati alla cella corrispondente. Esistono tre tipi di set di dati raster: dati tematici, dati spettrali e immagini (immagini satellitari), ad esempio la temperatura della superficie dell'acqua o le misurazioni dell'altitudine.

FIGURA 3
Modelli di realtà geospaziale



1.3 Raccolta dei dati

La disponibilità di dati relativi all'area geografica oggetto di studio costituisce la base per la realizzazione di un progetto GIS, e la qualità e la quantità delle informazioni disponibili sono direttamente proporzionali alla qualità del risultato.

Esistono due opzioni principali per la raccolta dei dati: i) raccogliere dati propri; e ii) utilizzare dati che sono stati precedentemente generati e raccolti. Questi tipi di dati sono noti rispettivamente come dati primari e secondari (Tabella 1) (Meaden e Aguilar-Manjarrez, a cura di, 2013).

Prima della raccolta dei dati primari, è necessario definire linee guida e strategie di campionamento e pianificare accuratamente le modalità di georeferenziazione dei dati (ovvero la definizione del sistema di coordinate). Durante il processo di raccolta dei dati è possibile ricorrere a una serie di metodi, tra cui quelli che non richiedono attrezzature e quelli che prevedono l'uso di apparecchiature specifiche, quali dispositivi elettronici portatili o un sistema di posizionamento globale (GPS). Una volta raccolti, i dati vengono convertiti in formati digitali per l'archiviazione e l'utilizzo nel GIS.

I dati secondari possono essere raccolti utilizzando diversi metodi e formati, tra cui cartografie cartacee e dati tabulari, nonché dati digitali. Tuttavia, i dati secondari vengono generalmente raccolti tramite agenzie cartografiche o idrografiche nazionali, oppure attraverso l'amministrazione nazionale e i ministeri competenti in materia di agricoltura e ambiente. I dati relativi alle attività ambientali, oceanografiche e umane, tra gli altri, possono essere raccolti online da portali ad accesso libero e da documenti tecnici pubblicati. Inoltre, i dati ambientali possono essere ricavati dalle osservazioni satellitari e attraverso programmi nazionali e internazionali esistenti.

TABELLA 1

Metodi e fonti di raccolta dei dati primari e secondari

Dati primari		**Dati secondari**
Raccolti senza apparecchiature	Raccolti con attrezzature	Formato cartaceo e digitale
- Mappatura diretta - Interviste faccia a faccia - Questionari online, prestampati o faccia a faccia	- Dispositivi elettronici portatili per la misurazione di parametri ambientali e oceanografici, quali la temperatura o il pH - Fotocamere digitali e droni per la registrazione di scene o oggetti localizzati e l'analisi dei tassi di variazione - Sistema di posizionamento globale (GPS) per georeferenziare con precisione e per acquisire dettagli in un oggetto tematico associato ad attributi	- Cartografie esistenti e dati tabulari che devono essere digitalizzati e georeferenziati - Dati su piccola scala altamente generalizzati e dati su larga scala altamente specializzati in qualsiasi formato digitale disponibile su Internet*

Nota:

* Alcune organizzazioni consentono l'accesso gratuito ai servizi di mappatura e forniscono una vasta gamma di dati di alta qualità per la visualizzazione e l'analisi tramite sistemi informativi geografici (SIG), ad esempio Google Earth, la Rete europea di osservazione e dati marini (EMODnet), il Servizio marino Copernicus, l'Agenzia spaziale europea (ESA) e l'Amministrazione nazionale dell'aeronautica e dello spazio (NASA).

Indipendentemente dalla loro fonte, tutti i dati devono essere:

- temporali (relativi a uno stato in un determinato momento);
- tematici (relativi a un tema o a un attributo);
- quantitativi (relativi a un numero di oggetti o eventi);
- spaziali (georeferenziati o relativi a una posizione); e
- tenere conto della scala e della risoluzione del progetto GIS.

1.4 Scala e risoluzione

Sebbene i dati di per sé possano non avere proprietà di scala o risoluzione, queste sono caratteristiche essenziali da considerare quando i dati vengono integrati in un progetto GIS. Quando i dati vengono mappati, la mappa stessa deve essere riprodotta a una scala che tenga conto dell'area di studio e dei suoi confini. La scala della mappa è il rapporto o la proporzione tra una distanza sulla mappa e la distanza corrispondente nel mondo reale. Generalmente, la scala è rappresentata da una barra.

La risoluzione si riferisce al grado di dettaglio con cui i dati sono rappresentati a una determinata scala. In altre parole, la risoluzione implica una valutazione di ciò che può essere rappresentato su una mappa in relazione all'area oggetto di mappatura (Meaden e Aguilar-Manjarrez, a cura di, 2013). Il volume dei dati da raccogliere è direttamente proporzionale alla risoluzione stabilita nello studio.

1.5 Sistemi di riferimento coordinato

I dati georeferenziati vengono generalmente registrati in due diversi sistemi di coordinate utilizzati per assegnare una posizione geografica agli oggetti: il sistema di coordinate globale di latitudine e longitudine, misurato in gradi, minuti e secondi o in gradi decimali; e il sistema di coordinate planare o cartesiano, derivato dal sistema globale.

Quando i dati vengono georeferenziati all'interno del sistema di coordinate globale, le informazioni risentono del fatto che le linee di longitudine sulle mappe convergono tutte verso i poli Nord e Sud e, di conseguenza, le distanze tra le linee di longitudine variano in base alla distanza dai poli (Meaden e Aguilar-Manjarrez, a cura di, 2013). Questo problema viene solitamente risolto utilizzando un sistema di coordinate proiettato che applica proiezioni geometriche sul piano cartografico (Huisman e de By, a cura di, 2009). In altre parole, la proiezione cartografica mira a trasformare le coordinate angolari in coordinate planari. Poiché è impossibile appiattire perfettamente la superficie tridimensionale della Terra in una superficie bidimensionale senza causare alcune distorsioni (di forma, distanza, dimensione o direzione), la proiezione cartografica può essere generalmente classificata in base alle proprietà che vengono preservate nel processo di trasformazione (Kessler *et al.*, 2017). Le proiezioni più comunemente utilizzate sono quelle cilindriche, coniche e azimutali (Figura 4).

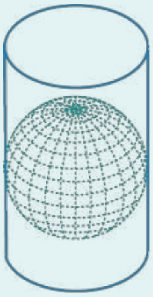
La proiezione Mercator trasversale universale (UTM) è una delle proiezioni più diffuse. Questo sistema di coordinate cartesiane si basa su un cilindro trasversale. Copre l'area mappata con una griglia e utilizza due assi per descrivere la posizione geografica e la forma degli elementi: l'asse orizzontale (noto anche come asse x) rappresenta l'orientamento est-ovest e l'asse verticale (noto anche come asse y) rappresenta l'orientamento nord-sud. La proiezione Mercator trasversale universale (UTM) è utile per la mappatura di aree di piccole dimensioni, ma comporta distorsioni che aumentano con le dimensioni dell'area mappata: ad esempio, su scala globale, la proiezione esagera le distanze nelle aree situate in prossimità dei poli (Dozier, 1980; Snyder, 1987).

Indipendentemente dalla proiezione cartografica o dal sistema di georeferenziazione utilizzato, è importante mantenere la coerenza e utilizzare lo stesso sistema per tutte le informazioni geografiche all'interno di un progetto.

1.6 Dati satellitari

Lo sviluppo di analisi adeguate per il processo decisionale e la selezione dei siti richiede dati ambientali con un'adeguata risoluzione spazio-temporale. Tuttavia, in molti casi, in particolare nei paesi in cui non sono stati attuati programmi di monitoraggio regolari, vi è una carenza di dati sul campo, il che può rappresentare un limite fondamentale per il processo AZA. La crescente disponibilità di dati di osservazione della Terra ha contribuito ad alleviare questo problema, aprendo nuove prospettive per la valutazione dell'idoneità all'acquacoltura, la gestione degli allevamenti e gli studi sugli ecosistemi (Saitoh *et al.*, 2011; Gernez *et al.*, 2014; Gernez, Doxaran e Barillé, 2017). Le tecnologie di telerilevamento satellitare rappresentano una fonte utile di dati gratuiti per la selezione dei siti acquacolturali ad alta risoluzione temporale e spaziale, una caratteristica essenziale per l'identificazione delle AZA (Brigolin *et al.*, 2015, 2017; Porporato, Pastres e Brigolin, 2020).

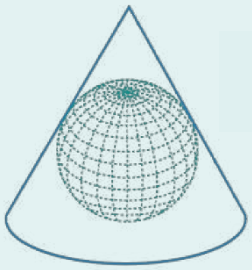
FIGURA 4
Esempi di classi di proiezione cartografica



Cilindrica

Proiezione di Mercatore: questa proiezione cartografica cilindrica conserva gli angoli e le forme, rendendola utile per la navigazione; tuttavia, distorce le dimensioni, in particolare alle alte latitudini.

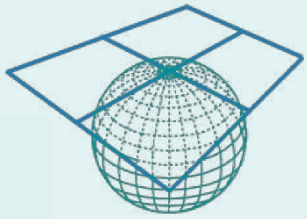
Proiezione di Mercatore trasversale: Questa proiezione è simile alla proiezione di Mercatore, ma il cilindro è orientato da est a ovest anziché da nord a sud. È comunemente utilizzata per mappare strette strisce di terra orientate da nord a sud, come le zone UTM (Universal Transversal Mercator).



Conica

Proiezione conica conforme di Lambert: questa proiezione preserva la direzione, la forma e l'angolo, ma non l'area e la distanza. Viene spesso utilizzata per la mappatura di vaste aree con orientamento est-ovest.

Proiezione di Albers: Questa proiezione conica equiareale utilizza due paralleli standard per ridurre le distorsioni e preserva le aree, rendendola adatta alla cartografia tematica in cui è importante una rappresentazione accurata dell'area.



Proiezione azimutale

Proiezione azimutale equidistante: Questa proiezione preserva le distanze e le direzioni dal punto centrale verso tutti gli altri punti sulla mappa. È comunemente utilizzata per la mappatura delle rotte aeree, dell'attività sismica e delle regioni polari.

Proiezione gnomonica: questa proiezione rappresenta i grandi cerchi come linee rette, rendendola adatta alle carte di navigazione su larga scala.

Fonti:

Ridisegnato da Huisman, O. & de By, R.A., a cura di. 2009. *Principles of geographic information systems: an introductory textbook*. Enschede, Paesi Bassi, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.

Kessler, F.C., Battersby, S.E., Finn, M.P. & Clarke, K.C. 2017. Map Projections and the Internet. In: M. Lapaine & E.L. Usery, a cura di. *Choosing a Map Projection*, pp. 117–148. Berlino, Springer Science and Business Media.

Snyder, J.P. 1987. Proiezioni cartografiche: *un manuale pratico*. Documento tecnico n. 1395 dell'U.S. Geological Survey. Washington, DC, Ufficio di stampa del governo degli Stati Uniti.

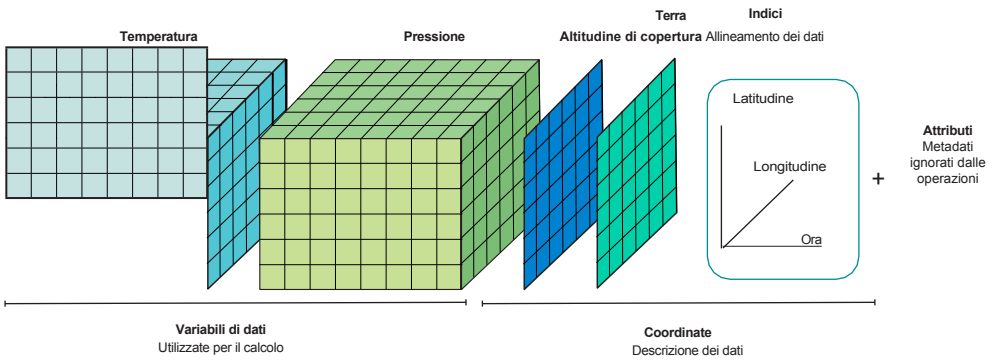
Uno dei principali fornitori di prodotti derivati dai satelliti è Copernicus, un programma europeo istituito per potenziare le capacità di osservazione e monitoraggio della Terra (Copernicus, 2024). Copernicus comprende tre componenti: spazio, *in situ* e servizi, con sei diverse aree tematiche. Il Copernicus Marine Service è il più utile per l'identificazione delle AZA, poiché fornisce dati satellitari e prodotti informativi pronti all'uso che possono essere visualizzati e scaricati dagli utenti. Questi dati sono disponibili sul portale del Copernicus Marine Service e sono caratterizzati da una buona risoluzione spaziale e temporale e da un'elevata frequenza di rilevamento.

Il portale dei dati del Servizio marino di Copernicus fornisce variabili ambientali consolidate che sono significative per il processo di selezione dei siti, tra cui la temperatura della superficie del mare, la concentrazione di clorofilla a, l'altezza delle onde e la velocità delle correnti. Gli utenti possono consultare oltre 277 prodotti nel catalogo del Servizio marino di Copernicus, classificati per intervallo temporale, parametri, area regionale, risoluzione temporale e prodotti con livello di profondità (Servizio marino di Copernicus, 2024). Gli utenti possono quindi visualizzare i dati e scaricarli direttamente dal portale o tramite un server FTP (File Transfer Protocol).

In generale, le immagini satellitari sono soggette a diversi livelli di elaborazione, da 0 a 4. Il livello 0 si riferisce a dati grezzi, provenienti direttamente dai sensori satellitari senza alcuna elaborazione. Il livello 1 indica dati che comportano la calibrazione e la correzione radiometrica per convertire le letture grezze dei sensori in misurazioni fisicamente significative. Il livello 2 indica dati che sono stati sottoposti a calibrazione, georeferenziazione e derivazione di parametri geofisici. Il livello 3 indica variabili mappate su una griglia spazio-temporale, calibrate, unite e convalidate, ma che presentano lacune dovute alla presenza di nuvole che interferiscono con l'acquisizione dei dati satellitari. Il livello 4 descrive variabili che presentano tutte le caratteristiche del livello 3, ma che sono anche prive di nuvole e mappate in modo continuo nel tempo e nello spazio. I prodotti del Servizio marino di Copernicus vengono in genere elaborati al livello 3 o al livello 4, sebbene sul portale siano disponibili anche dati di livello 2, o in situ, provenienti da diverse fonti.

I dati satellitari vengono scaricati nel formato NetCDF (Network Common Data Format), un formato utilizzato dalla comunità scientifica per archiviare dati ambientali scientifici multidimensionali. I file salvati in formato NetCDF includono vari tipi di dati, quali array numerici, serie temporali e metadati che descrivono le variabili, gli attributi, le dimensioni, le unità e altre informazioni per aiutare gli utenti a comprendere e interpretare i dati. Un file NetCDF può essere considerato un array multidimensionale, costituito da diverse variabili, con una componente spaziale e una temporale (Figura 5).

FIGURA 5
Esempio di formato di file NetCDF



Fonte: Adattato da Rocklin, M. 2018. HDF nel cloud: sfide e soluzioni per i dati scientifici. In: *Matthew Rocklin.* Austin, USA. [Consultato il 14 novembre 2023]. https://matthewrocklin.com/blog/work/2018/02/06/hdf-in-the-cloud

Un file NetCDF può essere aperto e gestito utilizzando diversi software a seconda dell'attività specifica da svolgere. Tra questi figurano i GIS, che consentono all'utente di visualizzare i dati ed eseguire operazioni semplici, e R, un ambiente software libero che può essere utilizzato per elaborare, analizzare e visualizzare il file (R core team, 2022). L'utente deve tenere conto dell'unità di misura in cui è espressa la variabile ambientale e, se necessario, effettuare la conversione appropriata.

2. L’utilizzo dei sistemi informativi geografici per la pianificazione territoriale dell’acquacoltura

I sistemi informativi geografici sono utili sia per le amministrazioni che per gli attori del settore privato, in quanto forniscono un solido quadro di riferimento per la pianificazione territoriale e possono facilitare la comunicazione dei risultati.

Rappresentano uno strumento eccellente per organizzare i dati ed eseguire analisi spaziali multicriterio, e i responsabili delle decisioni li hanno utilizzati per ottimizzare l’ubicazione dei siti di acquacoltura marina durante la zonizzazione dell’acquacoltura e l’istituzione delle AZA.

Per il settore privato, i GIS sono utili nella ricerca di un sito idoneo per l’allevamento che eviti interferenze con altri utenti. A seconda del paese, in passato le autorizzazioni per i progetti di acquacoltura potevano essere rilasciate senza uno specifico studio territoriale. Di conseguenza, molti impianti hanno incontrato difficoltà legate all’occupazione dello spazio, a incompatibilità ambientali e, occasionalmente, a problemi di produzione.

In generale, la pianificazione territoriale è fondamentale per lo sviluppo sostenibile delle attività di acquacoltura, in modo che siano compatibili con l’ambiente e con le altre attività esistenti.

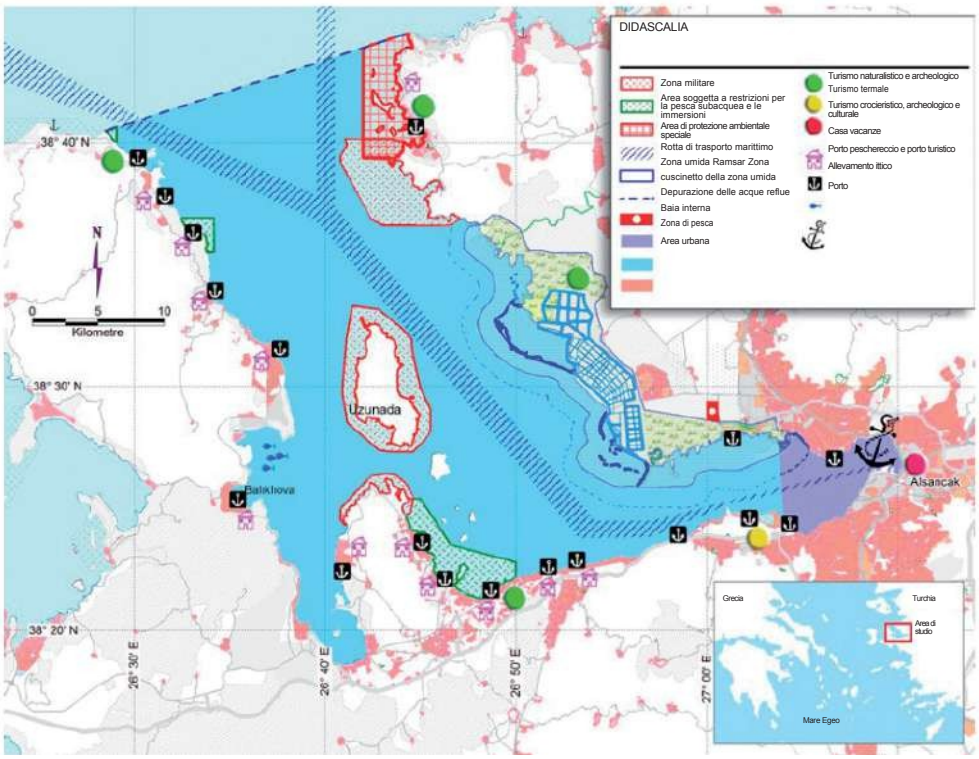
2.1 Zonizzazione dell’acquacoltura e selezione dei siti

La zonizzazione dell’acquacoltura consiste nel riunire tutti i parametri e i relativi criteri concordati al fine di rappresentare spazialmente le attività acquicole esistenti e gli altri usi costieri (Aguilar-Manjarrez, Soto e Brummett, 2017). Questo processo mira a identificare le compatibilità tra gli utenti e gli usi con le attività acquicole. Durante la zonizzazione, i principali fattori che determinano l’idoneità di un’area all’acquacoltura sono quelli relativi all’amministrazione, alla batimetria e alla qualità dell’acqua. A questo livello, l’uso dei sistemi informativi geografici (GIS) consente di mappare tutti gli usi e le attività costiere (Figura 6) e di analizzare tutte le misure rilevanti (ad esempio la distanza tra gli allevamenti, i porti di base e le aree turistiche e sensibili) (Figura 7).

Nel contempo, il processo di selezione del sito individua uno spazio in cui realizzare un progetto di acquacoltura, tenendo conto dei fattori fisici legati all’ambiente, alle specie allevate e al sistema di allevamento. Le fasi chiave di questo processo sono: la valutazione dell’idoneità all’acquacoltura, la stima della capacità di carico, la pianificazione della biosicurezza e il controllo delle malattie (Aguilar-Manjarrez, Soto e Brummett, 2017).

FIGURA 6

Mappatura effettuata nell'ambito del processo di definizione di una zona destinata all'acquacoltura nella baia di Izmir, in Turchia



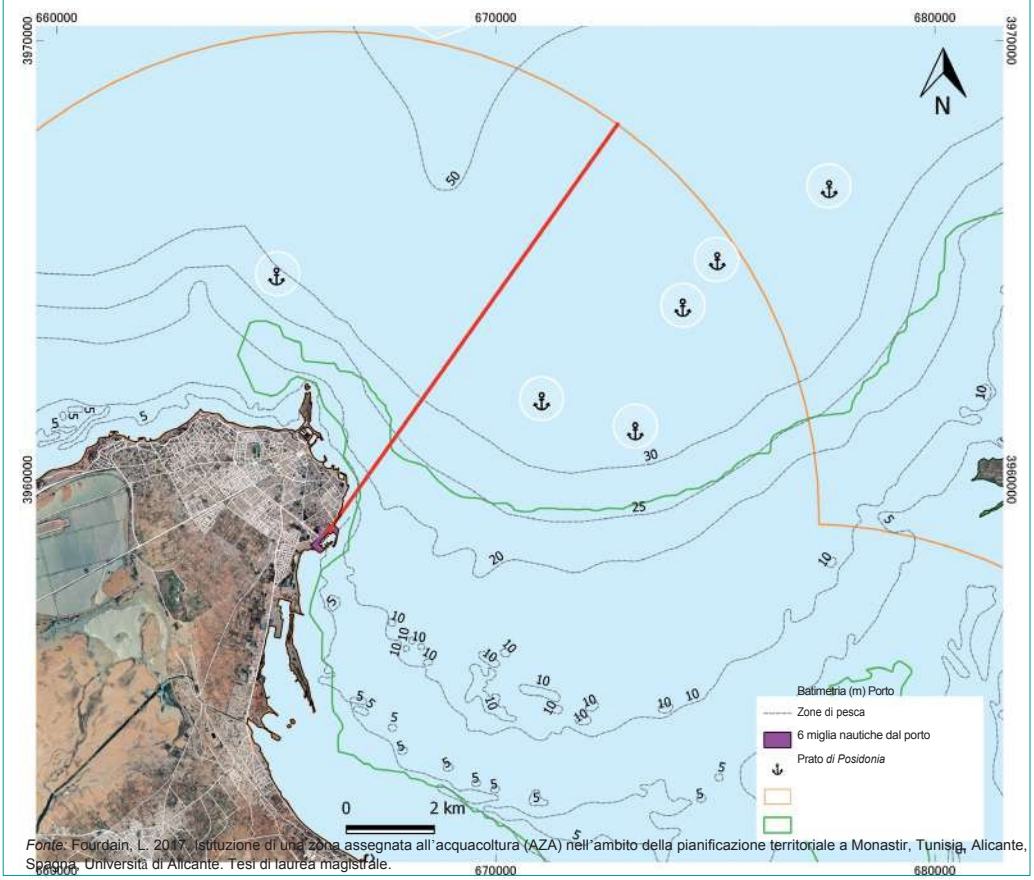
Fonte: Adattato da Yücel-Gier, G., Arisoy, Y. & Pazi, I. 2010. Analisi spaziale della piscicoltura nel contesto della gestione integrata delle zone costiere (ICZM) nella baia di Izmir, in Turchia. *Coastal Management,* 38: 399–411.

2.2 Istituzione e gestione delle zone destinate all'acquacoltura

L'istituzione di una zona destinata all'acquacoltura (AZA) comporta la suddivisione in zone, la selezione del sito e l'attuazione di un piano di gestione e di un piano di gestione ambientale (EMP). La delimitazione della zona dovrebbe essere considerata nel contesto di un approccio ecosistemico all'acquacoltura, promuovendo così lo sviluppo sostenibile, l'equità e la resilienza dei sistemi sociali ed ecologici interconnessi. Complessivamente, vi sono sette fasi di istituzione dell'AZA che possono essere riassunte come segue (Macias *et al.*, 2019; Figura 8).

- **Fase uno: contestualizzazione del processo di istituzione.** Gli obiettivi di sviluppo dell'acquacoltura per una regione o un paese si riferiscono agli obiettivi specifici, ai traguardi e alle strategie stabiliti dalle autorità governative, dalle organizzazioni e dalle parti interessate per promuovere e gestire la crescita sostenibile e il progresso dell'acquacoltura all'interno di quell'area geografica. Tali obiettivi sono concepiti per guidare la pianificazione, l'istituzione e il monitoraggio delle attività di acquacoltura, assicurando che siano in linea con le più ampie priorità economiche, sociali e ambientali.
- **Fase due: raccolta e analisi dei dati.** La raccolta dei dati è una fase cruciale. Infatti, la raccolta di dati accurati e pertinenti costituisce la base per un processo decisionale informato e per un'attuazione efficace. La metodologia applicata per la raccolta dei dati spazia dalle indagini sul campo, alle interviste, ai questionari e alle osservazioni, fino al telerilevamento, all'analisi GIS e al data mining. La scelta del metodo dipende dalla natura dei dati, dai requisiti spaziali e temporali e dalla disponibilità delle risorse.

FIGURA 7
Esempio di limitazione della zonizzazione per l'acquacoltura dovuta alla distanza dal porto locale nella baia di Monastir, in Tunisia



Fonte: Fourdain, L. 2017. Istituzione di una zona assegnata all'acquacoltura (AZA) nell'ambito della pianificazione territoriale a Monastir, Tunisia, Alicante, Spagna. Università di Alicante. Tesi di laurea magistrale.

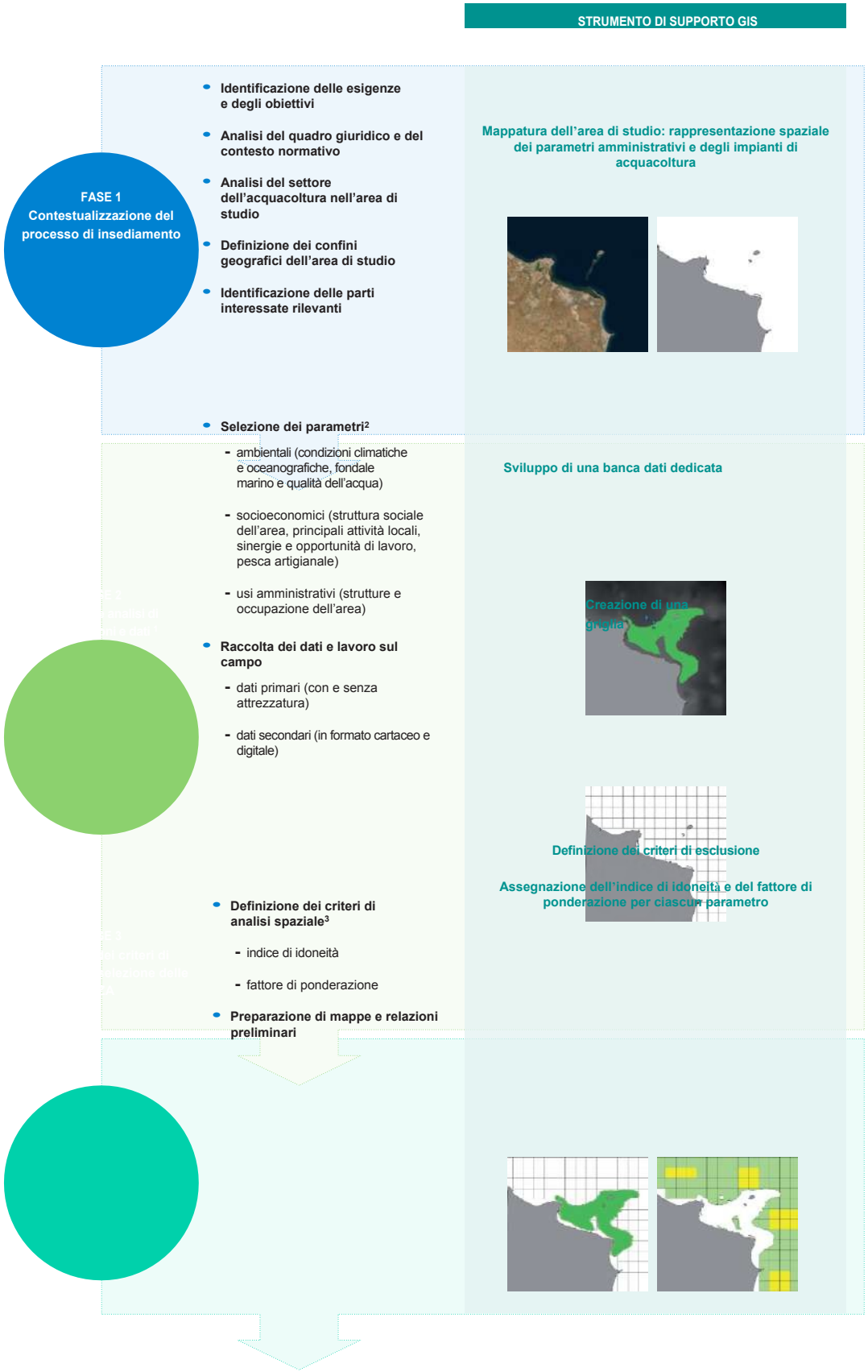
- **Fase tre: selezione dei criteri di idoneità e preselezione delle AZA.** La selezione dei criteri di idoneità comporta un'attenta valutazione dei fattori rilevanti per lo sviluppo dell'acquacoltura in un'area specifica. Tali criteri vengono utilizzati per valutare e classificare i potenziali siti in base alla loro idoneità per la specifica attività di acquacoltura. A ciascun criterio viene assegnato un peso in base alla sua importanza relativa, a seconda delle caratteristiche dell'area e delle specie da allevare. Il processo di ponderazione dovrebbe coinvolgere diversi esperti e parti interessate.
- **Fase quattro: consultazione e convalida delle aree preselezionate.** La consultazione e la convalida delle aree acquicole preselezionate comportano il coinvolgimento delle parti interessate e delle autorità competenti per raccogliere contributi, feedback e confermare la validità dei siti proposti per le attività di acquacoltura. Questo processo contribuisce a garantire che le aree scelte siano idonee, socialmente accettabili e rispettose dell'ambiente.
- **Fase cinque: analisi delle potenzialità acquicole.** I criteri geospaziali possono essere utilizzati per stimare un grado di compatibilità (DC) o un indice di idoneità (SI), al fine di valutare l'adeguatezza per le attività di acquacoltura ed evidenziare l'area più idonea da dichiarare come AZA attraverso un processo iterativo. L'affidabilità dei risultati della modellizzazione dipende dalla qualità dei dati, dall'adeguatezza dei criteri scelti e dal coinvolgimento delle parti interessate. Inoltre, combinare i risultati quantitativi del modello con le conoscenze e le competenze locali può portare a un processo decisionale più efficace nella selezione dei siti per l'acquacoltura.

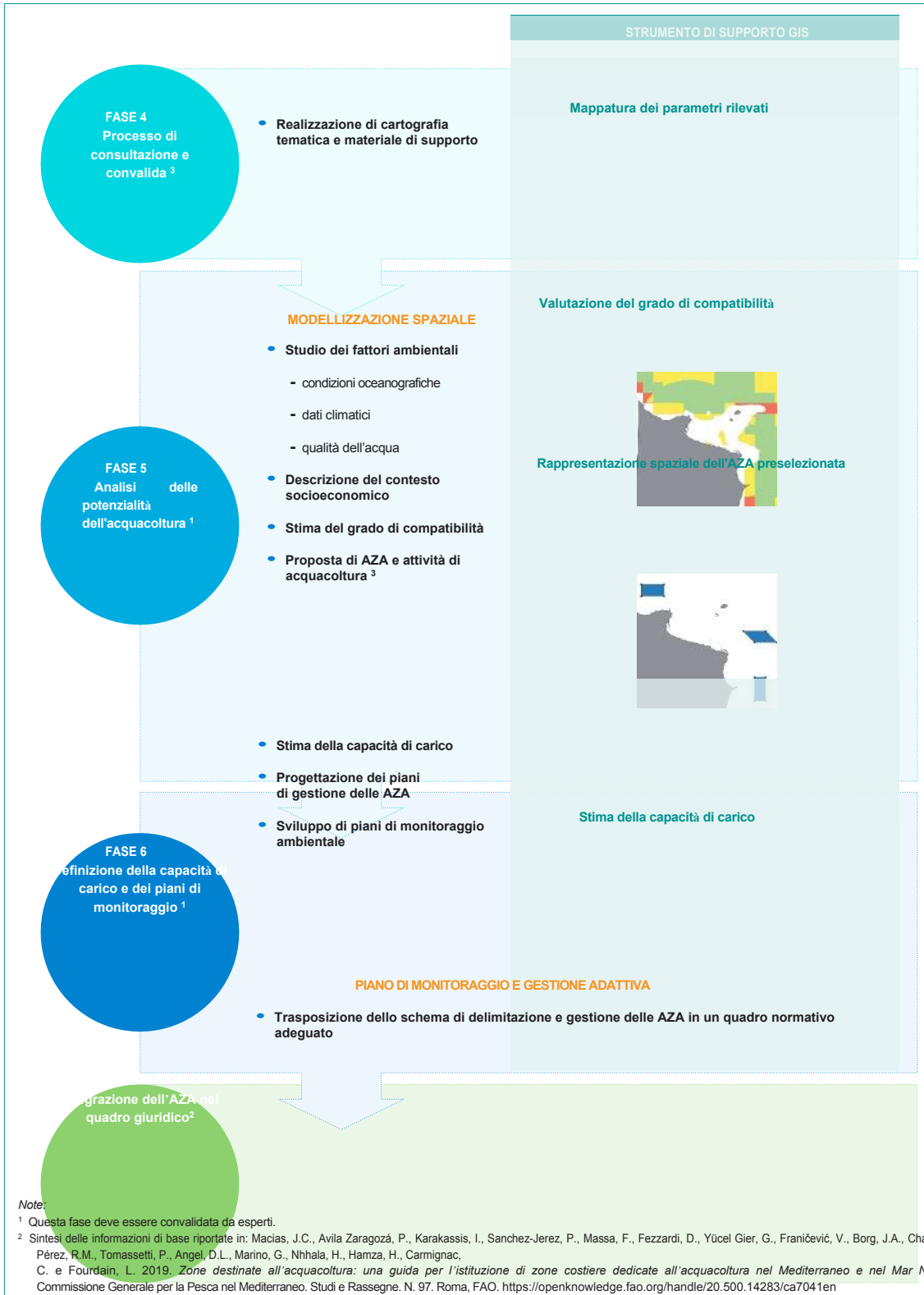
- **Fase sei: definizione della capacità di carico e del piano di monitoraggio ambientale.** Per garantire la sostenibilità a lungo termine delle attività di acquacoltura, occorre tenere conto della capacità di carico (ovvero il livello massimo di produzione sostenibile). Infatti, è necessario stimare il livello ottimizzato di produzione, in termini di densità di allevamento ideale, per l'acquacoltura di pesci e molluschi, al fine di evitare problemi a livello di ecosistema e di allevamento (Karakassis *et al.*, 2013; Filgueira *et al.*, 2015). Inoltre, lo sviluppo di un piano di monitoraggio ambientale (EMP) per le aree di acquacoltura è fondamentale per garantire la sostenibilità delle operazioni e ridurre al minimo i potenziali impatti ambientali. Per ciascuna AZA dovrebbe essere definito un EMP specifico in base alle caratteristiche ambientali, quali la profondità e la velocità della corrente, identificando i diversi parametri da valutare. Questi potrebbero includere la qualità dell'acqua (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH), la qualità dei sedimenti, i livelli di nutrienti, nonché gli episodi di malattia e mortalità.
- **Fase sette: integrazione delle AZA nel quadro giuridico e definizione dei piani di monitoraggio delle AZA e della gestione adattativa.** Una volta identificata l'AZA, l'autorità competente (ovvero l'agenzia o l'ente regolatore responsabile della supervisione e della gestione delle attività di acquacoltura all'interno di una specifica giurisdizione) dichiara, designa e regolamenta le aree di acquacoltura. Il monitoraggio dei piani relativi alle AZA e l'attuazione di pratiche di gestione adattativa sono componenti essenziali per garantire lo sviluppo sostenibile delle attività di acquacoltura e il raggiungimento degli obiettivi stabiliti, riducendo al minimo gli impatti negativi a livello ambientale, sociale ed economico. In questo contesto, è importante identificare i parametri chiave da monitorare, sia ambientali che sociali ed economici, e sviluppare protocolli dettagliati per la raccolta dei dati.

Durante l'intero processo di istituzione delle AZA, le parti interessate, tra cui le comunità locali, i pescatori e le organizzazioni non governative, dovrebbero essere coinvolte affinché le loro conoscenze e preoccupazioni possano essere integrate. Il processo relativo alle AZA è spesso iterativo: i criteri dovrebbero essere perfezionati e adeguati, insieme alle rispettive ponderazioni, e i dati dovrebbero essere rivisti sulla base di nuove evidenze. Un esempio di tabella di marcia e piano di lavoro per questo processo è illustrato nell'Allegato 1.

La gestione del processo di istituzione delle AZA, così come dell'acquacoltura nel suo complesso, è di competenza delle amministrazioni locali o nazionali competenti. La funzione centrale nell'ambito della gestione dell'acquacoltura – essenziale per la fase cinque del processo di istituzione delle AZA – è l'elaborazione e l'approvazione di nuove licenze di acquacoltura. Ciò comporta una serie di passaggi e analisi per i quali il GIS rappresenta uno strumento utile. In particolare, il GIS può essere utilizzato per elaborare grandi quantità di informazioni spaziali che vengono poi analizzate per determinare la disponibilità di siti idonei e i fattori che possono influenzarne lo sviluppo (Figura 9). L'applicabilità delle mappe risultanti dipende direttamente dalla disponibilità e dall'affidabilità delle informazioni e dei dati raccolti durante l'intero processo.

FIGURA 8
Panoramica della zona assegnata per il processo di insediamento dell'acquacoltura e dei relativi strumenti del sistema informativo geografico





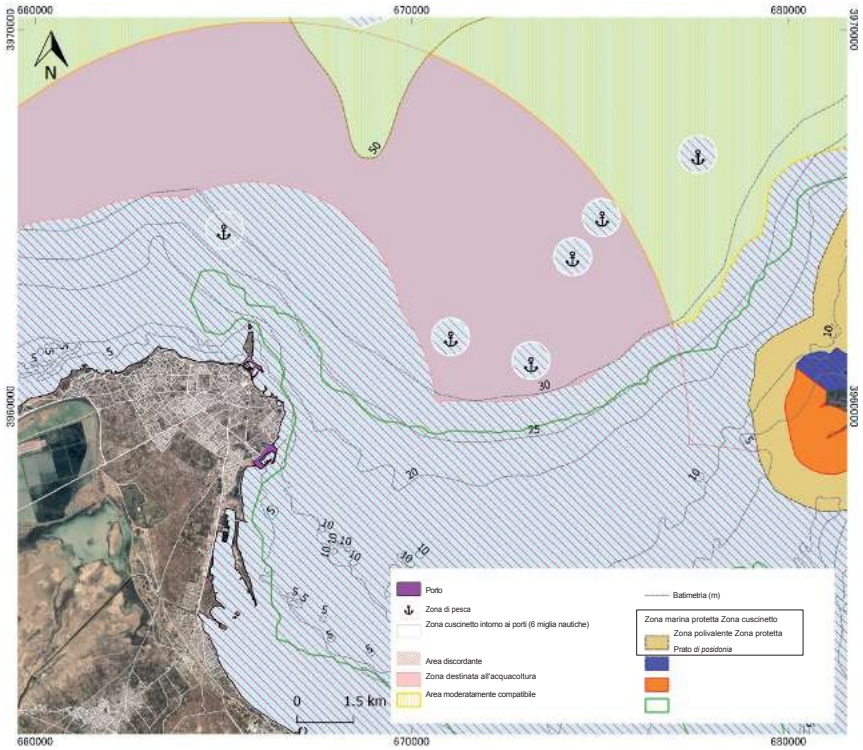
Note:

[1] Questa fase deve essere convalidata da esperti.

[2] Sintesi delle informazioni di base riportate in: Macias, J.C., Avila Zaragozá, P., Karakassis, I., Sanchez-Jerez, P., Massa, F., Fezzardi, D., Yücel Gier, G., Franičević, V., Borg, J.A., Chapela Pérez, R.M., Tomassetti, P., Angel, D.L., Marino, G., Nhhala, H., Hamza, H., Carmignac, C. e Fourdain, L. 2019. *Zone destinate all'acquacoltura: una guida per l'istituzione di zone costiere dedicate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero.* Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo. Studi e Rassegne. N. 97. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca7041en

[3] Questa fase deve svolgersi in coordinamento con esperti e parti interessate.

FIGURA 9
Esempio di aree idonee all'acquacoltura individuate attraverso il processo di definizione delle zone destinate all'acquacoltura nella baia di Monastir, in Tunisia

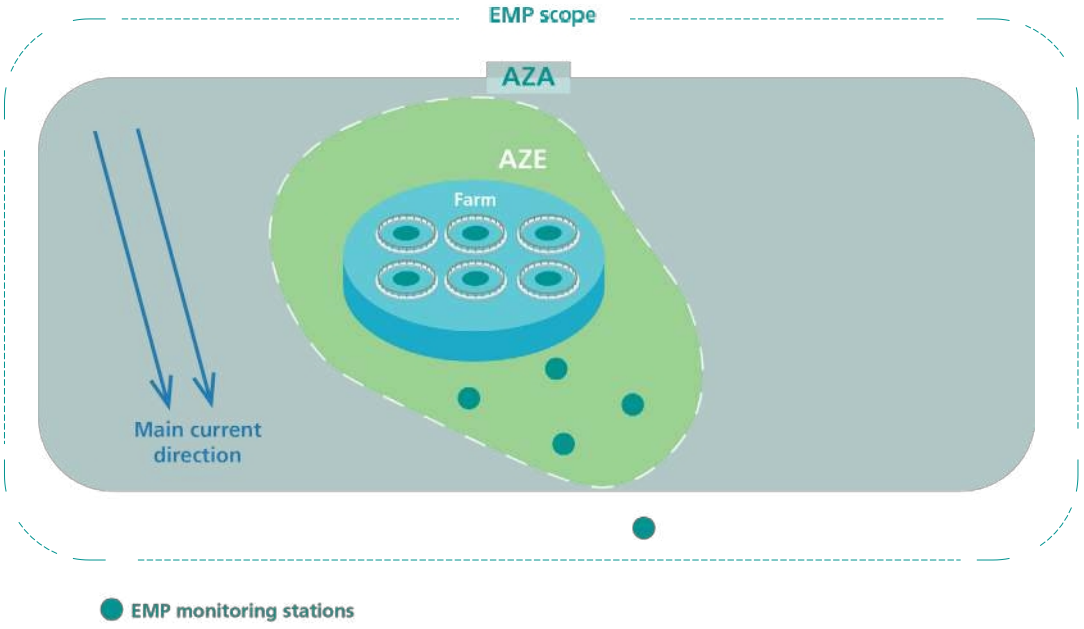


Fonte: Fourdain, L., Hamza, H., Bourdenet, D. & Massa F. 2019. *Sviluppo delle capacità relative alle zone destinate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero. FAO Aquaculture News, n. 60, agosto 2019.* Roma. https:// openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca5223en

Una volta completato il processo di istituzione delle AZA e quando l'allevamento ittico è operativo, il GIS può anche assistere le amministrazioni competenti nel monitoraggio ambientale dell'impianto di acquacoltura, al fine di garantire che sia correttamente integrato nell'ambiente, per evitare impatti e promuovere la crescita sostenibile dell'attività.

Per questo monitoraggio viene elaborato e approvato un Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA). Esso prevede una serie di stazioni di campionamento intorno e al di sotto dell'allevamento, dalle quali vengono prelevati periodicamente dei campioni, consentendo l'analisi dell'evoluzione di parametri selezionati su scala spazio-temporale (Figura 10). Il piano di campionamento dovrebbe basarsi su transetti situati all'interno della zona di effetto consentita, mentre le stazioni di controllo dovrebbero trovarsi al di fuori della zona di effetto assegnata. Una volta raccolte le informazioni, queste vengono organizzate in una tabella e rappresentate spazialmente tramite il GIS, il che consente una migliore interpretazione dei risultati.

FIGURA 10
Esempio di disposizione delle stazioni di campionamento di un allevamento ittico



Nota: Zona assegnata all'acquacoltura (AZA), programma di monitoraggio ambientale (EMP) e zona di effetto ammissibile (AZE).

Fonte: Adattato da FAO. 2019. *Toolkit sulle zone assegnate all'acquacoltura: benefici, attuazione e gestione.* Roma. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca5736en

3. Metodologie per la pianificazione territoriale dell'acquacoltura

I sistemi informativi geografici (GIS) sono potenti strumenti di supporto alla pianificazione territoriale e offrono le necessarie funzioni di sovrapposizione e di zona cuscinetto da utilizzare negli studi di zonizzazione e di selezione dei siti. È possibile sovrapporre numerosi livelli di dati e integrare diversi tipi di dati per una selezione dei siti coerente e basata su criteri multipli. A seconda delle esigenze dell'utente, la pianificazione territoriale può essere effettuata sia offline con un GIS desktop, sia online utilizzando una soluzione GIS web.

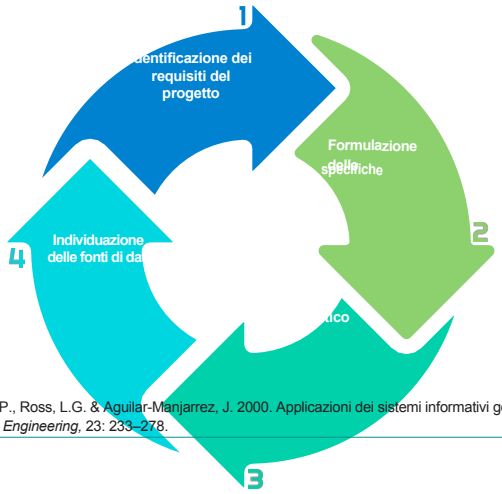
Sono stati sviluppati diversi quadri metodologici per pianificare le attività umane utilizzando i GIS. Una di queste metodologie, definita da Nath *et al.* (2000), si articola in sette fasi:

- Fase uno: identificazione delle esigenze degli utenti e dei requisiti del progetto
- Fase due: formulazione delle specifiche relative alle esigenze identificate nella prima fase
- Fase tre: sviluppo del quadro analitico attraverso la selezione dei metodi e degli strumenti necessari per analizzare i dati in ingresso
- Fase quattro: individuazione delle fonti di dati appropriate
- Fase cinque: organizzazione e pre-elaborazione dei dati
- Fase sei: analisi multicriteriale dei dati e valutazione continua dei risultati ottenuti per garantire la qualità e l'accuratezza dell'analisi
- Fase sette: valutazione della mappa risultante in collaborazione con gli utenti costieri e le parti interessate

Potrebbe essere necessario ripetere alcune fasi all'interno del processo complessivo, in particolare tra le prime quattro (Figura 11). Tuttavia, il processo metodologico può essere semplificato e adattato in base a molteplici fattori, quali il budget, le risorse umane e la disponibilità di informazioni. Il processo complessivo coinvolge diversi attori, tra cui le parti interessate e gli utenti costieri, le amministrazioni, gli acquacoltori, nonché specialisti e analisti GIS, tra gli altri.

FIGURA 11

Le prime quattro fasi della pianificazione territoriale dell'acquacoltura mediante sistemi informativi geografici



Fonte: Adattato da Nath, S.S., Bolte, J.P., Ross, L.G. & Aguilar-Manjarrez, J. 2000. Applicazioni dei sistemi informativi geografici (GIS) a supporto delle decisioni spaziali nell'acquacoltura. *Aquacultural Engineering*, 23: 233–278.

3.1 Applicazione di modelli e strumenti di supporto

L'identificazione dei possibili confini delle AZA è supportata dall'applicazione di strumenti e modelli trasversali che trattano vari parametri a diverse scale. All'interno del GIS, tali strumenti e modelli includono: i) operatori aritmetici; ii) classificazioni;
iii) sovrapposizioni semplici; iv) sovrapposizioni ponderate; v) analisi di vicinato; vi) analisi di connettività; vii) modelli gerarchici; e viii) allocazioni del territorio a obiettivi multipli (Nath *et al.*, 2000). Ciascuno di essi richiede dati di alta qualità (affidabili, accurati, precisi, temporali e tematici) al fine di ottenere il risultato finale migliore e più specifico.

Ai fini della zonazione dell'acquacoltura e della selezione dei siti, viene generalmente impiegato un modello di valutazione spaziale multicriteriale, come la combinazione lineare ponderata (Aguilar-Manjarrez, Soto e Brummett, 2017). Questo approccio sovrappone diversi livelli di informazione, tra cui parametri socioeconomici e ambientali (ad es. caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche), dati di telerilevamento (ad es. temperatura dell'acqua) e altri utenti e usi costieri (ad es. porti, pesca, turismo), ponderandoli in base alla loro importanza nel quadro generale, come definito da esperti e parti interessate del settore dell'acquacoltura.

3.2 Stima del grado di compatibilità

La stima del DC consente di individuare le aree più idonee all'acquacoltura costiera. Ciò può essere effettuato utilizzando una combinazione lineare ponderata. Questa tecnica può essere applicata tramite un sistema GIS e si basa sull'importanza relativa dei parametri, che vengono poi ponderati (Zadeh *et al.*, 2013), riclassificati e tradotti in un output raster. A ciascun parametro viene assegnato un fattore di ponderazione (K) e a ciascun intervallo di valori viene assegnato un indice di significatività (SI). Il numero di parametri e i relativi intervalli o condizioni dipendono dalle informazioni raccolte durante la fase di raccolta dati, dal quadro normativo e regolamentare, dal contesto socioeconomico e dall'area di studio (Macias *et al.*, 2019). La formula per il calcolo del DC è la seguente (Macias *et al.*, 2005):

$$DC = 100 \times \frac{\sum_i^n K_i \times SI_i}{\sum_i^n K_i}$$

Dove:
DC = grado di compatibilità;
K = fattore di ponderazione applicato a ciascun parametro considerato;
SI = indice di idoneità applicato in base alla potenziale influenza di ciascun parametro; i = parametro; e
n = numero di parametri.

Il DC risultante può variare da –10 000 a 100 ed è classificato come illustrato nella Tabella 2.

TABELLA 2

Classificazione delle aree idonee all'acquacoltura in base al loro grado di compatibilità

Valore	DC	Valutazione finale
DC < −30	Basso	Aree non idonee
−30 ≤ DC ≤ 30	Media	Aree con particolari restrizioni
DC > 30	Elevato	Aree idonee

Nota: Grado di compatibilità (DC).

3.2.1. Selezione dei parametri, dei fattori di ponderazione e degli indici di idoneità

La selezione dei parametri costituisce la base principale per la valutazione della compatibilità e dell'idoneità di un'area. Tale selezione tiene conto delle normative pertinenti e dipende da aspetti quali il tipo di sistema di allevamento, l'area oggetto di studio, le specie allevate e le informazioni amministrative, ambientali, sociali ed economiche disponibili. Una volta determinati i parametri e i relativi intervalli, l'assegnazione del valore K e dell'indice di idoneità (SI) deve essere decisa attraverso un approccio partecipativo che coinvolga i decisori, gli operatori del settore dell'acquacoltura e gli esperti (Tabella 3).

Il valore K rappresenta l'importanza relativa dei diversi parametri rispetto allo sviluppo delle attività di acquacoltura in una determinata area. A ogni parametro considerato viene assegnato un valore K compreso tra 1 e 10, dove 1 indica una bassa importanza per lo sviluppo delle attività di acquacoltura (peso ridotto) e 10 indica un'elevata importanza per tali attività (peso elevato). Il valore K di ciascun parametro è direttamente proporzionale all'affidabilità delle informazioni e dei dati raccolti per una specifica area di studio.

L'indice SI può assumere quattro valori diversi a seconda della potenziale influenza negativa o positiva dell'intervallo del parametro considerato:

- −100 (criteri di esclusione) viene assegnato agli intervalli dei parametri considerati incompatibili, dal punto di vista logistico, amministrativo, sociale o ambientale.
- −1 (caratteristiche sconsigliabili) viene assegnato agli intervalli di valori che incidono negativamente sull'ambiente o sugli impianti di acquacoltura.
- 0 (moderato) viene assegnato agli intervalli dei parametri che risultano irrilevanti per l'ambiente o per le attività di acquacoltura.
- 1 (caratteristiche ottimali) viene assegnato agli intervalli dei parametri che presentano condizioni idonee per l'allevamento acquicolo, tenendo conto anche dell'ecosistema e delle comunità sensibili.

TABELLA 3
Esempio di parametri, intervalli, indici di idoneità e fattori di ponderazione utilizzati per l'acquacoltura dei pesci

Parametro	Livello di interesse		Fattore di ponderazione
	Intervallo e condizioni	Indice di idoneità	
Batimetria (m)	≤ 30	−100	9
	30–50	1	
	50–80	0	
	80–125	−1	
Tipo di fondale	Su praterie *di Posidonia* oceanica e altre aree sensibili	−100	6
	In prossimità di praterie *di Posidonia oceanica* (≤ 400 m)	−100	
	Fondali sabbiosi e fangosi	1	
	Substrati misti	0	
Area marina protetta	All'interno dell'area MPA	−100	7
	All'interno dell'area di influenza di un'area marina protetta vicina (≤ 1 km)	0	
	Fuori dall'area MPA	1	
Distanza dalla linea di costa (m)	0–300	−100	6
	> 300	1	

Parametro	Livello di interesse		Fattore di ponderazione
	Intervallo e condizioni	Indice di idoneità	
Zone di pesca artigianale	Zone di pesca artigianale per nuovi allevamenti	−1	5
	Zone di pesca artigianale per allevamenti esistenti	1	
	Zone di pesca esterne	1	
Distanza di scarico delle acque reflue (km)	≤ 2	−100	5
	> 2	1	
Distanza dall'area turistica (km)	< 2	−1	4
	2–4	0	
	> 4	1	
Distanza dal porto di origine (miglia nautiche)	≤ 1	−100	5
	≥ 10	0	
	1–10	1	
Distanza dalla foce del fiume (km)	≤ 1	−100	5
	> 1	1	
Distanza dal canale della laguna (km)	≤ 2	−100	5
	> 2	1	
Distanza della rotta marittima (m)	≤ 500	−100	5
	> 500	1	
Lunghezza della conduttura marina (m)	≤ 500	−100	5
	> 500	1	
Altezza delle onde (marea media) (m)	> 3	−1	4
	< 1	0	
	1–3	1	
Altezza delle onde (mareggiata estrema) (m)	> 6	−1	4
	3–6	0	
	< 3	1	
Velocità media attuale (cm/s)	≤ 5; ≥ 60	−1	8
	5–15	0	
	15–60	1	
Temperatura media superficiale (°C)	≤ 11; ≥ 30	−1	5
	11–< 18; > **26–≤** 30	0	
	18–26	1	
Ossigeno disciolto medio (% di saturazione)	< 65	−1	8
	≥ 65–< 90	0	
	90–100	1	

Nota: La selezione dei parametri e dei criteri si basa su aspetti tecnici, sul contesto socioeconomico (ad es. turismo e pesca), sulle condizioni ambientali e sui quadri normativi e giuridici nazionali pertinenti (ad es. restrizioni alle attività entro determinate distanze dalle foci dei fiumi e dalle linee di costa).

3.2.2. Valutazione della compatibilità di un'area con le attività di acquacoltura

Il processo di valutazione della compatibilità con l'acquacoltura basato sul GIS è reso possibile dall'integrazione di diversi set di dati all'interno di un unico sistema. Il numero di livelli utilizzati nel processo dipende dai parametri considerati e l'elaborazione delle informazioni georeferenziate dipende dal loro formato. Questo processo si avvale dell'uso di vari strumenti GIS, a partire dalla rappresentazione dei dati amministrativi e satellitari per la loro corretta integrazione nell'analisi spaziale multicriteriale, seguita dalla stima del DC e infine dalla delimitazione dei confini dell'AZA.

Rappresentazione dei dati amministrativi

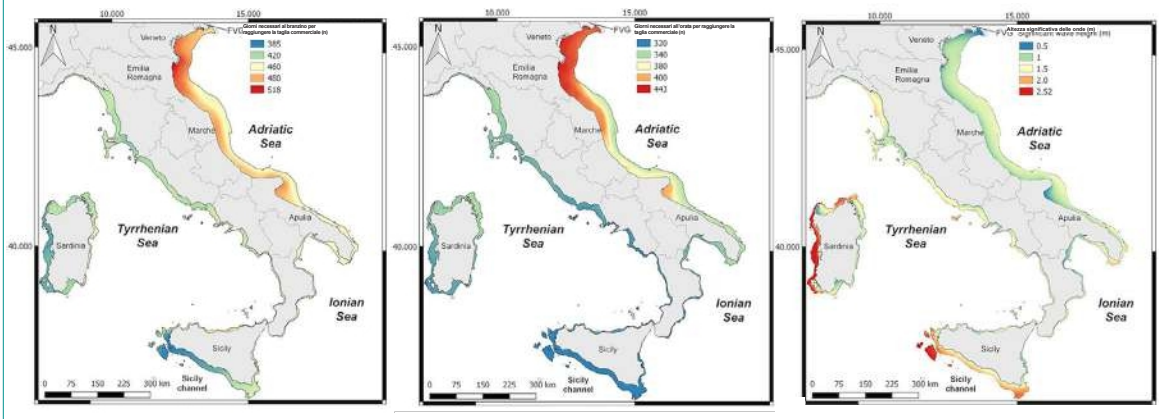
I parametri amministrativi possono essere facilmente rappresentati spazialmente con il GIS. Qualsiasi informazione georeferenziata presente nel database può essere trasposta in una cartografia e può essere presa in considerazione durante la definizione dell'AZA.

Rappresentazione dei dati satellitari

I dati satellitari svolgono un ruolo cruciale nella pianificazione spaziale delle attività di acquacoltura, fornendo informazioni preziose sulle condizioni ambientali, sulla qualità dell'acqua e su altri fattori che influenzano l'idoneità e la sostenibilità dei siti di acquacoltura. Questi dati possono essere utilizzati per identificare ubicazioni idonee per gli impianti di acquacoltura; ad esempio, una determinata specie di pesce o mollusco può prosperare in particolari intervalli di temperatura, e i dati sulla temperatura della superficie del mare derivati dai satelliti possono aiutare a identificare le aree con condizioni ottimali.

I dati satellitari salvati come file NetCDF possono essere aperti ed elaborati utilizzando diversi software quali QGIS, ArcGIS e R. Questi tipi di software consentono agli utenti di estrarre dati e calcolare indicatori in grado di supportare i responsabili delle decisioni nell'assegnazione di nuove zone per l'acquacoltura, in particolare in aree con scarsa disponibilità di dati, e possono essere utilizzati come dati di input per modelli dinamici che simulano la crescita e la produttività potenziale degli organismi allevati. Gli indicatori derivati dai dati satellitari possono essere utilizzati come criteri in un'analisi spaziale multicriteriale (Figura 12).

FIGURA 12
Esempi di indicatori stimati utilizzando i dati satellitari



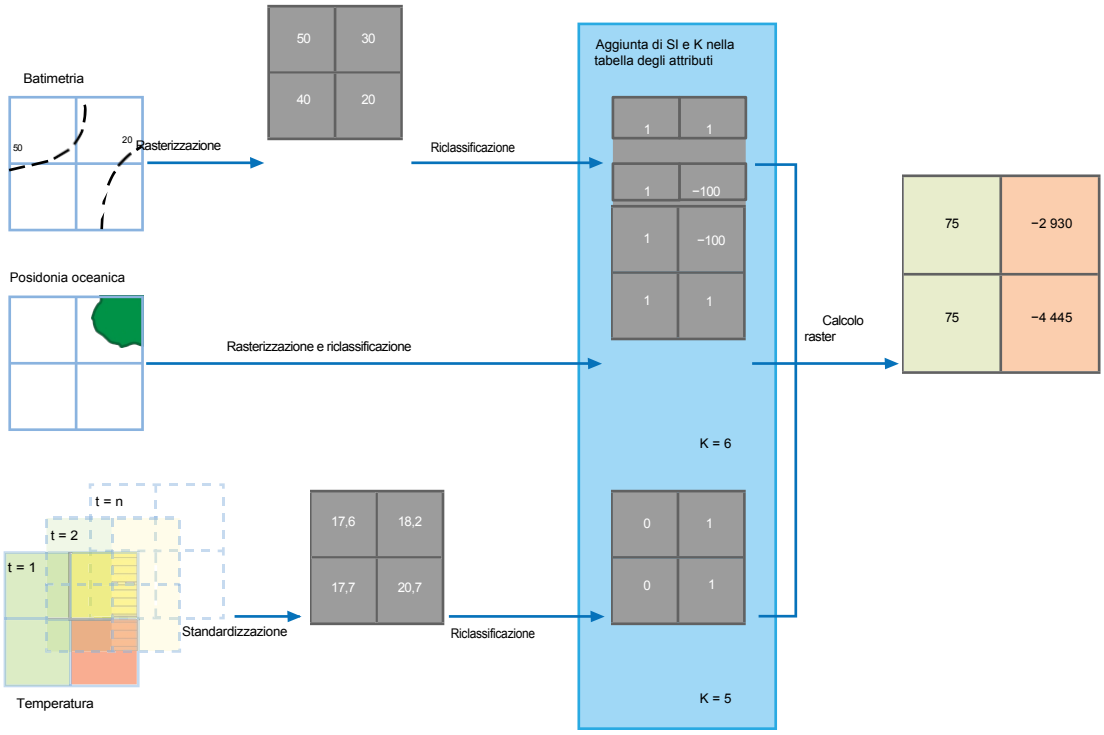
Nota: Giorni necessari affinché il branzino raggiunga la taglia commerciale (a sinistra); giorni necessari affinché l'orata raggiunga la taglia commerciale (al centro); altezza significativa delle onde al novantesimo percentile (a destra).

Fonte: Adattato da Porporato, E.M.D., Pastres, R. & Brigolin, D. 2020. Idoneità dei siti per l'acquacoltura marina di pesci nel Mediterraneo centrale. *Frontiers in Marine Science,* 6: 772.

Analisi spaziale multicriteriale

Il processo per condurre un'analisi spaziale multicriteriale può aiutare a determinare le aree più idonee per l'acquacoltura e segue tipicamente tre fasi: rasterizzazione, riclassificazione e calcolo (Figura 13). La rasterizzazione mira a convertire un livello vettoriale in un livello raster. Nel raster di output, ogni valore di pixel si basa su un campo nella tabella degli attributi dell'entità. Il processo di riclassificazione comporta la riclassificazione di singoli valori o di un intervallo di valori in un valore alternativo o in un intervallo di valori alternativo. Durante la fase di calcolo, le operazioni vengono eseguite sui livelli raster.

FIGURA 13
Esempio del processo semplificato di analisi multicriteriale



Nota: indice di idoneità (SI), fattore di ponderazione (K), grado di compatibilità (DC) e tempo (t).

Delimitazione della zona assegnata all'acquacoltura

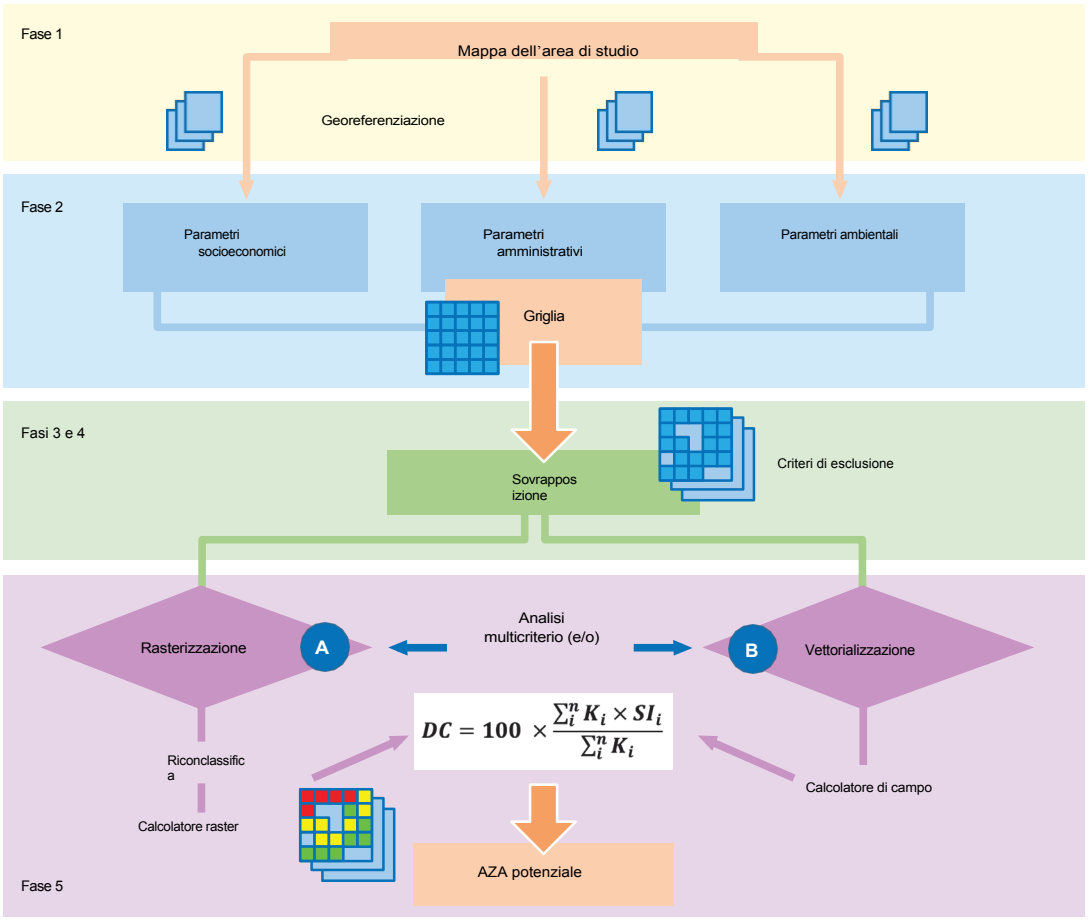
La delimitazione dell'AZA costituisce l'ultima fase della quinta fase (Figura 8) e i suoi confini saranno definiti in base ai risultati della stima del DC. Il processo metodologico per l'identificazione delle AZA mediante strumenti GIS è sintetizzato nel Capitolo 4.

4. Utilizzo dei sistemi informativi geografici per l'identificazione delle zone assegnate all'acquacoltura

4.1 Panoramica degli strumenti dei sistemi informativi geografici per l'identificazione delle zone assegnate all'acquacoltura

Come spiegato nei capitoli precedenti, il processo di istituzione delle AZA si articola in sette fasi (Macias *et al.*, 2019) e gli strumenti GIS possono facilitare diverse fasi di tale processo, in particolare utilizzando una funzione di rasterizzazione o una funzione di vettorializzazione – la prima delle quali è la scelta raccomandata per un'area di studio di dimensioni considerevoli (Figura 14). La metodologia illustrata in questo capitolo si concentra esclusivamente sulle fasi da uno a cinque. Le fasi sei e sette, relative ai piani di gestione ambientale (PGA), alla capacità di carico e all'integrazione nel quadro normativo, non sono state incluse in questa pubblicazione a causa dell'elevato numero di passaggi da seguire.

FIGURA 14
Le prime cinque fasi dell'identificazione delle zone destinate all'acquacoltura mediante sistemi informativi geografici



Nota: Grado di compatibilità (DC), fattore di ponderazione (K) e indice di idoneità (SI).

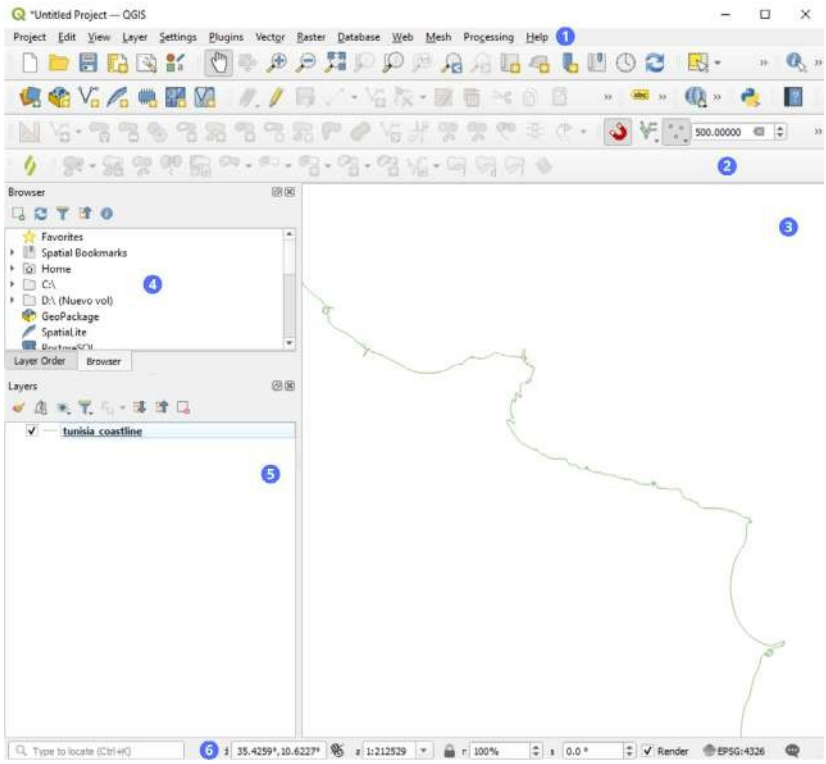
Il processo esatto per la delimitazione delle AZA dipende dal tipo di strumento GIS utilizzato. In generale, l'identificazione delle aree idonee richiede la combinazione di diversi strumenti, quali QGIS o simili, e R.

4.2 Identificazione delle zone destinate all'acquacoltura tramite QGIS

Il GIS gratuito e open source QGIS (QGIS, 2024a) offre un'interfaccia intuitiva e mira a consentire agli utenti di lavorare in modo efficace con i dati geografici, dalle attività di mappatura di base alle analisi e visualizzazioni geospaziali avanzate. L'interfaccia di QGIS è personalizzabile, ma la sua composizione contiene solitamente, per impostazione predefinita, gli elementi mostrati nella Figura 15.

Questa sezione descrive un esempio del processo metodologico per identificare una zona AZA destinata all'allevamento di pesci nella baia di Monastir, in Tunisia, utilizzando QGIS. L'area di studio è relativamente piccola e pertanto si opta per la vettorializzazione. Le informazioni visualizzate non rispecchiano la realtà.[1]

FIGURA 15
Panoramica dell'interfaccia di QGIS



Nota: 1) menu a barra (caratteristiche e funzioni principali); 2) pannello della barra degli strumenti (icone rappresentative per l'accesso diretto alle funzioni comuni); 3) area di lavoro della mappa (visualizzazione geografica dei livelli attivi);
4) pannello del browser (accesso al database); 5) pannello dei livelli (elenco dei livelli disponibili); 6) barra di stato (scala della mappa, rotazione, coordinate e barra di localizzazione).

4.2.1 Fase uno: contestualizzazione del sito

Il primo passo nell'identificazione di un'AZA consiste nel valutare la situazione esistente, il che comporta:

- l'identificazione delle esigenze e degli obiettivi del settore dell'acquacoltura;
- lo studio del quadro giuridico e del contesto normativo;
- l'analisi del settore dell'acquacoltura nell'area di studio;
- la delimitazione dell'area di studio o dei confini geografici; e
- l'identificazione delle parti interessate.

[1] Le informazioni utilizzate sono state elaborate per due corsi online organizzati dalla GFCM sull'uso dei GIS nella definizione delle AZA, tenutisi nel 2020 e nel 2021 (GFCM, 2020, 2021).

La contestualizzazione del sito può essere supportata dall'uso di mappe di base e livelli, nonché di dati tabulari, tra gli altri elementi (Tabella 4).

TABELLA 4

Parametri utilizzati per identificare le zone destinate all'acquacoltura

Livello informativo	Formato	Potenziali parti interessate[1]	Fonte alternativa[2]
Carta nautica e altre mappe in scala	In formato digitale o cartaceo	Ministero della Difesa o dell'Agricoltura	https://map.openseamap.org
Confini comunali	Vettoriale	Ministero dell'Agricoltura	https://diva-gis.org/gdata
Litorale	Vettoriale	Ministero dell'Agricoltura	https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ grump-v1-coastlines/data-download
Area di studio (terra e mare)	Vettore	Estensione concordata tra esperti e parti interessate	
Aree di concessione per l'acquacoltura	Tabella o shapefile	Ministero dell'Agricoltura	Alcune aree di concessione possono essere individuate tramite Google Earth: https://earth.google.com/
Batimetria	Raster	Ministero dell'Ambiente o dell'Agricoltura	https://gebco.net https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry
Habitat sensibili	Vettoriale	Ministero dell'Ambiente o Agricoltura	https://emodnet.ec.europa.eu/en/seabed-habitats

Note:

[1] Gli stakeholder ipotetici rappresentano il gruppo potenziale di soggetti interessati in possesso di questo tipo di informazioni. Ciò può variare da paese a paese.

[2] Nel caso in cui non sia possibile raccogliere dati ufficiali tramite le parti interessate, è possibile scaricare informazioni georeferenziate tramite portali specifici.

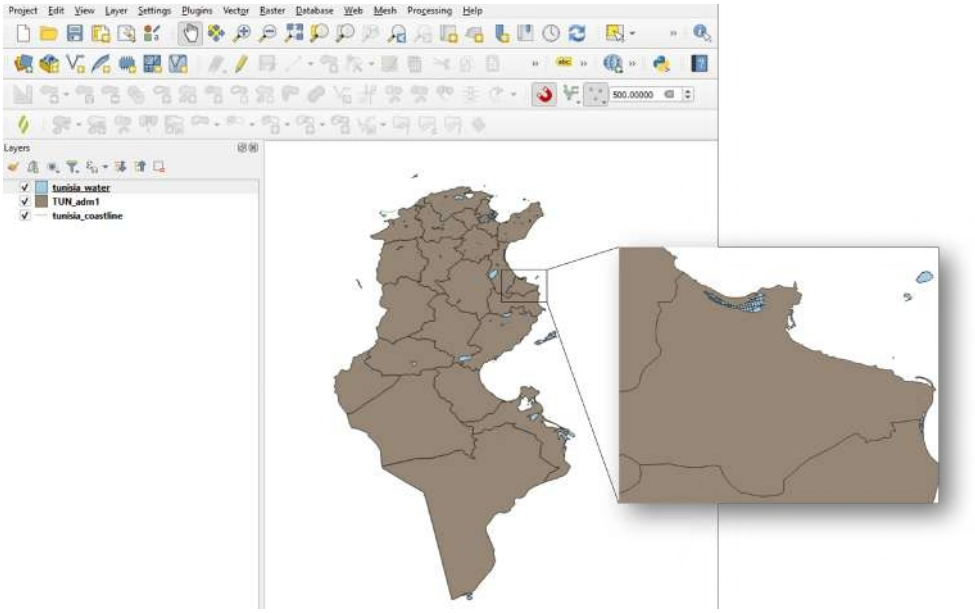
Caricamento dei livelli di base in QGIS per desktop

Esistono tre modi per caricare i livelli in QGIS:

- Dal menu, selezionare Livello > Aggiungi livello > Aggiungi livello vettoriale > Sfoglia set di dati vettoriali, quindi selezionare lo shapefile desiderato e aprirlo.
- Selezionare il collegamento nella barra degli strumenti laterale.
- Selezionare lo shapefile e trascinarlo nell'area di lavoro di QGIS desktop.

I livelli vengono sovrapposti al progetto man mano che vengono aggiunti. L'ordine di sovrapposizione, e quindi la visualizzazione dei livelli, può essere modificato nel pannello dei livelli (Figura 16).

FIGURA 16
Piattaforma QGIS con livelli aggiunti nell'area di lavoro e ingrandimento sulla Baia di Monastir, in Tunisia



Aggiunta di mappe di base

L'aggiunta di una mappa di base all'area di lavoro aiuta a mettere in risalto i dati e i livelli. Un metodo semplice per aggiungere mappe di base consiste nell'utilizzare il plugin QuickMapServices. Per installare il plugin, andare su Plugin > Gestisci e installa plugin, quindi cercare "QuickMapServices" e infine fare clic su "Seleziona e installa plugin". Per accedere al plugin installato e caricare le mappe di base, selezionare Web > QuickMapServices > Impostazioni (Figura 17). Infine, per scegliere una mappa di base, selezionare Web > QuickMapServices > Scopri, quindi selezionare l'opzione pertinente (Figura 18).

FIGURA 17
Caricamento delle mappe di base in QGIS

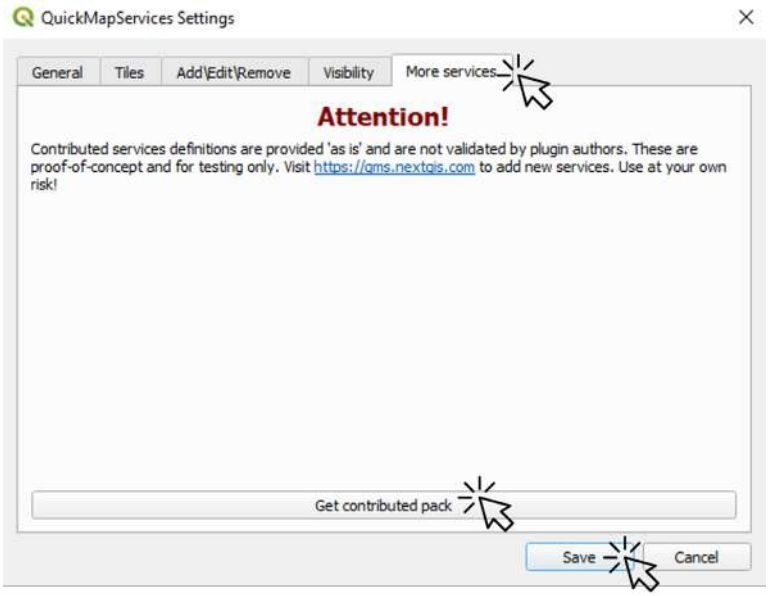
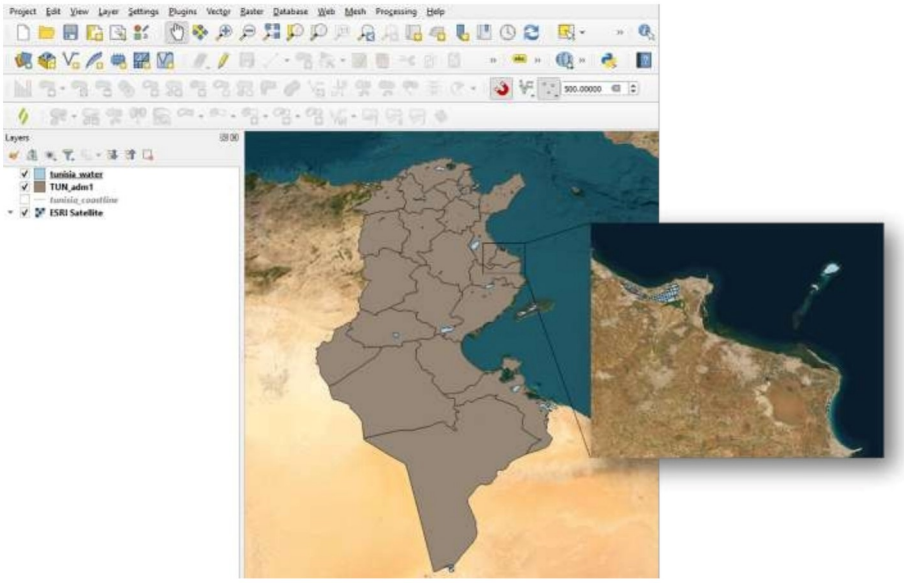


FIGURA 18
Piattaforma QGIS con livelli e una mappa di base aggiunti nell'area di lavoro e con un'area di ingrandimento sulla baia di Monastir, in Tunisia

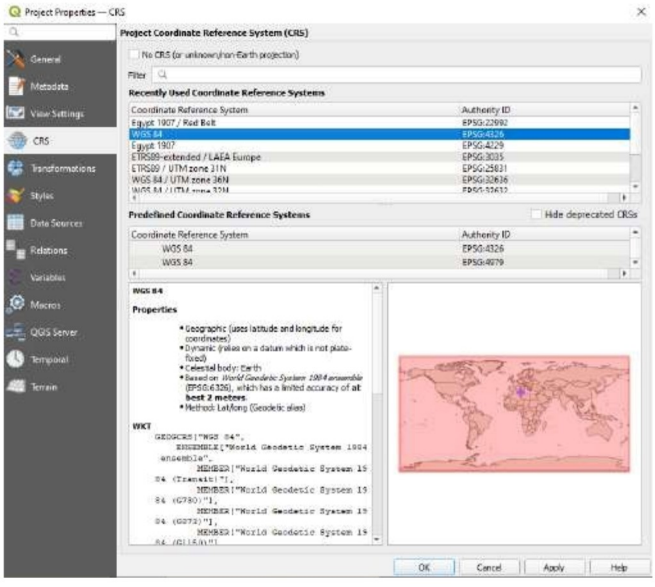


Scelta e impostazione di un sistema di riferimento coordinato

I dati possono essere registrati in sistemi di coordinate globali o planari. I livelli aggiunti potrebbero già disporre di un sistema di riferimento coordinato (CRS), ma in caso contrario, durante l'importazione nel progetto apparirà una finestra. Il CRS globale predefinito di ogni nuovo progetto è EPSG:4326 – WGS 84.

Per verificare il CRS corrente del progetto, selezionare Progetto > Proprietà > CRS, quindi disattivare l'opzione "Nessun CRS (o proiezione sconosciuta/non terrestre)",[2] selezionare CRS nel menu a sinistra, impostare il filtro su 4326 e fare clic su OK (Figura 19).

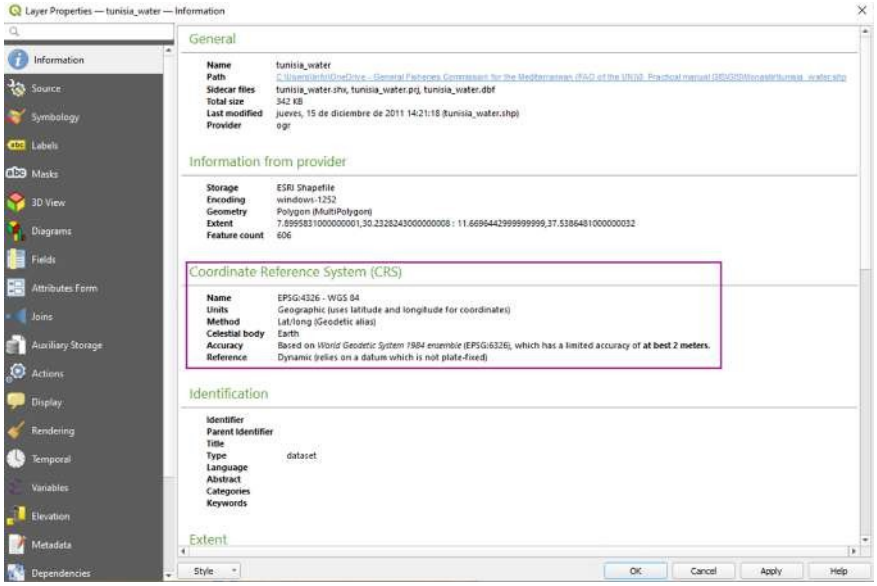
FIGURA 19
Visualizzazione del sistema di riferimento coordinato del progetto in QGIS



[2] Nelle versioni precedenti di QGIS, questa opzione era nota come "Al volo".

Per verificare il CRS corrente del livello, fare clic con il tasto destro del mouse sul livello, quindi selezionare Proprietà del livello > Informazioni (Figura 20).

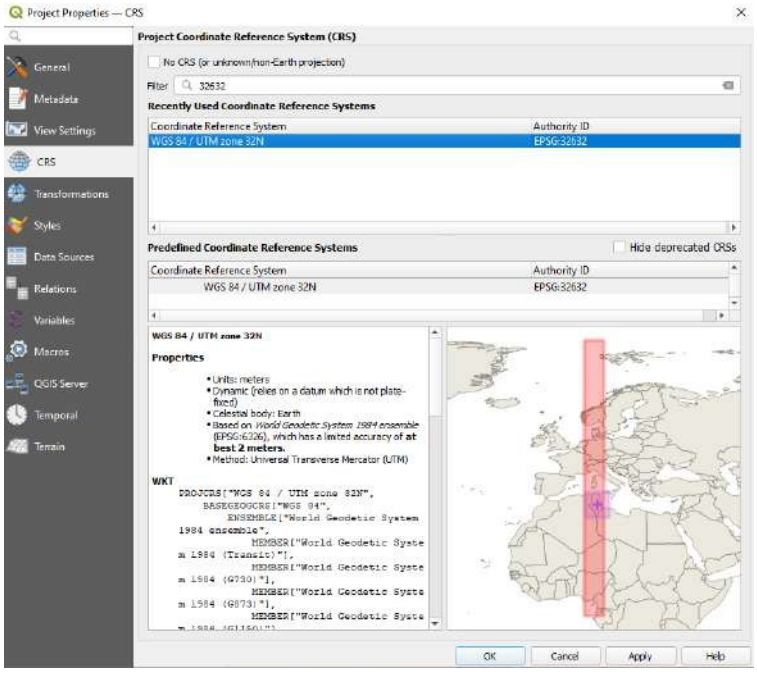
FIGURA 20
Visualizzazione del sistema di riferimento coordinato (CRS) del livello in QGIS



È possibile modificare il CRS del progetto e dei livelli in base alle esigenze dell'utente. Un CRS proiettato è necessario per eseguire misurazioni e operazioni, poiché fornisce informazioni che assegnano coordinate cartesiane della mappa a posizioni fisiche (sistema di coordinate planare). Prima di modificare il CRS, è necessario verificare quale CRS proiettato sia disponibile nell'area di studio. Ciò può essere fatto utilizzando lo strumento online EPSG.io (EPSG.io, 2024). In questo capitolo viene utilizzata la proiezione UTM, mentre il datum e l'ellissoide sono WGS 84.

Per modificare il CRS del progetto, selezionare Progetto > Proprietà > CRS, quindi impostare il filtro su 32632 e selezionare OK (Figura 21).

FIGURA 21
Modifica del sistema di riferimento coordinato del progetto



Per modificare il CRS del livello, fare clic con il tasto destro del mouse sul livello e selezionare Esporta > Salva elementi come, modificare il nome del file (si consiglia di inserire il codice EPSG alla fine del nome del file) e infine selezionare Modifica il CRS > OK. Ripetere questi passaggi per ogni livello utilizzato. Se si sta creando un nuovo livello, assicurarsi di selezionare un CRS proiettato.

Digitalizzazione e georeferenziazione di carte nautiche e altre mappe di base

La digitalizzazione e il georeferenziazione delle mappe scansionate in un progetto GIS possono aiutare a completare il database con punti di profondità e altri dati. Questi processi possono essere utilizzati anche per includere altri tipi di informazioni estratte da documenti tecnici o manuali, nonché informazioni specifiche, come la copertura delle specie. Il flusso di lavoro dei processi di digitalizzazione e georeferenziazione per una carta nautica e i punti di profondità è riassunto come segue.

Per avviare il processo, è innanzitutto necessario importare la mappa digitalizzata. Ciò è possibile con l'ausilio di un plugin installabile tramite Plugins > Gestisci e installa plugin; cercare quindi *"Georeferencer* GDAL" e fare clic sul pulsante per selezionare e installare il plugin. Successivamente, accedere a Raster > Georeferencer (apparirà una nuova finestra) e selezionare il file pertinente, reperibile in File > Apri raster. Aprire il file e selezionare Impostazioni > Impostazioni di trasformazione, quindi impostare il tipo di trasformazione su "Polinomiale 2", il metodo di ricampionamento su "Vicino più prossimo" e il sistema di riferimento spaziale di destinazione sul CRS corrispondente. Si noti che la maggior parte delle mappe viene creata utilizzando un CRS proiettato; in questo esempio, la carta nautica specificava "Carthage" come sistema geodetico.

Il passo successivo del processo consiste nell'aggiungere punti di controllo a terra (GCP). Per farlo, selezionare innanzitutto Modifica > Aggiungi punto e scegliere un punto caratteristico dell'area che sia facilmente riconoscibile (apparirà una nuova finestra). Inserire le coordinate di longitudine e latitudine manualmente o dalla tela della mappa (selezionare lo stesso punto dell'area scelto in precedenza) (Figura 22). Ripetere questa procedura almeno altre cinque volte; un numero maggiore di punti selezionati aumenta la precisione dei valori registrati rispetto alle coordinate di destinazione. Premere l'icona di riproduzione per avviare il georeferenziazione.

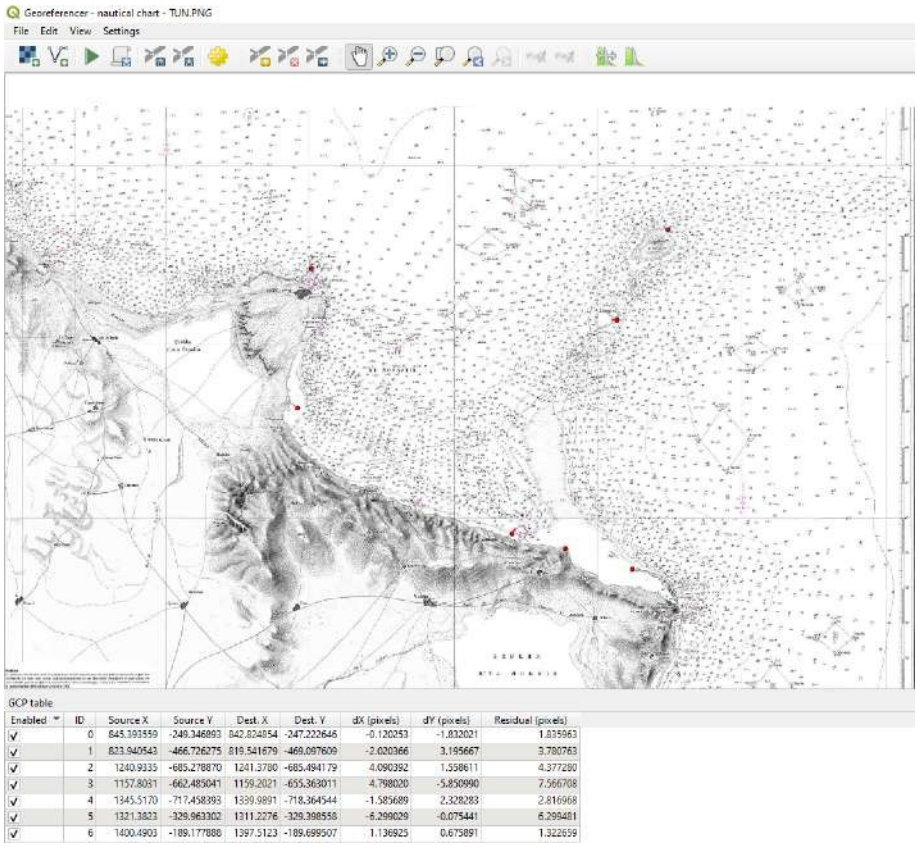
Poiché alcune mappe potrebbero non presentare linee o croci di latitudine e longitudine, questo manuale non le considera come GCP. Tuttavia, è possibile utilizzare le linee della griglia per determinare le coordinate di longitudine e latitudine e il risultato sarà più accurato.

Importazione di dati tabulari

I dati tabulari (coordinate) possono essere importati in diversi modi. Uno dei più semplici può essere riassunto come segue. Innanzitutto, aprire un file Microsoft Excel contenente almeno due colonne per le coordinate di longitudine e latitudine e selezionare File > Salva con nome > Tipo di file > Valori separati da virgola (.csv).[3] Successivamente, in QGIS, accedere a Livello > Aggiungi livello
> Aggiungi livello di testo delimitato. Scegliere il file .csv pertinente (definizione della geometria; selezionare i campi X e Y), salvare come shapefile e impostare il CRS appropriato (Figura 23). Infine, fare clic con il tasto destro del mouse sul livello di punti, selezionare Esporta > Salva elementi come, modificare il nome del file, cambiare il CRS e fare clic su OK.

[3] È fondamentale verificare il separatore decimale. Per farlo, selezionare Opzioni > Avanzate > Opzioni di modifica > Seleziona punto come separatore.

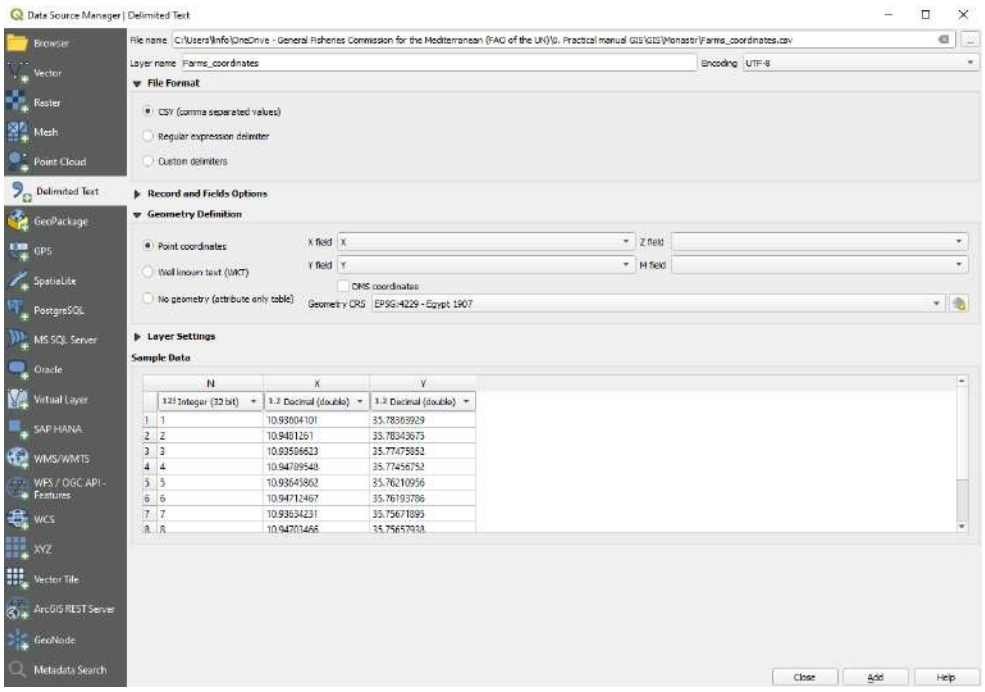
FIGURA 22
Aggiunta di punti di controllo a terra con lo strumento Georeferencer di QGIS



Enabled	ID	Source X	Source Y	Dest. X	Dest. Y	dX (pixels)	dY (pixels)	Residual (pixels)
✓	0	845.393559	-249.346893	842.824854	-247.222646	-0.120253	-1.832021	1.835963
✓	1	823.940543	-466.726275	819.541679	-469.097609	-2.020366	3.195667	3.780763
✓	2	1240.9335	-685.278870	1241.3780	-685.494179	4.090392	1.558611	4.377280
✓	3	1157.8081	-662.485041	1159.2021	-655.363011	4.798020	-5.850990	7.566708
✓	4	1345.5170	-717.458393	1339.9891	-718.364544	-1.585689	2.328283	2.816968
✓	5	1321.3823	-329.963302	1311.2276	-329.398558	-6.299029	-0.075441	6.299481
✓	6	1400.4903	-189.177888	1397.5123	-189.699507	1.136925	0.675891	1.322659

Fonte: Adattato da SHOM. 2024. Carte nautiche digitali raster. Mappa 4226 – Da Ras Marsa a Ras Dimas – Golfo di Sousse e di Monastir. In: *Les produits et services du SHOM pour les professionnels et les particuliers [Prodotti e servizi dello SHOM per professionisti e privati].* Brest, Francia. [Consultato il 13 maggio 2024]. https://diffusion.shom.fr/searchproduct/product/configure/id/208

FIGURA 23
Importazione di dati tabulari in QGIS



	N	X	Y
	123 Integer (32 bit)	1.2 Decimal (double)	1.2 Decimal (double)
1	1	10.93804101	35.78363929
2	2	10.9481261	35.78343675
3	3	10.93506623	35.77475852
4	4	10.94789548	35.77456752
5	5	10.93645862	35.76210956
6	6	10.94712467	35.76193786
7	7	10.93634231	35.75671095
8	8	10.94701466	35.75657938

Creazione di un nuovo shapefile

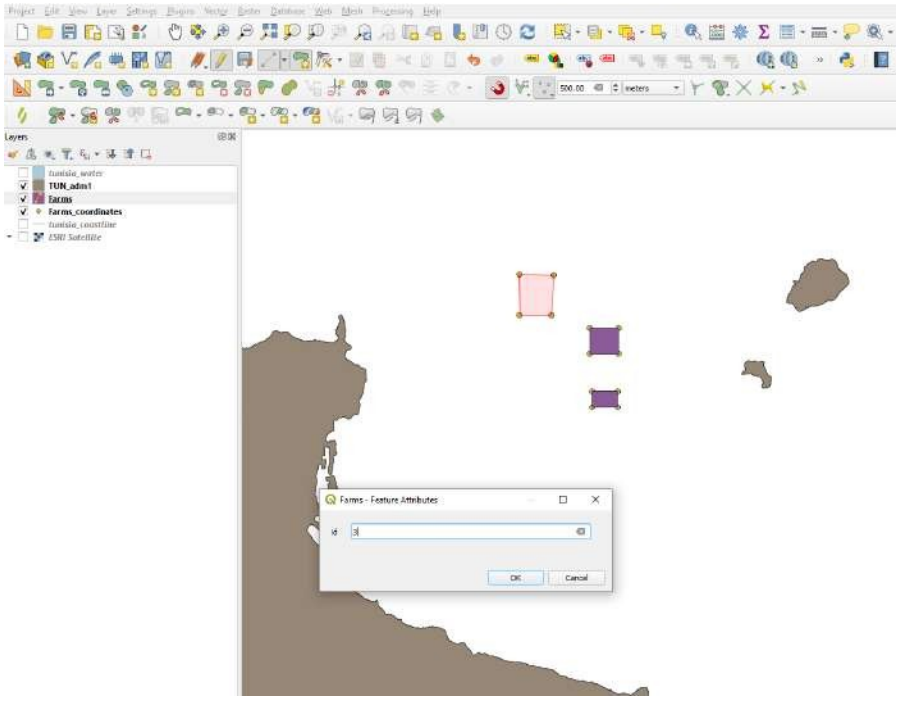
È possibile creare un nuovo shapefile utilizzando diversi metodi. Il metodo illustrato in questa sezione si concentra sulla creazione di un poligono (livello che rappresenta le concessioni di ciascuna azienda agricola) con l'ausilio di un livello preesistente (livello di punti che rappresenta i vertici delle concessioni).

Per prima cosa è necessario modificare le impostazioni per abilitare l'aggancio. A tal fine, selezionare Impostazioni > Opzioni > Digitalizzazione > Aggancio > Abilita aggancio per impostazione predefinita (vertice; tolleranza 500 unità cartografiche) > Visualizza > Barre degli strumenti > Barra degli strumenti Digitalizzazione.

Per generare lo shapefile, selezionare Livello > Nuovo livello shapefile. In questo esempio, lo shapefile è denominato "Aquaculture_Farm_32632", il tipo di geometria è poligono, il CRS è EPSG:32632 – WGS 84 / UTM 32N, mentre gli altri campi mantengono le impostazioni predefinite.

Una volta creato lo shapefile, è necessario aggiungere le entità poligonali. Fare clic con il tasto destro del mouse sul nome del file, in questo caso "Aquaculture_Farm_32632", e attivare la modalità di modifica, quindi fare clic sull'icona "" per aggiungere un'entità poligonale. Per creare il poligono, è sufficiente fare clic su ciascun punto che rappresenta un vertice del poligono e fare clic con il tasto destro del mouse per completare il poligono. Viene quindi visualizzata una finestra in cui è possibile inserire il nome dell'elemento (Figura 24).

FIGURA 24
Creazione di un oggetto poligonale in QGIS



Delimitazione dell'area di studio

Come parte della prima fase del processo di istituzione di un'AZA, l'area di studio e i suoi confini geografici devono essere delimitati in base agli obiettivi e all'ambito dello studio. Esistono due tipi di delimitazione:

- l'area pilota, che delimita una zona di piccole dimensioni, come ad esempio una baia, utilizzando i confini amministrativi locali (ad esempio, comuni); e
- la scala nazionale, che delimita un'area più ampia, come le acque territoriali o le zone economiche esclusive.

Nel presente manuale, l'area di studio considerata (sia terrestre che marina) comprende il governatorato di Monastir e la parte settentrionale del governatorato di Madhia fino alla città di Salakta (Figura 25).

FIGURA 25
Delimitazione dell'area di studio in QGIS



4.2.2 Fase due: raccolta di informazioni e dati

Preparazione del database

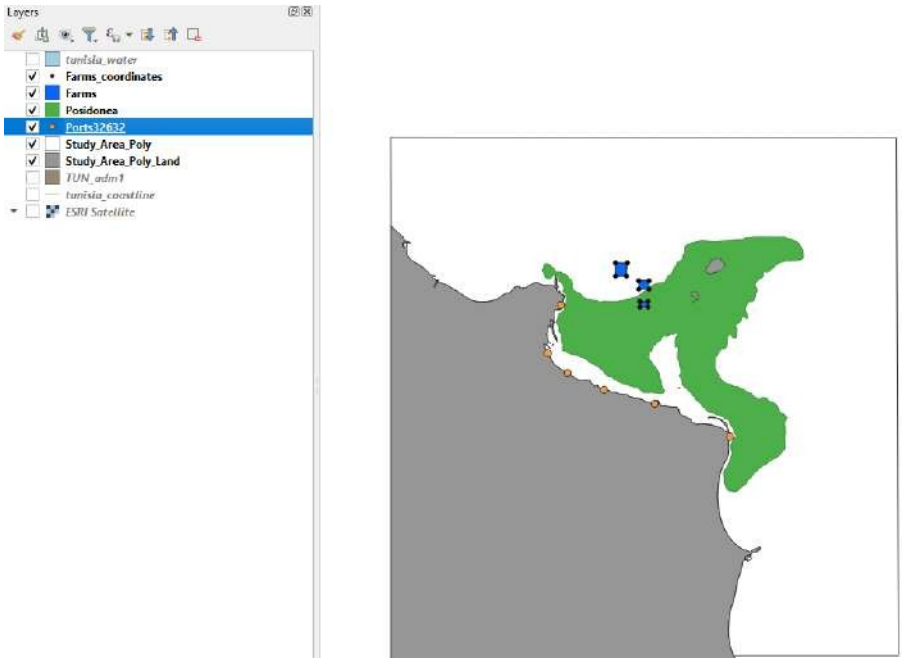
Una volta delimitata l'area di studio, viene creato un database con i parametri necessari elencati in Macias *et al.* (2019). Un modo per creare un database con QGIS è utilizzare SpatiaLite[4]tramite l'interfaccia del browser di QGIS. L'organizzazione e l'archiviazione dei livelli in questo tipo di database è facoltativa, poiché possono essere gestiti direttamente in un file sul dispositivo, in questo caso il computer.

Rappresentazione dei dati

Le informazioni raccolte devono essere organizzate in livelli e preparate per la fase successiva. Per l'esempio riportato in questo capitolo, sono stati inclusi solo tre parametri (Figura 26 e Figura 27): habitat sensibili, porti di origine e batimetria.

[4] Ulteriori informazioni sono disponibili nel manuale di formazione di QGIS (QGIS, 2024b).

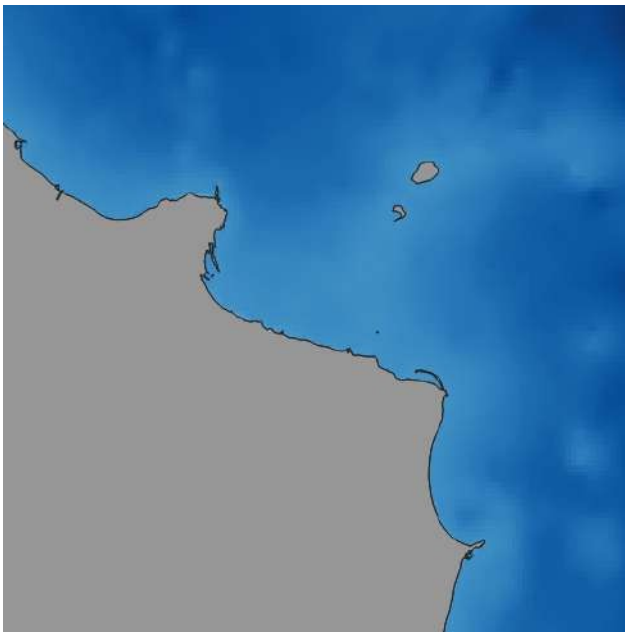
FIGURA 26
Rappresentazione dei porti di origine e degli habitat sensibili in QGIS



Per l'esempio presentato in questo capitolo, i dati batimetrici sono stati scaricati dal sito web della General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) (GEBCO, 2024) (Figura 14). Per accedere a tali dati, apri GEBCO e vai su Dati e prodotti
> Dati batimetrici su griglia > Scarica dati per aree definite dall'utente. Tenere premuto il tasto "Ctrl" e cliccare per selezionare l'area oppure inserire i confini. Assicurarsi che il formato sia impostato su GeoTIFF. Trascinare e rilasciare il file in QGIS per caricarlo nel progetto.

È inoltre possibile creare isobate tramite una carta nautica o scaricarle da diverse piattaforme (Allegato 2).

FIGURA 27
Dati batimetrici aggiunti alla piattaforma QGIS

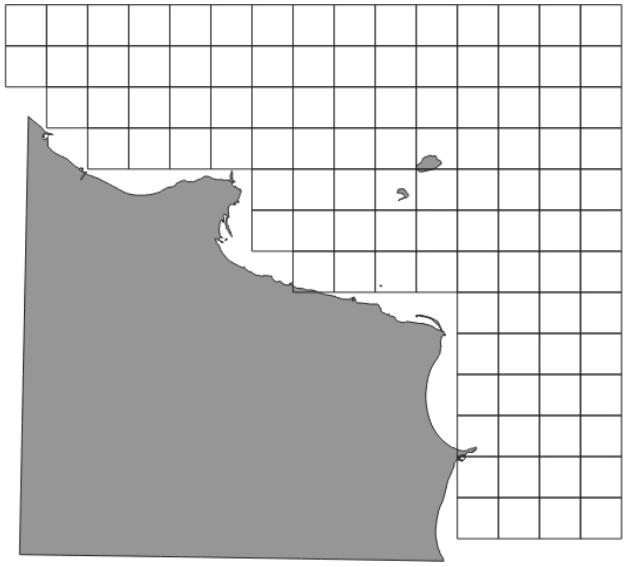


Creazione della griglia

In questo esempio, ogni parametro viene vettorializzato prima di eseguire l'analisi multicriteriale. Uno dei modi più semplici per raggruppare i parametri è quello di incorporarli in una griglia (Figura 28). Per farlo, selezionare Vettore > Strumenti di ricerca > Crea griglia. Impostare i parametri della griglia come segue:

- tipo di griglia: rettangolo (poligono);
- estensione della griglia: area di studio;
- spaziatura orizzontale: 4 000 m;[5]
- spaziatura verticale: 4 000 m; e
- CRS della griglia: EPSG:32632 – WSG 84 / zona UTM 32N.

FIGURA 28
Griglia con una risoluzione spaziale di 4 km per 4 km



4.2.3 Fase tre: preselezione delle zone destinate all'acquacoltura

Indice di idoneità e fattore di ponderazione

Durante il processo di identificazione delle AZA, l'indice di idoneità (SI) degli intervalli dei parametri e il valore K devono essere stabiliti in coordinamento con gli esperti e le parti interessate precedentemente identificati nella fase uno. Come spiegato nella sezione 4.2.1, l'indice di idoneità (SI) può assumere quattro valori diversi a seconda dell'influenza potenziale negativa o positiva dell'intervallo del parametro:
−100, −1, 0, 1; mentre il valore K può variare da 1 a 10, a seconda dell'importanza relativa di ciascun parametro.

Il numero di parametri, i loro intervalli e i valori di SI e K variano da uno studio all'altro. La tabella 5 illustra come è stato assegnato ciascun fattore considerato nel manuale.

[5] La dimensione delle celle dipende dalla risoluzione e dalla copertura dei dati; maggiore è l'area, maggiore è la dimensione della cella. Le dimensioni variano solitamente da 500 m a 1 km.

TABELLA 5

Parametri, intervalli e relativi indici di idoneità e fattori di ponderazione considerati per l'allevamento di pesci

Parametri e utilizzi	Livello di interesse		Fattore di ponderazione
	Intervalli e condizioni	Indice di idoneità	
Batimetria	≤ 30 m	−1	9
	30–50 m	1	
	> 50	0	
Habitat sensibile	All'interno dell'habitat sensibile e della zona cuscinetto di 400 m	−100	7
	All'esterno dell'habitat sensibile e della zona cuscinetto di 400 m	1	
Acquacoltura	All'interno delle aree di concessione degli impianti esistenti	−100	6
	Al di fuori delle aree di concessione degli impianti esistenti	1	
Porto	Distanza dai porti ≤ 1 miglio nautico	−100	5
	≥ 10 miglia nautiche	0	
	1–10 miglia nautiche	1	

Criteri di esclusione

Una volta assegnato l'indice di compatibilità (SI), in particolare i valori pari a −100, alle fasce in cui sussistono incompatibilità (di solito riflesse nella legislazione locale, nazionale e/o regionale), tali aree vengono escluse dall'area di studio. In questo caso, le aree escluse sono:

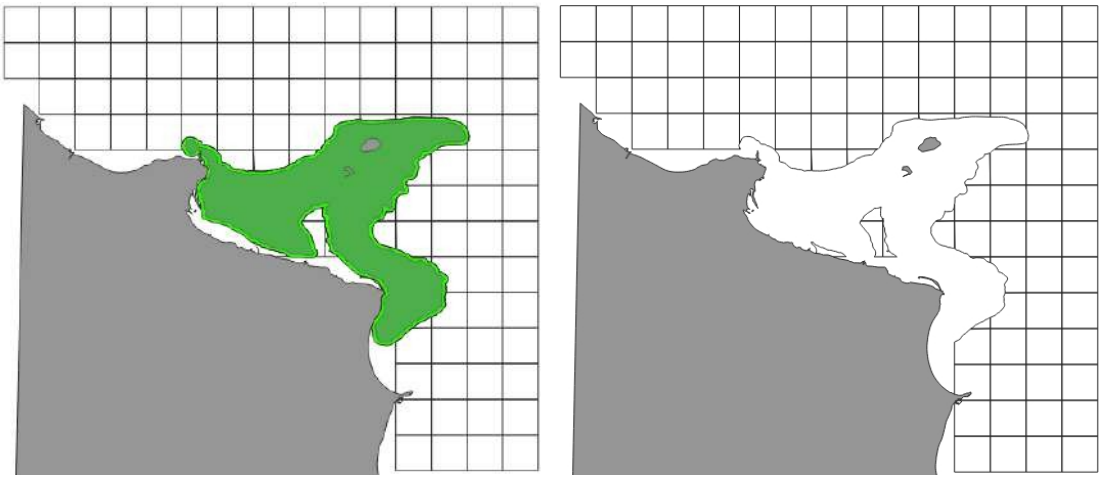
- aree situate all'interno di habitat sensibili e della loro zona cuscinetto di 400 m;
- aree situate a meno di 1 miglio nautico dai porti; e
- aree situate all'interno di concessioni acquicole.

L'applicazione dei criteri di esclusione consente di rimodellare la griglia. È possibile utilizzare i seguenti strumenti.

Per gli habitat sensibili, è possibile creare una zona cuscinetto e rimuovere le aree incompatibili (Figura 29). Nello scenario riassunto nella Tabella 2, le aree entro 400 m sono considerate incompatibili con l'allevamento di pesci. Per creare la zona cuscinetto di 400 m attorno agli habitat sensibili, utilizzare lo strumento Buffer disponibile in Vettore > Strumenti di geoprocessing. Impostare il livello di input come "Habitat sensibili", la distanza a 400 m e il segmento a 20. Quindi abilitare "Risultati dissolti" e selezionare Esegui. Per salvare il livello temporaneo con zona cuscinetto, fare clic con il tasto destro del mouse sul livello e selezionare Esporta > Salva elementi come, quindi modificare il nome del file.

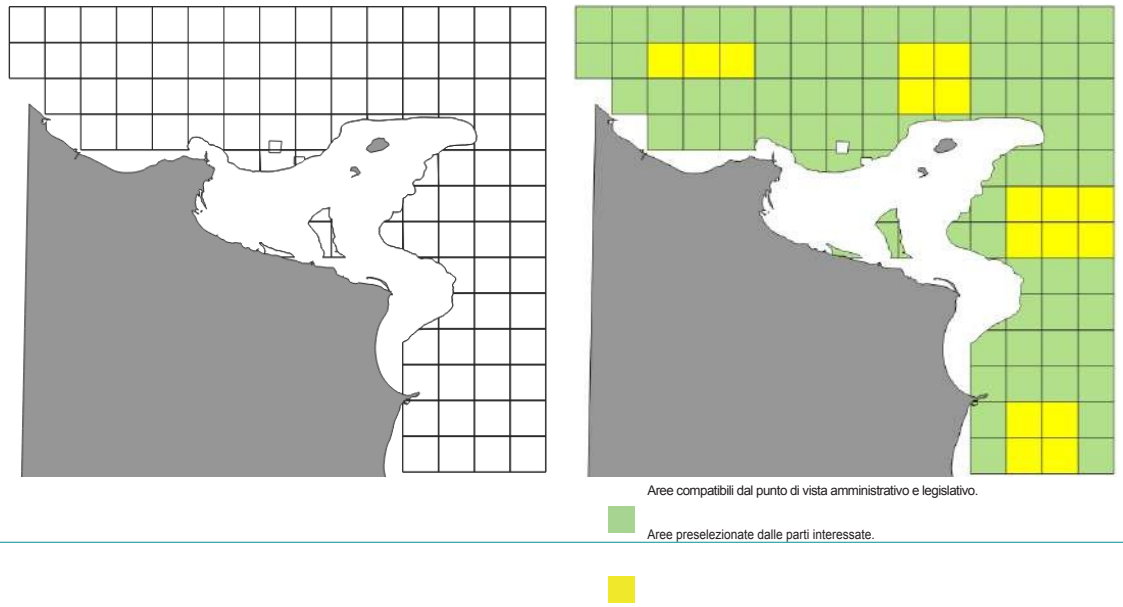
Una volta creato il livello con buffer, quest'area può essere rimossa dalla griglia. Sebbene siano disponibili diversi metodi, in questo esempio si utilizza lo strumento di geoprocessing "Differenza", che si trova in Vettore > Strumenti di geoprocessing. Impostare il livello di input come "Griglia" e il livello di sovrapposizione come il buffer creato dagli habitat sensibili, quindi selezionare Esegui. Per salvare il livello temporaneo dopo aver rimosso le aree incompatibili, fare clic con il tasto destro del mouse sul livello, selezionare Esporta > Salva elementi come e modificare il nome del file.

FIGURA 29
Un buffer di 400 m aggiunto attorno a un livello poligonale (a sinistra) e rimozione delle aree incompatibili (a destra)



Per rimuovere le aree situate all'interno delle concessioni acquicole, è possibile utilizzare nuovamente lo strumento "Differenza". La griglia risultante mostra solo le aree compatibili (Figura 30).

FIGURA 30
Griglia dopo l'applicazione dei criteri di esclusione (a sinistra) e aree compatibili rimanenti (a destra)



4.2.4 Fase quattro: processo di consultazione e convalida

Durante questa fase, tutte le parti interessate coinvolte devono convalidare il processo, la rappresentazione dei parametri raccolti e i risultati preliminari.

4.2.5 Fase cinque: analisi del potenziale acquacoltivo

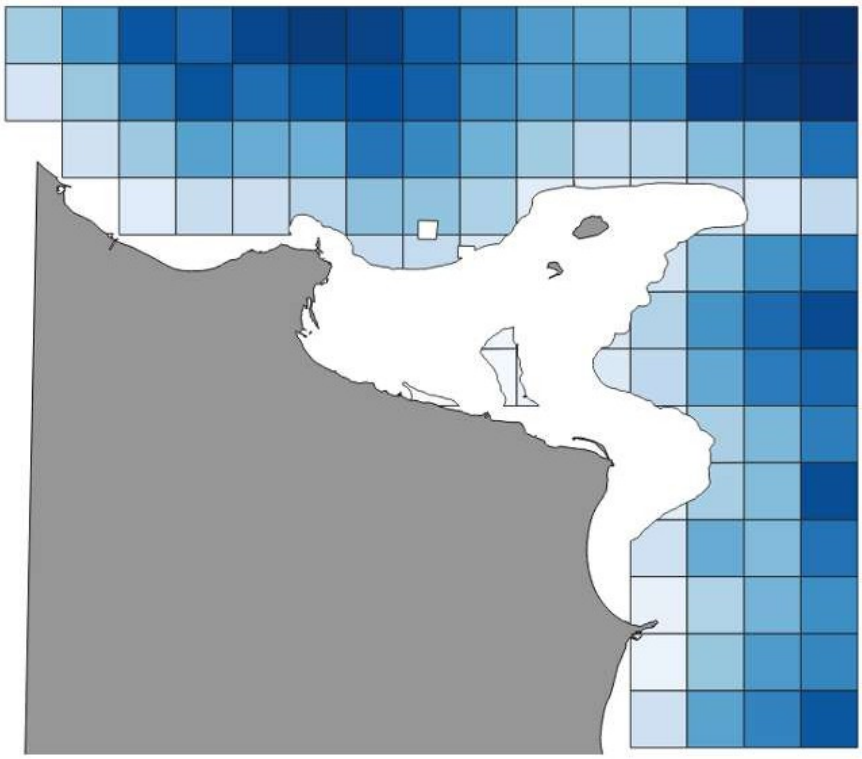
Una volta che i risultati preliminari sono stati convalidati attraverso il processo di consultazione, i parametri rimanenti devono essere inseriti nella griglia.

Inserimento dei parametri rimanenti nella griglia

Prima di incorporare i parametri rimanenti nella griglia, si raccomanda di inserire la "Casella degli strumenti di elaborazione" nell'interfaccia di QGIS per facilitare la ricerca e l'uso degli strumenti. È accessibile da Visualizza > Pannelli.

Per i dati batimetrici, o altri dati raster, esistono diversi modi di procedere. Un modo semplice per incorporare diversi valori di pixel di un livello raster in un livello vettoriale consiste nell'utilizzare lo strumento "Statistiche zonali" disponibile nella casella degli strumenti di elaborazione (Figura 31). Una volta aperto lo strumento, impostare il livello di input come la griglia risultante dai criteri di esclusione, il livello raster come il livello GEBCO, la statistica da calcolare come la media, quindi selezionare Esegui. Per aprire la tabella degli attributi risultante, fare clic con il tasto destro del mouse sul livello e selezionare Apri tabella degli attributi.

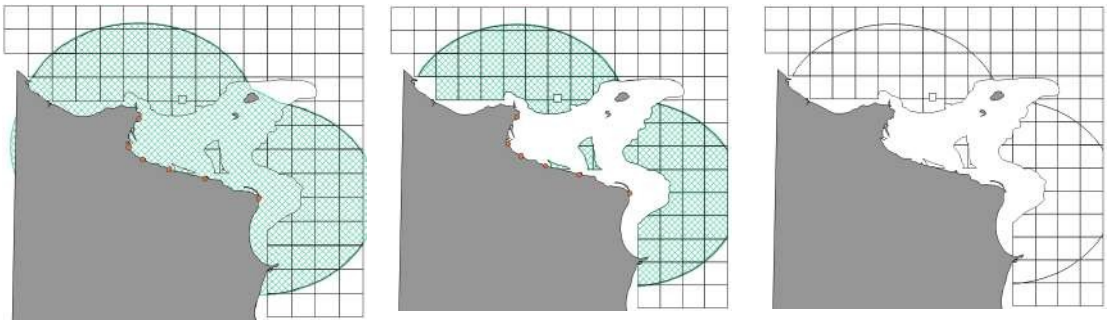
FIGURA 31
Incorporazione della media dei pixel del livello raster di batimetria nella griglia in QGIS



	id	left	top	right	bottom	_mean
1	1	10.604...	35.9583...	10.6...	35.91...	-35.7100000000...
2	2	10.604...	35.9166...	10.6...	35.87...	-19.6299999999...
3	14	10.645...	35.9583...	10.6...	35.91...	-46.1599999999...
4	15	10.645...	35.9166...	10.6...	35.87...	-38.2199999999...

Per determinare le aree in prossimità dei porti di origine, utilizzare lo strumento Buffer disponibile in Vettoriale > Strumenti di geoprocessing. Per questo esempio, il livello di input è impostato su "Ports", la distanza è di 10 km e il numero di segmenti è 20. Abilitare l'opzione "Risultati dissolti" e selezionare Esegui (Figura 32). Successivamente, ridisegnare l'area del buffer in base all'area di studio selezionando lo strumento "Intersection" che si trova in Vettore > Strumenti di geoprocessing. Impostare il livello di input come buffer, il livello di sovrapposizione come "Grid" e fare clic su "Esegui". Infine, per incorporare il buffer nella griglia, utilizzare lo strumento "Union" che si trova in Vettore > Strumenti di geoprocessing. Impostare il livello di input come "Griglia", il livello di sovrapposizione come "Intersezione" e fare clic su Esegui (Figura 19).

FIGURA 32
Un buffer di 10 nm aggiunto attorno ai porti di origine (a sinistra), il buffer ridisegnato in base all'area di studio (al centro) e il buffer incorporato nella griglia (a destra)



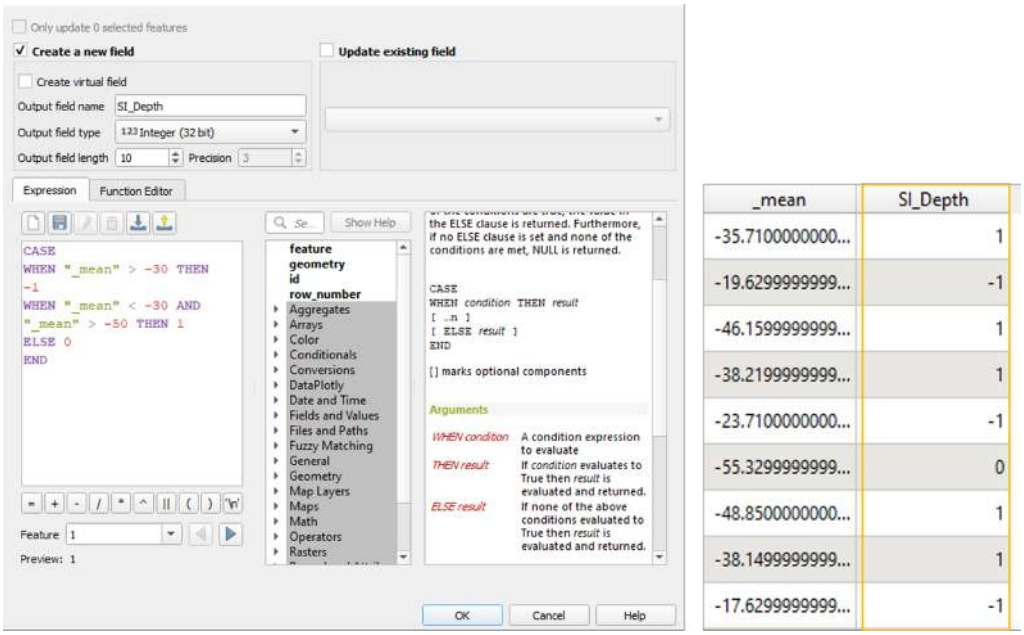
Assegnazione dell'indice di idoneità

I valori dell'indice di idoneità possono essere incorporati nella griglia utilizzando la funzione CASE, che valuta più espressioni e restituisce un risultato. È disponibile nel Field Calculator, che si apre cliccando sull'icona " " nella tabella degli attributi della griglia. Per calcolare i valori SI per i dati batimetrici, aprire il Field Calculator e selezionare la casella per creare un nuovo campo (Figura 33). Impostare il nome del campo di output come "SI_Depth", il tipo del campo di output come "Intero" e l'espressione come segue:

```
CASE
WHEN "_mean" > −30 THEN −1
QUANDO "_mean" < −30 E "_mean" > −50 ALLORA 1 ALTRIMENTI 0
FINE
```

Infine, fare clic su OK.

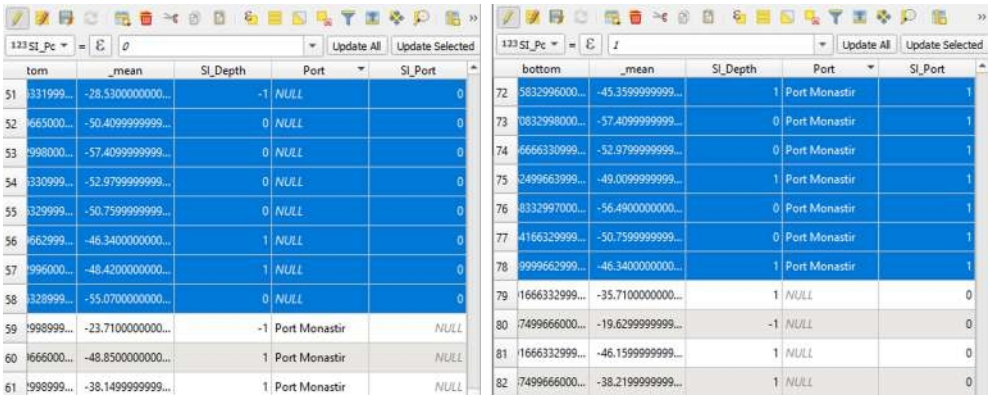
FIGURA 33
Utilizzo della funzione CASE per assegnare i valori dell'indice di idoneità in QGIS



_mean	SI_Depth
-35.7100000000...	1
-19.6299999999...	-1
-46.1599999999...	1
-38.2199999999...	1
-23.7100000000...	-1
-55.3299999999...	0
-48.8500000000...	1
-38.1499999999...	1
-17.6299999999...	-1

Per assegnare i valori SI ai porti di origine, fare clic sull'icona " " e aggiungere un campo. Impostare il nome come "SI_Port", il tipo come "Integer" e fare clic su OK. Successivamente, fare clic sull'icona " " e digitare "Port is NULL" per selezionare le entità situate al di fuori del buffer. Per inserire il valore SI corrispondente, selezionare la colonna "SI_Port", digitare "0" nella casella e fare clic su "Update Selected". Infine, completare i restanti valori SI facendo clic sull'icona " ", digitando "1" nella casella e facendo clic su "Update Selected" (Figura 34).

FIGURA 34
Aggiornamento dei valori dell'indice di idoneità in QGIS



In questo scenario, è necessario incorporare nella tabella degli attributi solo questi due parametri (batimetria e porti), poiché le concessioni per l'acquacoltura e le aree di habitat sensibili sono già state escluse e la griglia rimanente assegnerebbe un SI pari a 1. Pertanto, non essendoci altri valori SI da assegnare, è possibile utilizzare solo SI_Depth e SI_Port per stimare rispettivamente i valori DC e K.

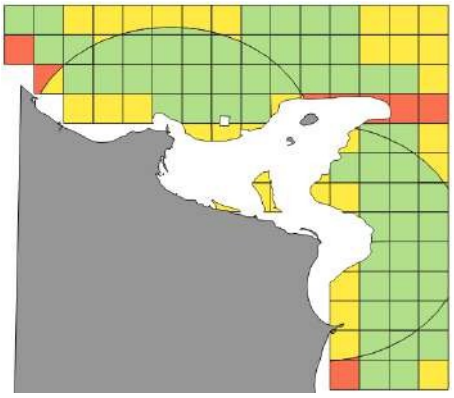
Stima del grado di compatibilità

Il DC può essere stimato utilizzando il Calcolatore di campo. Innanzitutto, creare un nuovo campo e impostare il nome del campo di output come "SI_Depth" e il tipo di campo di output come "Intero". Successivamente, digitare la seguente espressione e selezionare OK:

```
100*(((SI_Depth*9)+(SI_Port*5))/(9+5))
```

La colonna risultante mostra valori compresi tra −10 000 e 100 che possono essere utilizzati per identificare aree non idonee, aree con particolari restrizioni e aree idonee (Figura 35).

FIGURA 35
Categorizzazione delle aree in base al grado di compatibilità

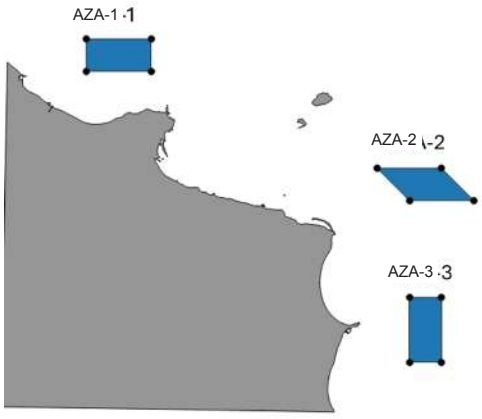


Valore	DC	Valutazione finale
DC < −30	Bassa	Aree non idonee
−30 ≤ DC ≤ 30	Media	Aree con particolari restrizioni
30 < DC < 100	Elevato	Aree idonee

Nota: Grado di compatibilità (DC).

All'interno delle aree idonee, gli esperti possono proporre diverse AZA in cui è possibile sviluppare l'allevamento di pesci (Figura 36).

FIGURA 36
Delimitazione delle potenziali zone assegnate all'acquacoltura



AZA	N	Latitudine	Longitudine
AZA-1	1	35,874997°	10,729170°
	2	35,874997°	10,812503°
	3	35,833330°	10,729170°
	4	35,833330°	10,812503°
AZA-2	5	35,708330°	11,104170°
	6	35,708330°	11,187503°
	7	35,666663°	11,145837°
	8	35,666663°	11,229170°
AZA-3	9	35,541663°	11,145837°
	10	35,541663°	11,187503°
	11	35,458330°	11,145837°
	12	35,458330°	11,187503°

Nota: Zona destinata all'acquacoltura (AZA).

Secondo Macias *et al.* (2019), nella determinazione del numero di impianti di acquacoltura da assegnare all'interno di ciascuna AZA occorre considerare altri aspetti. Questi riguardano principalmente la stima delle capacità di carico (produttive, ambientali e socioeconomiche), che consente di stabilire una produzione massima e quindi di determinare il livello di occupazione dell'AZA. Inoltre, nell'ambito del piano di gestione dell'AZA e al fine di garantire la sostenibilità ambientale, le autorità e le imprese del settore dell'acquacoltura dovrebbero sviluppare e attuare un Piano di gestione ambientale (EMP). Queste azioni vengono condotte nell'ambito della fase sei, che non è inclusa nel presente manuale a causa dell'elevato numero di passaggi da seguire in base alla metodologia applicata e al contesto giuridico. Ulteriori informazioni sono disponibili in Macias *et al.* (2019).

4.3 Identificazione delle zone destinate all'acquacoltura mediante il software R

Questa sezione descrive il processo metodologico per estrarre i dati relativi alla temperatura della superficie del mare dai dati satellitari prodotti dal programma Copernicus Marine Service. I dati vengono estratti per un punto situato nel Golfo di Oristano (Sardegna, Italia), nel Mediterraneo centrale.[6]

Per l'analisi dei dati, la modellizzazione statistica e la rappresentazione grafica viene utilizzato l'ambiente software open source R. È possibile scaricarlo dalla pagina web R CRAN (The R Foundation, 2024) e utilizzarlo insieme a un altro software, denominato RStudio, che è un ambiente di sviluppo integrato progettato specificamente per il linguaggio di programmazione R. RStudio offre un'interfaccia intuitiva che semplifica la scrittura, l'esecuzione e la gestione del codice R e può essere scaricato dal sito web di Posit (Posit, 2024).

4.3.1 Interfaccia del software RStudio

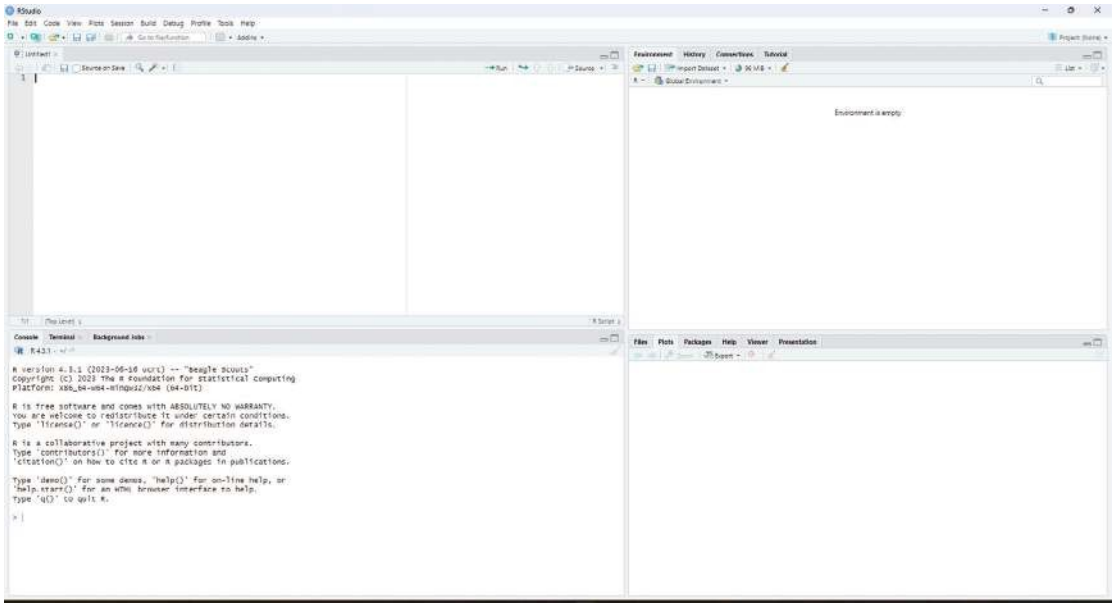
Una volta installati R e RStudio, l'utente deve aprire solo RStudio (Figura 37). La sua interfaccia è suddivisa in diversi pannelli progettati per ottimizzare il flusso di lavoro di programmazione in R, fornendo un ambiente integrato per la codifica, l'analisi dei dati e la visualizzazione. Ogni pannello può essere ridimensionato, riorganizzato o persino staccato come finestra separata in base alle preferenze dell'utente.

I pannelli principali di RStudio sono i seguenti:

- Editor di codice, che consente all'utente di scrivere, salvare, aprire e modificare il codice R. Selezionando una o più righe, l'utente può eseguire il codice e il comando.
- Console, che consente all'utente di visualizzare il codice eseguito o di scrivere ed eseguire direttamente il codice senza salvarlo.
- Pannello Ambiente, che consente all'utente di visualizzare gli oggetti caricati nell'area di lavoro di R (ad es. raster, shapefile, dataframe).
- Pannello Cronologia, che consente all'utente di visualizzare la cronologia dei comandi.
- Pannello "File", che consente all'utente di navigare tra le cartelle e i file.
- Pannello Grafici, che consente all'utente di visualizzare le mappe e i grafici generati.
- Pannello Pacchetti, che fornisce strumenti per la gestione dei pacchetti R e consente all'utente di installare, aggiornare e caricare i pacchetti.
- Pannello "Aiuto", che consente all'utente di trovare documentazione e assistenza per l'utilizzo dei pacchetti R.

[6] Le informazioni e i dati utilizzati per questo caso di studio sono stati creati per la Scuola Scientifica sulla Pianificazione Spaziale Costiera e lo Sviluppo Sostenibile dell'Acquacoltura tenutasi nel 2021 e organizzata dalla Fondazione Centro Marino Internazionale in collaborazione con l'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche e l'Istituto per lo Studio degli Impatti Antropogenici e della Sostenibilità nell'Ambiente Marino del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IMC, 2021).

FIGURA 37
Interfaccia di RStudio



4.3.2 Utilizzo di R e RStudio per l'estrazione dei dati satellitari

I dati satellitari, molto utili per la definizione delle AZA, possono essere aperti, visualizzati e manipolati utilizzando R e RStudio, a condizione che siano in formato NetCDF. Per accedere a questi dati in R, è necessario installare due pacchetti R (ulteriori pacchetti R sono disponibili nell'Allegato 3): ncdf4 e raster. Per installare un nuovo pacchetto in RStudio, utilizzare l'interfaccia di RStudio, il pannello dei pacchetti o la console, digitando ed eseguendo il seguente codice:

```
install.packages("raster", dependencies = TRUE) install.packages("ncdf4", dependencies =
TRUE)
```

Dopo aver installato un pacchetto, è sufficiente caricarlo una sola volta per sessione utilizzando la funzione library() e digitando ed eseguendo il seguente codice nella console:

```
library(raster) library(ncdf4)
```

Successivamente, impostare la directory di lavoro in cui si trovano i file NetCDF eseguendo il codice seguente, in cui l'utente deve specificare il percorso esatto (il simbolo "#" indica un commento):

```
setwd("C://Users/user/Desktop/Satellite_data/") # imposta la directory di lavoro
```

Per leggere il file NetCDF in RStudio e caricarlo nell'ambiente RStudio, eseguire il seguente codice:

```
sst = stack("SST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004_c_V2_2022.nc") # NOME DEL FILE.nc
```

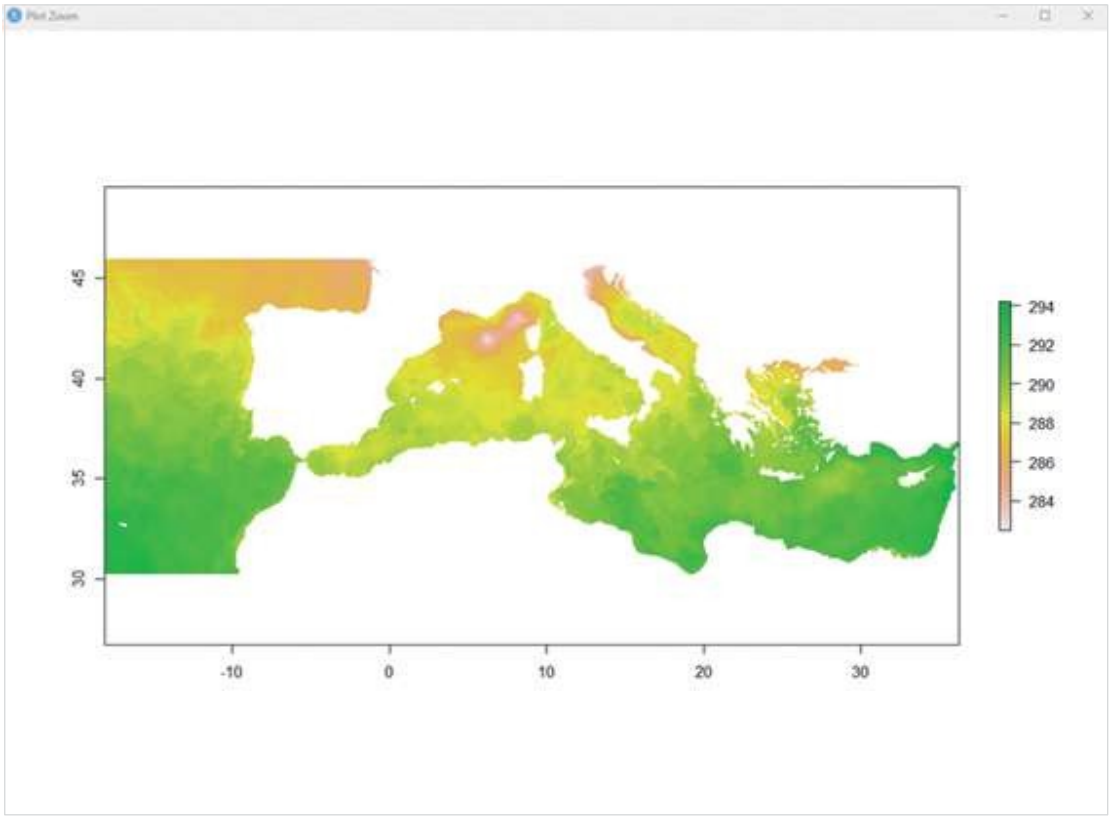
Considerando che, in questo caso specifico, l'unità di misura della temperatura è il Kelvin, convertirla in gradi Celsius sottraendo 273,15 dall'oggetto della temperatura superficiale del mare come segue:

```
sst_C=sst-273,15
```

Va notato che questo specifico file NetCDF contiene una sola variabile, la temperatura della superficie del mare (Figura 38), con diverse bande corrispondenti ai giorni del 2022. Per visualizzare il primo giorno, eseguire il seguente codice:

```
plot(sst_C[[1]])
```

FIGURA 38
Temperature della superficie del mare visualizzate in RStudio



Per calcolare la temperatura media della superficie del mare per il 2022, eseguire il seguente codice:

```
sst_mean = mean(sst_C)
```

Questa funzione crea un nuovo file, in questo caso un file raster, all'interno dell'ambiente RStudio. Tuttavia, poiché si tratta di un file temporaneo, è necessario il seguente codice per salvare il risultato della temperatura media della superficie del mare:

```
writeRaster(sst_mean, "sst_mean.tif")
```

Il file “sst_mean” viene salvato come file Geotiff nella directory di lavoro precedentemente dichiarata.

Per estrarre il valore della temperatura superficiale del mare da un punto spaziale, è necessario definire prima le coordinate creando due nuovi oggetti, x e y, con i valori di longitudine e latitudine. Ad esempio:

```
x = 8,48877
y = 39,82915
```

Sulla base di queste coordinate, è possibile creare un nuovo oggetto e spazializzarlo per trasformarlo in uno shapefile utilizzando il seguente codice:

```
xy = rbind(c(x, y)) point =
SpatialPoints(xy)
```

Successivamente, è possibile eseguire il codice seguente per estrarre la temperatura della superficie del mare alle coordinate specificate in precedenza:

```
data=extract(sst_C, point)
```

Questa funzione crea un dataframe – una struttura di dati bidimensionale etichettata, simile a un foglio di calcolo, comunemente utilizzata in programmazione per organizzare i dati in righe e colonne – con una riga, il punto spaziale, e una colonna per ogni giorno estratto. Se lo si desidera, è possibile trasporre questo dataframe per scambiare le righe e le colonne eseguendo il seguente codice:

```
data2=t(data)
```

Infine, salvare il file in formato csv nella directory di lavoro utilizzando il seguente codice: write.csv(data2,"SST_data.csv”)

4.3.3 Estrazione dei dati satellitari con QGIS

I dati satellitari vengono archiviati e distribuiti in file NetCDF grazie ai vantaggi offerti da questo formato nella gestione di dati scientifici multidimensionali, tra cui la capacità di memorizzare vari tipi di dati, metadati e strutture gerarchiche. Questi file sono progettati per essere autodescrittivi, consentendo agli utenti di comprendere il contenuto e la struttura dei dati senza bisogno di documentazione esterna.

Per aprire un file NetCDF in QGIS, fare clic su “Aggiungi livello raster” (che si trova in Livello > Aggiungi livello), selezionare la variabile del set di dati da caricare (Figura 39) e definire il sistema di coordinate, solitamente WGS84, quindi fare clic su “Aggiungi” (Figura 40). Se il file importato presenta una componente temporale, ciascuna banda rappresenta un diverso passo successivo nella serie temporale (ad esempio, giorni o mesi successivi).

FIGURA 39
Selezione di una variabile da un file Network Common Data Form in QGIS

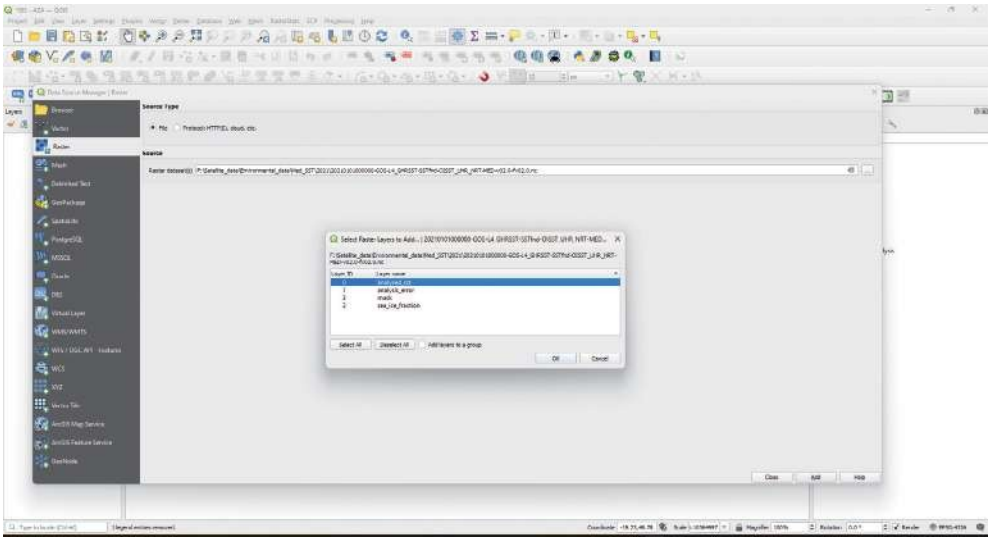
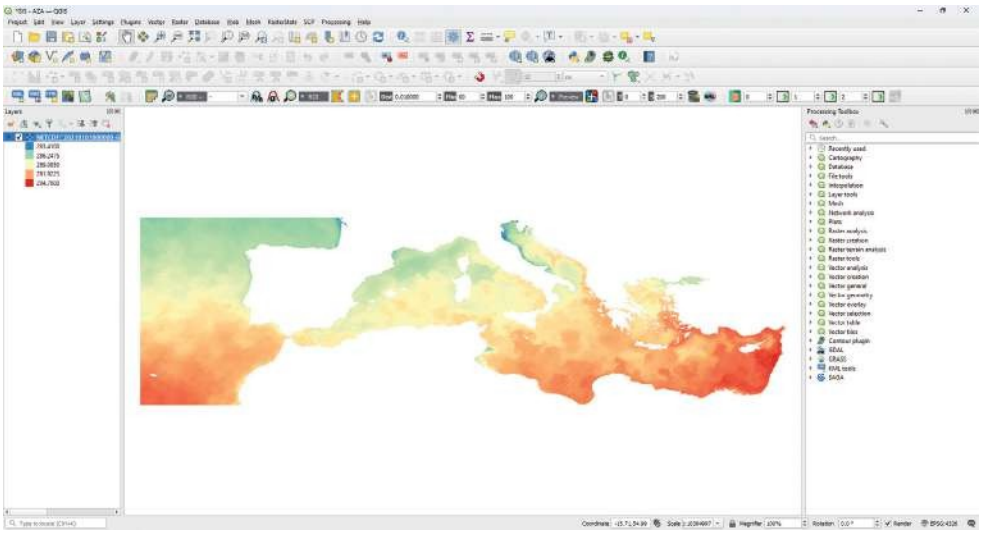


FIGURA 40
Temperature della superficie del mare visualizzate in QGIS



Diversi plugin per QGIS sono disponibili tramite un repository e possono essere facilmente installati in QGIS. Per estrarre i dati satellitari in un punto specifico, è possibile utilizzare il plugin "Sampling Point Sampling Tool". Questo plugin consente di selezionare uno shapefile, che rappresenta i punti spaziali e le bande del file NetCDF. I dati estratti possono essere esportati direttamente e salvati in formato .csv. Successivamente, i dati estratti possono essere elaborati o rappresentati graficamente in ciascun punto lungo l'intervallo di tempo considerato.

Inoltre, direttamente in QGIS, è possibile utilizzare il calcolatore raster per stimare indicatori statistici su un periodo di tempo, quali la media, il novantesimo percentile e la varianza, ottenendo così criteri importanti da utilizzare in un'analisi spaziale multicriteriale nell'ambito del processo di identificazione delle AZA.

5. Componenti e software del sistema informativo geografico

5.1 Componenti

Come brevemente descritto nel Capitolo 1 e nella Figura 5, il GIS può essere suddiviso in diversi componenti essenziali, ciascuno dei quali svolge un ruolo cruciale nella funzionalità complessiva del GIS e consente agli utenti di lavorare efficacemente con le informazioni geografiche. La Tabella 6 fornisce una chiara suddivisione di questi componenti e delle rispettive funzioni.

TABELLA 6

Componenti e funzioni del sistema informativo geografico

Componente	Funzione
Hardware	Fornisce l'infrastruttura fisica, inclusi computer, server, , dispositivi di archiviazione e periferiche.
Software	Offrire strumenti per l'acquisizione, l'archiviazione, l'analisi, la visualizzazione, la modifica, la condivisione, interrogazione ed elaborazione geografica.
Utente	Definire gli obiettivi, interpretare le analisi, prendere decisioni, garantire l' , progettano e implementano flussi di lavoro.
Acquisi Acquisizione zione	Acquisizione di informazioni geografiche tramite la raccolta di dati spaziali e attributivi da varie fonti (ad es. sistema di posizionamento globale, telerilevamento, rilievi, banche dati).
Acquisi Archiviazione zione	Organizzare e gestire i dati in database o file strutturati per un'efficiente recupero e interrogazione.
Acquisi Analisi zione	Ricavare approfondimenti tramite analisi spaziali (ad es. sovrapposizione, prossimità), analisi statistica , modellizzazione e previsioni.
Acquisi Visualizzazione zione	Visualizza i dati geografici sotto forma di mappe, tabelle e grafici con simboli, etichette e mappe tematiche.
Acquisi Modifica zione	Modifica i dati aggiungendo, eliminando, correggendo e aggiornando gli elementi e informazioni sugli attributi.
Acquisi condivisione zione	Facilitare la condivisione e la collaborazione pubblicando mappe e dati per utenti interni ed esterni tramite varie piattaforme.
Interrogazione geospaziali	Formulare domande specifiche in base alla posizione e agli attributi, recuperare informazioni che soddisfino criteri specifici.
Elaborazione geospaziale	Calcolare distanze, vicini più prossimi, aree cuscinetto e aggregare dati, tra le altre cose.

5.2 Software

Secondo Meaden e Aguilar-Manjarrez (a cura di, 2013), una volta definiti l'ambito e gli obiettivi dello studio, nonché l'architettura del sistema, occorre prestare attenzione alla scelta del software GIS (Tabella 7). La scelta dipenderà dalla disponibilità e dal tipo di dati, dalle competenze e dal livello di conoscenza degli utenti, nonché dal budget a disposizione. È importante che la scelta del software GIS sia in linea con gli obiettivi e le esigenze di ciascun esperto nel corso del progetto di pianificazione spaziale dell'acquacoltura.

TABELLA 7

Software di sistemi informativi geografici utilizzati per l'acquacoltura

Software	Tipo	Accessibilità	Applicazione	Sviluppatore	Competenze complementari	Software complementare	Facilità d'uso
Google Earth	Desktop/ esplorazione web basati	Gratuito	Visualizzazione e esplorazione delle dati grafici	Google	Conoscenze di base di GIS, competenze di mappatura web-based	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Elevata
uDig	Desktop	Open open	GIS di facile utilizzo applicazione	Eclipse Foundation	Funzionamento generale del GIS, gestione dei dati	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Elevata
Carto	Web- basati	Commerciale	Mappatura web e dati visualizzazione	Carto	Mappatura web, dati visualizzazione	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Elevata
Laurea	Web- basati	Commerciale	Analisi dei dati spaziali e visualizzazione	Laurea	Analisi dei dati, spaziale visualizzazione	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Elevata
Mapbox	Web- basati	Commerciale	Piattaforma di mappatura web per la creazione di mappe personalizzate e applicazioni	Mapbox	Mappatura web sviluppo e personalizzazione	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Elevata
QGIS	Desktop	Open open	GIS per uso generico con una vasta gamma di plugin	QGIS Sviluppo Team	Funzionamento generale del GIS, gestione dei dati, Scripting in Python	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Elevata
HOMER GIS	Desktop	Commerciale	Settore marittimo e dell'acquacoltura applicazioni	EOMAP GmbH	Conoscenza del settore marittimo e scienze dell'acquacoltura e telerilevamento	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
Manifold	Desktop	Commerciale	Dati GIS avanzati visualizzazione e analisi	Manifold Software	Analisi GIS avanzate , programmazione (Python, SQL)	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
OpenStreetMap (OSM)	Web- basati	Open open	Piattaforma di mappatura aperta per la condivisione dei dati	OpenStreetMap Mappatura	Contributi ai dati OSM, mappatura web	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
ENVI	Desktop	Commerciale	Telerilevamento e analisi delle immagini integrazione con i GIS	Harris Geospaziale	Competenze nel telerilevamento, elaborazione delle immagini	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
GeoMedia	Desktop	Commerciale	Gestione dei dati e Analisi per l'acquacoltura	Hexagon	Gestione dei dati, Conoscenza di SQL	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
TerrSet (precedentemente IDRISI)	Desktop	Commerciale	Ambiente e territorio analisi d'uso	Clark Labs, Clark University	Analisi ambientale competenze, uso del territorio modellazione, programmazione (Python, R)	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
SAS GIS	Desktop	Commerciale	Statistica e spaziale Analisi per l'acquacoltura	SAS Institute	Analisi statistica, programmazione (SAS, Python, R)	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
ILWIS	Desktop	Open open	GIS e telerilevamento per l'acquacoltura	ITC, Università di Twente	Telerilevamento conoscenze, acquacoltura fonti di dati, analisi spaziale	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
Global Mapper	Desktop	Commerciale	Funzionalità 3D per la progettazione di siti selezione e analisi	Blue Marble Geographics	Funzionamento generale del GIS, Competenze nella modellazione 3D	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
Surfer	Desktop	Commerciale	Mappatura dei contorni e Visualizzazione di superfici 3D	Golden Software	Visualizzazione 3D, mappatura delle curve di livello Competenze nella mappatura	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
R (con GIS pacchetti)	Desktop	Open open	Analisi spaziale con R linguaggio di programmazione	Comunità R	Analisi statistica, programmazione (Python, R)	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
MapInfo Professionale	Desktop	Commerciale	Dati spaziali gestione e analisi	Pitney Bowes Software	Gestione dei dati, SQL conoscenza	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato
ArcGIS	Desktop	Commerciale	Specifico per l'acquacoltura strumenti e modelli	Esri	Conoscenza di pratiche di acquacoltura e	Microsoft Excel, Apache	Competenze di livello moderato fino a un livello

					fonti di dati GIS, dati gestione	OpenOffice, ArcMap, ArcPro	elevato
gvSIG	Desktop	Open open	GIS per uso generico con un'interfaccia intuitiva interfaccia	gvSIG Associazione	Funzionamento generale del GIS, gestione dei dati	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Competenze di livello moderato fino a un livello elevato

Software	Tipo	Accessibilità	Applicazione	Sviluppatore	Competenze complementari	Software complementare	Facilità d'uso
MapWindow GIS	Desktop	Piattaforma GIS aperta sorgente	Piattaforma GIS espandibile con plug-in	MapWindow Comunità	Competenze generali in materia di GIS, gestione dei dati	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Moderata fino a
SAGA GIS	Desktop	Piattaforma GIS aperta sorgente	Analisi del terreno e applicazioni idrologiche	SAGA GIS Comunità	Competenze nell'analisi del terreno, modellazione idrologica competenze	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Moderata fino a
GIS Cloud	Web-basato	Commerciale	GIS basato su cloud per condivisione dei dati e gestione collaborativa collaborazione	GIS Cloud	GIS basato su cloud , collaborazione	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Moderata fino a
MapServer	Web-basato	Piattaforma GIS aperta sorgente	Sviluppo open-source ambiente di per la creazione di mappe web applicazioni di ping	OSGeo	Applicazione di mappatura web sviluppo, programmazione (Python, JavaScript)	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Moderata fino a
Marxan GIS	Desktop	Piattaforma GIS aperta sorgente	Pianificazione della conservazione e analisi spaziale	Marxan	Biologia della conservazione conoscenze, analisi spaziale , programmazione (Python, R)	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Moderata fino a
GeoServer	Web-basato	Piattaforma GIS aperta sorgente	Server open source per la condivisione programmazione di dati geospaziali	OSGeo	Amministrazione del server, condivisione di dati geospaziali, (Java)	Microsoft Excel, Apache OpenOffice	Moderata fino a

I servizi di catalogo consentono la pubblicazione e la ricerca di informazioni descrittive, note anche come metadati, relative a dati, servizi e oggetti informativi associati. I metadati presenti nei cataloghi riflettono le caratteristiche delle risorse che possono essere interrogate e fornite agli utenti e al software per la valutazione e l'ulteriore elaborazione. Di seguito sono elencati e descritti alcuni servizi di catalogo dei metadati e gli strumenti correlati.

- **CatMDEdit**: strumento open source progettato per creare e modificare record di metadati utilizzando vari standard di metadati.
- **Geospatial Data Abstraction Library**: libreria di formati di dati geospaziali che può facilitare le conversioni di formato dei dati e l'estrazione dei metadati.
- **GeoBatch**: strumento per l'elaborazione in batch di dati geospaziali, incentrato sull'elaborazione dei dati, che può essere utilizzato nei flussi di lavoro dei metadati per la preparazione dei dati.
- **GeoNetwork**: servizio di catalogo di metadati geospaziali open source che consente alle organizzazioni di creare, gestire e condividere record di metadati geospaziali.
- **GeoScript**: libreria di script per lavorare con dati geospaziali in vari linguaggi di programmazione, utilizzabile per sviluppare soluzioni personalizzate di gestione dei metadati.
- **GeoTools**: libreria Java open source che facilita l'elaborazione e la gestione dei dati geospaziali e include strumenti per lavorare con i metadati.
- **JTS Topology Suite**: libreria Java per lavorare con oggetti geometrici bidimensionali, utilizzabile nell'elaborazione dei dati geospaziali e, potenzialmente, nella generazione di metadati.
- **Mapnik**: toolkit open source per il rendering di mappe di alta qualità, integrabile nei flussi di lavoro di pubblicazione dei metadati.
- **Sextante**: libreria di analisi geospaziale integrabile con software GIS come QGIS, che include strumenti per la gestione dei metadati e l'analisi geospaziale.
- **Shapely**: libreria Python per operazioni geometriche, utilizzabile per la manipolazione dei dati geospaziali all'interno dei flussi di lavoro relativi ai metadati.

È possibile utilizzare diversi set di dati open source per scaricare dati georeferenziati e satellitari. L'elenco di tali set di dati è riassunto nell'Allegato 2. L'Allegato 3 descrive alcuni dei pacchetti R utili per importare, elaborare, analizzare e visualizzare i dati precedentemente scaricati dai set di dati open source.

Conclusioni e raccomandazioni

L'uso del GIS nella pianificazione e nella gestione dell'acquacoltura offre strumenti per migliorare l'organizzazione e la crescita sostenibile dell'attività. I sistemi informativi geografici sono considerati strumenti utili per l'analisi spaziale e contribuiscono a sostenere lo sviluppo sostenibile dell'acquacoltura. Per sfruttare appieno il potenziale del GIS, si raccomandano le seguenti misure:

- Creare un team tecnico specializzato in GIS che collabori con l'amministrazione e i centri di ricerca.
- Definire gli scopi e gli obiettivi dello studio.
- Selezionare un software di facile utilizzo ed economico (preferibilmente gratuito), come QGIS o gvSIG.
- Partecipare a corsi di formazione specifici sui GIS.
- Effettuare una ricerca di informazioni e dati spaziali sugli usi e sulle attività costiere.
- Avviare progetti e studi per generare dati spaziali sulle condizioni ambientali dell'area di studio.

Infine, la metodologia applicata in questo manuale si basa sulle fasi di definizione delle AZA descritte in Macias *et al.* (2019) e FAO (2019). Oltre a descrivere ciascuna fase, queste pubblicazioni definiscono i concetti di base, nonché i parametri (amministrativi, ambientali e socioeconomici) necessari per identificare le AZA e sono pertanto letture consigliate.

Riferimenti bibliografici

Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D. & Brummett, R. 2017. *Zonizzazione dell'acquacoltura, selezione dei siti e gestione delle aree nell'ambito dell'approccio ecosistemico*. Un manuale. Roma, FAO e Washington, DC, Gruppo della Banca Mondiale.

Brigolin, D., Lourguioui, H., Taji, M. A., Venier, C., Mangin, A. & Pastres, R. 2015. Assegnazione dello spazio per l'acquacoltura costiera nel Nord Africa: limiti dei dati, esigenze del settore e questioni di conservazione. *Ocean Coastal Management*, 116: 89–97.

Brigolin, D., Porporato, E. M. D., Prioli, G. & Pastres, R. 2017. Creare spazio per la molluschicoltura lungo la costa adriatica. *ICES Journal of Marine Science*, 74: 1540–1551.

Caldow, C., Monaco, M.E., Pittman, S.J., Kendall, M.S., Goedeke, T.L., Menza, C., Kinlan, B.P. & Costa, B.M. 2015. Valutazioni biogeografiche: un quadro di riferimento per la sintesi delle informazioni nella pianificazione spaziale marina. *Marine Policy*, 51: 423–432.

Chopin, T. 2013. Acquacoltura multitrofica integrata: un concetto antico e flessibile incentrato sull'integrazione ecologica. *Global Aquaculture Advocate*, 16: 16–19.

Copernicus. 2024. Copernicus. Bruxelles, Commissione europea. [Consultato il 19 marzo 2024]. https://www.copernicus.eu/en

Copernicus Marine Service. 2024. Copernicus Marine Service. Bruxelles, Commissione europea. [Consultato il 20 marzo 2024]. https://marine.copernicus.eu/

Del Castillo y Rey, F. & Macías, J.C. 2006. *Aree di interesse per lo sviluppo dell'acquacoltura sul litorale andaluso*. Siviglia, Spagna, Ministero dell'Agricoltura e della Pesca.

Dempsey, C. 2011. Che cos'è il GIS? In: *GIS lounge*. Santa Clara, USA, GIS lounge. [Consultato il 16 agosto 2019]. https://www.gislounge.com/what-is-gis/

Dozier, J. 1980. *Algoritmo migliorato per il calcolo delle coordinate UTM e geodetiche*. Rapporto tecnico NOAA NESS 81. Washington, DC, Amministrazione Nazionale Oceanica e Atmosferica.

EPC. 2014. Direttiva 2014/89/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 luglio 2014, che istituisce un quadro per la pianificazione dello spazio marittimo. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, 257: 135–145.

EPSG.io. 2024. *Sistemi di coordinate in tutto il mondo*. Zugo, Svizzera, MapTiler. [Consultato il 26 marzo 2024]. https://epsg.io/

FAO. 1999. *Linee guida per la raccolta sistematica dei dati sulla pesca di cattura. Elaborate in occasione della consultazione di esperti FAO/DANIDA. Bangkok, Thailandia, 18–30 maggio 1998*. Documento tecnico della FAO sulla pesca. N. 382. Roma. fao.org/documents/card/es/c/3c36e740-5be5-515d-892d-da3e36b7a0e4

FAO. 2019. *Toolkit sulle zone assegnate per l'acquacoltura: benefici, attuazione e gestione*. Roma. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ ca5736en

FAO. 2022. *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nel mondo 2022. Verso la trasformazione blu*. Roma. https://doi.org/10.4060/cc0461en

Filgueira, R., Comeau, L. A., Guyondet, T., McKindsey, C. W. & Byron, C. J. 2015. Modellizzazione della capacità di carico dell'acquacoltura dei bivalvi: una rassegna delle definizioni e dei metodi. In: R.A. Meyers, a cura di. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, pp. 1–33. New York, USA, Springer Science.

GEBCO. 2024. GEBCO. Liverpool, Regno Unito. [Consultato il 17 gennaio 2024].www.gebco.net/ **Gernez, P., Barillé, L., Lerouxel, A., Mazeran, C., Lucas, A. & Doxaran, D.**
2014. Telerilevamento del particolato sospeso in ecosistemi torbidi di ostricoltura. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, 119: 7277–7294.

Gernez, P., Doxaran, D. & Barillé, L. 2017. L'acquacoltura dei molluschi vista dallo spazio: il potenziale di Sentinel-2 nel monitoraggio delle variazioni indotte dalle maree relative alla torbidità, alla concentrazione di clorofilla e alla risposta fisiologica delle ostriche su scala di un allevamento di ostriche. *Frontiers in Marine Science*, 4: 137.

GFCM. 2020. Corsi online sull'uso dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) nella definizione delle Zone Assegnate all'Acquacoltura (AZA). In: *Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo.* Roma. [Consultato il 21 marzo 2024]. https://www. fao.org/gfcm/news/detail/en/c/1329186/

GFCM. 2021. Modulo due | Corso online sull'uso dei Sistemi Informativi Geografici nella definizione delle Zone Assegnate all'Acquacoltura. In: *Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo.* Roma. [Consultato il 21 marzo 2024]. https:// www.fao.org/gfcm/news/detail/en/c/1457895/

GFCM. 2022. *Compendio delle decisioni della GFCM*. Versione rivista 6.0. Roma. https:// gfcm.sharepoint.com/:b:/s/KnowledgeManagement/ER_3LPdRcfJHnvaTXEBHx 4sBC7mY3PzzKFETu04_vsVY4w?e=nYy8dZ

Huisman, O., & de By, R.A., a cura di. 2009. *Principi dei sistemi informativi geografici: un manuale introduttivo*. Enschede, Regno dei Paesi Bassi, Istituto Internazionale per le Scienze della Geoinformazione e l'Osservazione della Terra.

IMC. 2021. PISCAS – *Scuola scientifica.* Oristano, Italia. [Consultato il 26 marzo 2024]. www.imcscientificschool.com/en/scientific-school/piscas-scientific-school/

IUCN. 2017. *Acquacoltura e aree marine protette: analisi delle potenziali opportunità e sinergie*. Gland, Svizzera e Malaga, Spagna, IUCN.

Johnston, C.A. 1998. *Sistemi informativi geografici in ecologia*. Oxford, Regno Unito, Blackwell Science.

Kapetsky, J.M., Aguilar-Manjarrez, J. & Jenness, J. 2013. *Una valutazione globale del potenziale di sviluppo della maricoltura offshore da una prospettiva spaziale*. Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 549. Roma, FAO. https:// openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3100e

Kapetsky, J.M., Hill, J.M., Worthy, L.D. & Evans, D.L. 1990. Valutazione del potenziale di sviluppo dell'acquacoltura con un sistema informativo geografico. *Journal of the World Aquaculture Society*, 21: 241–249.

Karakassis, I., Papageorgiou, N., Kalantzi, I., Sevastou, K. & Koutsikopoulos, C. 2013. Adattamento della produzione ittica alle caratteristiche ambientali degli ecosistemi marini ricettori: un indicatore della capacità di carico. *Aquaculture*, 408: 184–190.

Kessler, F.C., Battersby, S.E., Finn, M.P. & Clarke, K.C. 2017. Proiezioni cartografiche e Internet. In: M. Lapaine & E.L. Usery, a cura di. *Choosing a Map Projection*,
pp. 117–148. Berlino, Springer Science and Business Media.

Macias, J.C., Del Castillo, F., Villarías, R.M. & Gaitero, J.M. 2005. Zone di interesse per le colture marine: identificazione e gestione per lo sviluppo ordinato dell'acquacoltura in Andalusia. *Bollettino dell'Istituto Spagnolo di Oceanografia*, 2005: 47–56.

Macias, J.C., Avila Zaragozá, P., Karakassis, I., Sanchez-Jerez, P., Massa, F., Fezzardi, D., Yücel Gier, G., Franičević, V., Borg, J.A., Chapela Pérez, R.M., Tomassetti, P., Angel, D.L., Marino, G., Nhhala, H., Hamza, H., Carmignac, C. & Fourdain, L. 2019. *Zone destinate all'acquacoltura: una guida per l'istituzione di zone costiere dedicate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero*. Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo. Studi e Rassegne. N. 97. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca7041en

Massa, F., Onofri, L. e Fezzardi, D. 2017. L'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero: una prospettiva di "Crescita blu". In: P.A.L.D. Nunes, L.E. Svensson e
A. Markandya, a cura di. *Manuale di economia e gestione degli oceani sostenibili,* pp. 93–123. Cheltenham, Regno Unito, Edward Elgar Publishing.

Meaden, G.J., Aguilar-Manjarrez, J., Corner, R.A., O'Hagan, A.M. e Cardia, F. 2016. *Pianificazione dello spazio marino per una maggiore sostenibilità della pesca e dell'acquacoltura – la sua applicazione nel Vicino Oriente*. Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 604. Roma, FAO.

Meaden, G.J. e Aguilar-Manjarrez, J., a cura di. 2013. *Progressi nei sistemi informativi geografici e nel telerilevamento per la pesca e l'acquacoltura.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 552. Roma, FAO.

Nath, S. S., Bolte, J. P., Ross, L. G. & Aguilar-Manjarrez, J. 2000. Applicazioni dei sistemi informativi geografici (GIS) per il supporto decisionale spaziale nell'acquacoltura. *Aquacultural Engineering,* 23, 233–278.

Nautical Charts Online. 2024. *Nautical Charts Online.* Saint Paul, USA. [Consultato il 26 marzo 2024]. www.nauticalchartsonline.com/

Porporato, E. M., Pastres, R. & Brigolin, D. 2020. Idoneità dei siti per l'acquacoltura marina di pesci nel Mediterraneo centrale. *Frontiers in Marine Science,* 6: 772.

Posit. 2024. *Posit.* Boston, USA. [Consultato il 17 gennaio 2024]. http://www.posit.co **QGIS.** 2024a. *QGIS.*
Grüt, Svizzera. [Consultato il 21 marzo 2024]. qgis.org

QGIS. 2024b. *Manuale di formazione QGIS.* Grüt, Svizzera. [Consultato il 26 marzo 2024]. https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/training_manual/index.html

R Core Team. 2022. R: *Un linguaggio e un ambiente per l'elaborazione statistica.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Saitoh, S.-I., Mugo, R., Radiarta, I.N., Asaga, S., Takahashi, F., Hirawake, T., Ishikawa, Y., Awaji, T., In, T. e Shima, S. 2011. Alcuni impieghi operativi del telerilevamento satellitare e dei GIS marini per la pesca e l'acquacoltura sostenibili. **ICES Journal of Marine Science*,* 68: 687–695.

Sanchez-Jerez, P., Karakassis, I., Massa, F., Fezzardi, D., Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D., Chapela, R., Avila, P., Macias, J.C., Tomassetti, P., Marino, G., Borg, J.A., Franičević, V., Yücel-Gier, G., Fleming, I.A., Biao, X., Nhhala, H., Hamza, H., Forcada, A. & Dempster, T. 2016. La lotta dell'acquacoltura per lo spazio: la necessità di una pianificazione territoriale costiera e i potenziali benefici delle Zone Assegnate all'Acquacoltura (AZA) per evitare conflitti e promuovere la sostenibilità. **Aquaculture Environment Interactions*,* 8: 41–54.

Snyder, J.P. 1987. *Proiezioni cartografiche: un manuale operativo.* Documento tecnico n. 1395 dell'U.S. Geological Survey. Washington, DC, Ufficio di stampa del governo degli Stati Uniti.

Stelzenmüller, V., Lee, J., South, A., Foden, J. & Rogers, S.I. 2012. Strumenti pratici a supporto della pianificazione dello spazio marino: una rassegna e alcuni prototipi di strumenti. *Marine Policy,* 38: 214–227.

Stelzenmüller, V., Gimpel A., Gopnik M. & Gee K. 2017. Selezione dei siti per l'acquacoltura e pianificazione dello spazio marino: il ruolo degli strumenti e dei modelli basati sul GIS. In: B. Buck & R. Langan, a cura di. *Prospettiva dell'acquacoltura sui siti multiuso in mare aperto,* pp. 121–148. Berlino, Springer.

The R Foundation. 2024. *The R Project for Statistical Computing.* Vienna. [Consultato il 17 gennaio 2024]. www.r-project.org

Zadeh, M., Ngah, I., Shahabi, H. & Zadeh, E. 2013. Valutazione dei metodi AHP e WLC nella selezione del sito per una discarica (Caso di studio: Amol, Iran settentrionale). *Journal of Basic and Applied Scientific Research,* 3(5): 83–88.

Allegato 1

Esempio di tabella di marcia e piano di lavoro per la zona destinata al processo di insediamento di impianti di acquacoltura

La tabella di marcia e il piano di lavoro dovrebbero essere modificati e adattati a livello nazionale o locale, in base alle capacità di pianificazione (ad esempio, risorse politiche, finanziarie, materiali e umane). La tabella seguente riassume un esempio di calendario della tabella di marcia.

	Fase	Attività	Parti interessate da coinvolgere	Tempistica (mesi)[7]	Totale durata (mesi)
1	Contestualizzazione dell'istituzione processo	Identificazione delle esigenze e degli obiettivi del settore dell'acquacoltura	Decisori, uffici regionali per l'acquacoltura, associazioni di allevatori, allevatori e ricercatori Decisori ed esperti di acquacoltura	1–6	9
		Studio del quadro giuridico e del contesto normativo	Esperti di acquacoltura e associazioni di allevatori		
		Analisi del settore dell'acquacoltura nell'area di studio individuata	Esperti di acquacoltura e responsabili delle decisioni	1–6	
		Definizione dei confini geografici dell'area di studio	Decisori, uffici regionali per l'acquacoltura, associazioni di allevatori, allevatori e ricercatori	1–9	
		Identificazione delle parti interessate rilevanti	Esperti di acquacoltura e ricercatori Esperti di acquacoltura e ricercatori	1–3	
2	Raccolta di informazioni e dati	Selezione dell'ambito di applicazione e dei parametri	Esperti di acquacoltura	1–3	12
		Raccolta dei dati e lavoro sul campo		1–6	
		Definizione dei criteri per analisi spaziale	e ricercatori	3–12	
3	Preselezione dell'AZA	Realizzazione di mappe e relazioni preliminari	Esperti di acquacoltura	4–12	
		Realizzazione di cartografia tematica e relazioni di supporto	Esperti di acquacoltura	9–12	
4	Consulenze e convalide delle aree proposte	Consulenza tramite un approccio partecipativo	Responsabili delle decisioni, acquacoltura uffici regionali, associazioni di allevatori, allevatori e ricercatori Esperti di acquacoltura	13–18 13–24	24
5	Analisi di potenzialità dell'acquacoltura	Attuazione delle misure ambientali studi (ad es. condizioni oceanografiche, dati climatici, qualità dell'acqua)	e dei ricercatori	4–16	30
		Determinazione del contesto socioeconomico	Decisori, acquacoltura regionale uffici, associazioni di allevatori, allevatori e ricercatori	1–6	
		Valutazione del grado di compatibilità	Esperti di acquacoltura	13–24	
		Proposta di AZA e attività di acquacoltura	Esperti di acquacoltura	24–30	

[7] La tempistica può variare da uno studio all'altro e alcune attività possono essere svolte contemporaneamente.

6	Stima della capacità di carico e sviluppo di piani di monitoraggio	Stima delle capacità di carico	Esperti di acquacoltura	31–42	12
		Sviluppo di un piano di gestione dell'AZA	Esperti di acquacoltura	31–42	
		Sviluppo di un piano di monitoraggio ambientale	Esperti di acquacoltura	31–42	
7	Integrazione dell'AZA nel quadro giuridico	Trasposizione della delimitazione e della gestione dell'AZA in un quadro normativo adeguato	Responsabili delle decisioni	42–48	7
Totale					**48**

Nota: la tabella di marcia e il piano di lavoro dovrebbero essere modificati e adattati a livello nazionale o locale, in base alle capacità di pianificazione (ad esempio, risorse politiche, finanziarie, materiali e umane).

Allegato 2

Piattaforme che consentono l'accesso ai dati open source

Per dati open source si intendono i set di dati messi a disposizione del pubblico con una licenza aperta, che consente a chiunque di accedere, utilizzare, modificare e, spesso, ridistribuire i dati. Esistono varie piattaforme e archivi per accedere ai dati open source, quali portali governativi dedicati ai dati, siti web di istituti di ricerca, reti di condivisione dei dati e piattaforme dedicate ai dati aperti. Di seguito è riportato un elenco non esaustivo di banche dati.

Banca dati	Link	Descrizione
Carta batimetrica generale degli oceani	https://gebco.net	Questa banca dati fornisce dati batimetrici, comprese griglie e curve di livello ad alta risoluzione, relativi a tutti gli oceani e i mari del mondo, rendendola preziosa per un'ampia gamma di applicazioni marine e oceanografiche.
Rete europea di osservazione e dati marini	https://emodnet.ec.europa. eu/en	Questa rete offre accesso a dati marini, tra cui batimetria, biologia, chimica, geologia, attività umane, fisica e habitat dei fondali marini. Gli utenti possono scaricare questi dati in vari formati, compresi quelli compatibili con i sistemi GIS e i fogli di calcolo.
Global Fishing Watch	https://globalfishingwatch.org	Questo database fornisce dati ad accesso libero relativi alle attività di pesca, tra cui il tracciamento delle imbarcazioni, i livelli di attività e lo sforzo di pesca sia per la pesca industriale su larga scala che per quella artigianale su piccola scala in tutto il mondo.
Regioni marine	https://marineregions.org	Questo database fornisce informazioni sulle regioni marine e marittime regioni geografiche in tutto il mondo, inclusi nomi e codici standardizzati per le diverse aree marine, i confini marittimi, le acque territoriali e le zone economiche esclusive.
Regioni geografiche Sistema informativo per lo sviluppo e l'ambiente	https://diva-gis.org	Questo pacchetto software GIS gratuito e di facile utilizzo fornisce strumenti per la visualizzazione dei dati, l'analisi e la modellazione spaziale, oltre all'accesso a vari set di dati spaziali gratuiti, quali i confini amministrativi globali, inclusi i confini nazionali e le regioni amministrative.
SeaDataNet	https://seadatanet.org	Questo database offre accesso a dati standardizzati e armonizzati provenienti da varie fonti e comprende, tra l'altro, dati fisici, chimici, biologici e geologici.
Visualizzatore di dati oceanografici	https://data.unep-wcmc.org	Questo database offre la possibilità di visualizzare e scaricare una varietà di set di dati spaziali, compresi quelli relativi alla conservazione, alla gestione e al ripristino della biodiversità marina e costiera.
Set di dati sull'ambiente marino globale	https://gmed.auckland.ac.nz/ index.html	Questa banca dati fornisce livelli climatici, biologici e geofisici relativi alle condizioni ambientali attuali, passate e future.
Database mondiale sulle aree protette	https://protectedplanet. net/en/thematic-areas/ wdpa?tab=WDPA	Questa banca dati, gestita dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente e dall'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura, costituisce una fonte autorevole e aggiornata di informazioni sulle aree protette di tutto il mondo.
Copernicus Marine Servizio	https://marine.copernicus.eu	Questa banca dati fornisce dati oceanografici e sull'ambiente marino completi e di alta qualità relativi al aspetti fisici, chimici e biologici degli oceani del mondo, tra cui la temperatura della superficie del mare, il livello del mare, le correnti oceaniche, la salinità e la concentrazione di clorofilla.
Aspetti fisici, chimici e biologici e all'Earthdata dell'Amministrazione Spaziale	https://earthdata.nasa.gov	Questo database consente l'accesso ai dati di osservazione della Terra raccolti dai satelliti, dagli strumenti e dalle missioni della National Aeronautics and Space Administration, comprese le osservazioni dell'atmosfera, della terraferma, degli oceani e della criosfera.
Copernicus Open Access Hub	https://scihub.copernicus.eu	Questo database, precedentemente noto come Sentinel Hub, è gestito da l'Agenzia Spaziale Europea e fornisce l'accesso ai dati satellitari delle missioni Sentinel con copertura globale.
Le mappe di sintesi del settore dell'acquacoltura nazionale	https://fao.org/fishery/naso-maps/naso-home/en	Questa banca dati è costituita da mappe di Google che mostrano l'ubicazione dei siti di acquacoltura e le loro caratteristiche a livello nazionale, amministrativo e, ove disponibile, a livello di singolo allevamento.

Allegato 3

Pacchetti R per l'identificazione delle zone destinate all'acquacoltura

Sono disponibili diversi pacchetti R per lavorare con i sistemi GIS, i dati satellitari e l'identificazione delle AZA. Questi pacchetti forniscono strumenti e funzioni per l'importazione, l'elaborazione, l'analisi e la visualizzazione dei dati spaziali, comprese le immagini satellitari. Di seguito è riportato un elenco di alcuni dei pacchetti R più utilizzati per i sistemi GIS e i dati satellitari.

Pacchetto R	Link	Breve descrizione
ncdf4	https://cran.r-project.org/web/packages/ncdf4/index.html	Questo pacchetto consente agli utenti di estrarre dati, leggere e scrivere file NetCDF, comunemente utilizzati per l'archiviazione e la condivisione di dati scientifici multidimensionali, tra cui dati satellitari, dati climatici e dati ambientali.
RAC	https://cran.r-project.org/web/packages/RAC/index.html	Questo pacchetto consente agli utenti di simulare il ciclo di allevamento di quattro specie di pesci e molluschi, a livello individuale e a livello di popolazione. I risultati di questo modello possono essere integrato in un'analisi spaziale multicriteriale, a supporto dell' identificazione delle AZA.
raster	https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html	Questo pacchetto fornisce funzioni per la lettura, la manipolazione, visualizzazione e analisi di set di dati raster, inclusi quelli a griglia come immagini satellitari, dati di telerilevamento e dati climatici.
sf	https://cran.r-project.org/web/packages/sf/index.html	Questo pacchetto fornisce una serie completa di strumenti per la gestione dei dati manipolazione, analisi, visualizzazione e integrazione con altri pacchetti R ed è progettato per lavorare con dati semplici , che costituiscono un modo standardizzato di rappresentare e manipolare i dati vettoriali spaziali.
sp	https://cran.r-project.org/web/packages/sp/index.html	Questo pacchetto fornisce classi e funzioni per lavorare con oggetti spaziali, inclusi punti, linee, poligoni e griglie, e per eseguire varie attività di analisi spaziale.
stars	https://cran.r-project.org/web/packages/stars/index.html	Questo pacchetto offre una gestione e un'elaborazione efficienti dei dati e analisi per dati raster multidimensionali, rendendolo adatto ad attività che coinvolgono set di dati su larga scala, immagini satellitari, dati di telerilevamento e altri dati su griglia .
terra	https://cran.r-project.org/web/packages/terra/index.html	Questo pacchetto consente agli utenti di lavorare con dati spaziali, in particolare, set di dati raster su larga scala, come quelli satellitari , dati climatici e dati di telerilevamento.

Lo sviluppo e l'espansione sostenibili dell'acquacoltura nella regione del Mediterraneo e del Mar Nero hanno il potenziale per rafforzare la sicurezza alimentare e apportare benefici socioeconomici, ma dipendono in larga misura dalla disponibilità di spazi adeguati. A questo proposito, le zone destinate all'acquacoltura (AZA) sono considerate strumenti essenziali per l'acquacoltura nella regione, poiché derivano da un processo di zonizzazione basato sulla pianificazione dello spazio marittimo. In questo contesto, l'uso di strumenti di analisi geografica in grado di migliorare l'integrazione di questa attività nelle zone costiere all'interno del processo di pianificazione dello spazio offre grandi vantaggi.

Il presente manuale pratico mira a facilitare la comprensione e l'uso del sistema informativo geografico (GIS) per la pianificazione e la gestione dell'acquacoltura nei paesi del Mediterraneo e del Mar Nero. Concepito come una guida passo a passo per tutti gli attori del settore dell'acquacoltura, accompagna i lettori attraverso il processo di utilizzo di un GIS per la pianificazione spaziale dell'acquacoltura, compresa l'identificazione delle AZA, partendo dalle conoscenze di base del GIS fino alle tecniche avanzate. Introduce il concetto di AZA nell'ambito della pianificazione spaziale marina ed evidenzia l'utilità degli strumenti GIS per la pianificazione spaziale, approfondendo i fondamenti, le componenti e il software dei GIS. Il manuale si conclude con una serie di raccomandazioni per il corretto utilizzo dei GIS nell'analisi spaziale e nello sviluppo sostenibile dell'acquacoltura.

ISBN 978-92-5-139106-8 ISSN 2070-7010

9 789251 391068

CD2378EN/1/04.26