



Università degli Studi di Genova



Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Tesi di Laurea Specialistica in
Scienze Ambientali Marine

Anno Accademico 2006/2007

Sviluppo di un modello matematico per la gestione ambientale dei porticcioli turistici

Jean Mensa

Relatore:

Prof. M. Fabiano

Relatore Esterno:

Dott. P. Vassallo

Correlatori:

Prof. C. N. Bianchi

Prof. P. Povero

Marzo 2008

“¿Si todos los ríos son dulces de dónde saca sal el mar?”

P.Neruda

Indice

I	Obbiettivi	1
II	Parte introduttiva	3
II.1	Principi di ecologia portuale	3
II.1.1	Cos'è l'ecologia portuale?	3
II.1.2	Parametri ecologici dell'ambiente portuale	4
II.1.3	Inquinamento	5
II.1.4	Portualità e Vulnerabilità	12
II.2	I modelli ecologici	13
II.2.1	Modelli come strumenti scientifici	14
II.2.2	Elementi di un modello matematico	14
II.2.3	Verifica, Calibrazione e Validazione	15
II.3	Progetto Pharos	16
II.3.1	Contenuti del progetto PHAROS	16
II.3.2	Obiettivi progetto PHAROS	17
II.3.3	Programma di monitoraggio PHAROS	18
III	Metodologie e tecniche	21
III.1	Strumento software	21
III.1.1	Oggetti e Classi	22
III.1.2	Geometria in Java	22
III.2	Modello Decisionale Multicriterio	24
III.2.1	Modello MADM per Portualità	27
III.2.2	Variabili fuzzy	28
III.2.3	Normalizzazione dei dati	29
III.3	Questionario	30
III.3.1	Scala Likert	30
III.4	Indice di Vulnerabilità	32

IV Parte sperimentale	36
IV.1 Organizzazione dei dati sperimentali	37
IV.1.1 Elaborazione dati sperimentali	37
IV.1.2 Questionario	53
IV.1.3 Vento prevalente	57
IV.2 Perimetro, Superficie e Circolarità	59
IV.2.1 Perimetro.	60
IV.2.2 Superficie	61
IV.2.3 Circolarità	61
IV.2.4 Venti prevalente	62
IV.3 Fonti di Inquinamento	63
IV.3.1 Coefficiente di Intensità	64
IV.3.2 Coefficienti di Dispersione	64
IV.3.3 Programmazione	66
IV.3.4 Normalizzazione	69
IV.4 Bocca di porto	70
IV.4.1 Programmazione	70
IV.5 Tortuosità e Moli	71
IV.5.1 Funzione tortuosità	74
IV.6 Batimetria	77
IV.7 Verifica	80
IV.8 Calibrazione	82
IV.9 Validazione	84
IV.10 Vulnerabilità	88
V Discussione e conclusione	90
Bibliografia	93
Ringraziamenti	98
Strutture portuali	99
.0.1 Definizioni	99
JMarinas	101
.0.2 Screen shots	101

CAPITOLO I

Obbiettivi

Attraverso questa tesi ci si propone di definire e valutare per la prima volta due aspetti considerati di primaria importanza nello studio dell'ecologia portuale: la distribuzione delle aree di **portualità** e la **vulnerabilità** di un porto.

Oggetto dello studio sono i piccoli porti turistici (porti di IV Classe). Questi rappresentano la maggioranza delle strutture portuali presenti in Liguria, e sono molto spesso in stretta vicinanza l'uno con l'altro. La loro importanza nella gestione integrata della fascia costiera è, pertanto, di primaria importanza.

Il prodotto finale della tesi è un modello matematico per la computazione degli indici di portualità e vulnerabilità. Per favorirne l'applicabilità il modello è stato tradotto in un software scritto nel linguaggio JAVA.

Si vuole proporre quindi uno strumento concreto e facile da utilizzare sia da parte delle amministrazioni portuali, per la gestione delle aree portuali, sia dagli istituti di ricerca, come aiuto nella definizione di efficaci strategie di campionamento in area portuale. Il software è stato chiamato JMarinas prendendo, come in uso tra i programmatori, la J di JAVA ed il termine marinas per indicare l'ambito di utilizzo.

Il lavoro si integra all'interno delle attività svolte dal Dip.Te.Ris. nel contesto del progetto PHAROS, per la gestione integrata della costa ligure, con un accordo tra porti turistici, campi da golf, comuni e Regione Liguria, sotto la supervisione della Comunità Europea.

JMarinas deve poter risolvere all'interno di un porto la distribuzione di diversi tipi di inquinanti classificabili in: distrofici, chimici ed igienici sanitari,

come suggerito nello stesso progetto Pharos.

Il modello sviluppato deve poter calcolare il valore di tali variabili per diverse aree del bacino portuale permettendo così di distinguere diverse zone con diversi gradi di “propensione” all’inquinamento (definizione di *portualità*).

Il modello non vuole sostituirsi alle analisi ambientali inquanto non restituisce un’indicazione quantitativa, permette invece di produrre una classificazione relativa delle diverse aree del porto. Questa misura è poi utilizzabile come scala di riferimento per tarate le successive misure strumentali, o come ausilio in un campionamento ragionato.

Per lo studio di *vulnerabilità* del porto si è proceduto invece calcolando l’indice sviluppato in precedenza dal gruppo di ricerca del Prof. Fabiano proposto in bibliografia ([45]) grazie alle misure ricavate dall’interfaccia grafica del software integrate con le informazioni fornite dall’utente.

Il presente lavoro è così articolato:

1. una prima parte di introduzione ai concetti fondamentali utilizzati:
 - ecologia portuale;
 - modellistica ambientale;
 - progetto pharos;
2. una parte di presentazione delle metodologie applicate:
 - modello di analisi multiattributo;
 - uso di questionari di valutazione delle variabili;
 - linguaggio di programmazione JAVA;
3. una parte di presentazione del lavoro sperimentale:
 - elaborazione dati sperimentali;
 - operazioni di: verifica, calibrazione, validazione;
4. un’ultima parte di interpretazione dei risultati.

CAPITOLO II

Parte introduttiva

II.1 Principi di ecologia portuale

II.1.1 Cos'è l'ecologia portuale?

L'ecologia portuale è una branca dell'ecologia che affronta tematiche tipicamente gestionali quali il monitoraggio, la prevenzione ed il recupero ambientale.

Oggetto di questa nuova disciplina è il bacino portuale che non deve essere più considerato come un'area persa per la comunità ma come un bene, una risorsa che, relativamente alle esigenze operative di un porto, deve essere tutelata e se necessario recuperata. Quindi l'ecologia portuale deve in primo luogo fornire gli strumenti scientifici per una gestione delle acque e dei fondi portuali e in secondo luogo deve contribuire alla pianificazione e gestione dell'intero ambiente portuale non ultime le attività e gli usi ad esso connessi.

Le conoscenze sulle caratteristiche ambientali e sulle comunità delle acque portuali sono, nella maggior parte dei casi, occasionali e legate ad una particolare emergenza e comunque non affrontano il problema delle acque portuali in termini sistemici.

Affrontare in termini sistemici l'ecosistema portuale vuol dire analizzare le diverse componenti fisiche, chimiche e biologiche in modo integrato, ricordando che i diversi comparti del sistema (comunità, acqua, materiale sospeso, fondo e strutture portuali) sono tra loro in forte relazione strutturale e funzionale.

La varietà dei porti è tale da rendere impossibile un modello di funzionamento unico di sistema portuale.

II.1.2 Parametri ecologici dell'ambiente portuale

Temperatura La temperatura dell'acqua di mare in ambiente portuale, a meno della presenza di punti caldi, dipende essenzialmente da:

- la temperatura dell'aria all'interfaccia aria-acqua;
- l'intensità dell'evaporazione dell'acqua per effetto della velocità del vento e del gradiente di temperatura tra acqua ed aria;
- dal regime di moto dell'acqua all'interno del bacino ed al grado di mescolamento di questa;
- dall'intensità della radiazione incidente.

Occorre sottolineare che la temperatura dell'acqua non è quasi mai dipendente dal tempo meteorologico. Fatta eccezione per gli strati più superficiali di essa.

In generale la temperatura varia con la *profondità* e con il *coefficiente di conducibilità termica*, considerabile costante ai nostri fini.

Come per le acque del nostro Mar Mediterraneo, la temperatura dell'acqua portuale mostra un andamento stagionale che dipende dalle vicende climatiche dell'area. Di norma si osserva, durante il periodo inverno-primavera, uno stato di omotermia delle acque che consente il loro mescolamento; a questa fase si contrappone quella estivo-autunnale dov'è possibile l'instaurarsi di un termoclino.

La presenza di un termoclino ben definito determina una netta separazione delle acque superficiali più calde e quindi più leggere da quelle sottostanti, più fredde e dense. Questa situazione è di particolare rilevanza per la dinamica funzionale dell'ecosistema portuale in quanto la separazione di queste masse d'acqua comporta spesso il formarsi di stati di anossia nello strato inferiore il termoclino che, isolato dalla superficie, non può approvvigionarsi di ossigeno dall'atmosfera.

La carenza di ossigeno nelle acque vicine al fondo del porto determina importanti modificazioni allo stato chimico-fisico del sedimento e condiziona pesantemente la struttura di popolazione delle comunità bentoniche.

Salinità Le variazioni dei valori di salinità nei porti sono in gran parte determinate dagli apporti di acque dolci che in taluni casi possono essere di grande rilevanza.

Le acque delle aree più interne presentano di norma valori di salinità inferiori a quelle poste vicino la bocca a mare. Si deve considerare anche il contributo delle acque dei reflui urbani che, essendo meno salate e quindi più leggere, rimangono nello strato superficiale sino a che la diluizione non porti queste acque a valori di densità pari a quelli delle acque costiere.

Generalmente i valori minimi di salinità si riscontrano nel periodo immediatamente successivo alle piogge primaverili, mentre i massimi valori si hanno, in corrispondenza con i massimi valori della temperatura e la scarsa piovosità, durante i mesi estivi.

Sali nutritivi Nelle acque portuali si riversano grandi quantità di sostanze nutritive che per la scarsa capacità del bacino vi rimangono intrappolate ([1]). Conseguentemente alle elevate concentrazioni di nutrienti si possono verificare fenomeni di eutrofizzazione.

D'altro canto è molto difficile generalizzare perché è stata osservata una grande variabilità da porto a porto è anche tra i porti dello stesso Mar Ligure. Così come all'interno del porto da zona a zona e nelle diverse stagioni.

Sempre nelle acque di questi porti si è verificato ([2]) che il rapporto N : P risulta mediamente molto inferiore a quello riscontrato per le acque superficiali del Mar Ligure da McGill ([3]) evidenziando inoltre come le concentrazioni dei fosfati sono decisamente superiori in maggior misura rispetto a quelle di nitrati relativamente ai valori riscontrati nelle acque costiere del Mar Ligure ([4]).

Questi studi hanno infatti dimostrato come la concentrazione di fosforo varia (nei porti di Savona e Livorno) con la prossimità dalla bocca di porto, aumentando verso l'interno.

Presupponendo la possibilità che una maggiore disponibilità di sostanze organiche nella parte più interna del bacino portuale possa incrementare i processi redox sino a comportare una situazione riducente.

II.1.3 Inquinamento

Il termine inquinamento viene utilizzato di fronte ad ogni aumento di materia o di energia generato dall'attività umana che degrada una comunità vivente od il suo ambiente abiotico. Il concetto di inquinamento non è quindi quasi mai solo qualitativo, legato ad un ben definita specie chimica, ma

anche e soprattutto quantitativo cioè strettamente dipendente dalla quantità presente. Tuttavia risulta sempre molto difficile definire quando una risorsa è inquinata. Infatti se è ovvio che ci si trova di fronte ad un caso di inquinamento quando la concentrazione dell'inquinante è tale da determinare effetti tossici sulla risorsa, molto più difficile è stabilire il grado di inquinamento di una risorsa quando l'inquinante si trova a bassi livelli ma per il suo carattere cumulativo può determinare, nel tempo, effetti nocivi per gli organismi.

Tra loro gli inquinanti possono interagire a volte accentuando la loro tossicità (*azione sinergica*) a volte riducendola (*azione antagonista*) ed a volta semplicemente sommandosi tra loro (*azione additiva*).

Non meno importanti sono le caratteristiche del bacino ricevente l'inquinante. Infine, il livello quantitativo oltre il quale una sostanza è da considerarsi inquinante non è univoco ma dipende dall'uso cui è destinato quel particolare ambiente o dall'utilizzo delle risorse. Ad esempio l'acqua può essere utilizzata per diverse finalità (potabile, irrigazione, balneare, pesca e così via) che richiedono standard di qualità molto diversi fra loro. Un bacino idrico può essere considerato non inquinato per un uso di irrigazione ma nel contempo la stessa acqua può essere definita non potabile.

Inquinanti portuali di origine marina Le navi in movimento od in stazionamento possono essere causa di inquinamento delle acque ad esempio per l'immissione di **idrocarburi** essenzialmente connessa all'uso di lubrificanti. Oltre alle navi di maggior stazza, nell'area portuale, sono presenti numerose imbarcazioni minori che operano sia come mezzi di servizio (pilotine, ormeggiatori, controlli, ecc.), sia per altre finalità (gite turistiche, diporto, ecc.). Per quanto riguarda il *naviglio maggiore*, inclusi i rimorchiatori, si deve ricordare che tutti i circuiti di raffreddamento sono indiretti e pertanto, poiché lo scambio termico avviene tra acqua di mare ed acqua dolce, praticamente può essere escluso (salvo in caso di un disservizio) un versamento di lubrificanti al mare attraverso le acque di raffreddamento.

Per quanto invece attiene il *naviglio minore*, nel quale il raffreddamento è in molti casi di tipo diretto, si potranno verificare modesti versamenti di olio nelle acque di raffreddamento, con conseguente inquinamento delle acque.

Un problema di non scarsa rilevanza è rappresentato dai movimenti delle piccole imbarcazioni equipaggiate con *motori fuoribordo*. La capitaneria del porto di Genova stima che nell'area vasta portuale siano presenti tra 1.500 e 2.000 imbarcazioni dotate di motori di questo tipo e, tenuto presente che almeno l'1% della miscela combustibile finisce in acqua, è necessario

prendere atto che il traffico minore fornisce un contributo non trascurabile all'inquinamento.

Da parte del naviglio presente nell'area portuale vengono inoltre prodotte **acque di scarico** le cui caratteristiche sono ovviamente del tutto simili a quelle degli scarichi domestici. Le navi sono dotate di serbatoi per lo stoccaggio di queste acque che vengono poi smaltite in navigazione o, più propriamente, nell'ambito portuale ad opera di imprese mediante bettoline.

Inquinanti portuali di origine terrestre Mentre per alcune categorie di merci, quali i container, lo sbarco e l'imbarco di automezzi, le merci varie (costituite essenzialmente da macchinari, casse, pallets), può essere praticamente escluso il rischio di inquinamento delle acque conseguente al loro maneggiamento, per altri tipi di carico quali le rinfuse liquide, le rinfuse solide, i prodotti petroliferi, le materie prime per l'industria siderurgica, anche in assenza di incidenti significativi si possono verificare modesti sversamenti a mare di prodotti.

Per quanto riguarda le **rinfuse solide** (salvo per prodotti solubili), l'effetto di questi sversamenti, che hanno luogo essenzialmente nel corso della movimentazione con benne dalle stive a terra, si traduce in una caduta di materiale sul fondale tra la calata dove la nave è ormeggiata e la murata della nave, mentre per le rinfuse liquide lo sversamento a mare dovuto a modesti trafileamenti, sgocciolamenti, ecc. si traduce in un inquinamento dello specchio acqueo.

Per quanto riguarda le **rinfuse liquide ed i prodotti petroliferi** occorre distinguere tra il modesto inquinamento di tipo cronico e limitato a spandimenti dell'ordine massimo di qualche litro e gli eventi incidentali che possono comportare perdite ben maggiori di prodotto. In questi casi è necessario l'intervento di mezzi per il contenimento dello spandimento e per il recupero del prodotto e per la bonifica. Si calcola che, nell'ambito portuale, dove il moto ondoso è molto contenuto, la quantità di prodotto idrocarburico recuperato rappresenta almeno il 50% del prodotto sversato a mare.

Molto spesso nei porti vanno a sversarsi parti importanti della **rete fognaria cittadina**. Inoltre nell'ambito portuale operano numerose imprese a carattere commerciale, industriale e di servizi la cui attività comporta la produzione di **acque di scarico** che in parte sono di tipo civile ed in parte industriale. Oltre all'occupazione diretta ed indotta nel porto vi è una notevole presenza di persone, in qualità di passeggeri, che, se pure per tempi limitati, sono presenti nell'ambito portuale.

Nell'area di competenza dell'autorità portuale sono presenti un notevole nu-

mero di aziende le cui acque di scarico industriali vengono sversate nel mare. Generalmente trattasi di imprese che operano nel settore meccanico e cantieristico che, per la natura delle loro lavorazioni, hanno modesto impatto sul piano dell'inquinamento idrico.

Nei bacini di carenaggio non solo hanno luogo le operazioni di rimozione delle pitture ammalorate che proteggono lo scafo ed il ripristino delle stesse (con produzione di rifiuti quali scaglie di pittura, materiali di sabbiatura, scarti di pittura, ecc.), ma spesso anche interventi di grande manutenzione alla nave con conseguente rischio di sversamento nel bacino di oli lubrificanti, scarti di lavorazione, ecc.

Al momento dell'uscita della nave dal bacino, se tali materiali non vengono rimossi, fatalmente ne consegue un inquinamento dello specchio acqueo portuale. Va inoltre precisato che è necessario, per potere operare nei bacini mantenendone il fondo asciutto, utilizzare pompe di drenaggio che scaricano direttamente all'esterno le acque. Queste acque risultano contaminate da solidi in sospensione, oli e metalli.

Un apporto all'inquinamento dello specchio acqueo portuale è certamente dovuto alle **acque di pioggia** che veicolano nello specchio acqueo le sostanze che si depositano sul terreno. Anche se si ritiene trascurabile l'inquinamento derivante dalle aree coperte, tenuto presente che la quasi totalità delle aree scoperte sono impermeabilizzate, una buona parte del materiale che si deposita raggiungerà il mare per effetto della pioggia. Tutte le superfici sono interessate al fenomeno, ma esso avverrà in maniera molto diversa a seconda dell'uso del territorio. Si ritiene che le fonti di inquinamento più significative siano le aree destinate al transito ed alla sosta dei mezzi, allo stoccaggio ed alla movimentazione di rinfuse solide e le aree utilizzate per deposito e movimentazione di idrocarburi.

Può essere invece ritenuto modesto il contributo derivante dalle aree destinate al deposito dei containers. In ogni caso effettuare una stima dei quantitativi di inquinanti veicolati al mare dalle acque di pioggia è estremamente difficile anche perché il carico inquinante delle stesse presenta ovviamente grandissima variabilità, tenuto presente che numerosi fattori condizionano il fenomeno.

Principali inquinanti portuali

Considerata l'eterogeneità delle attività antropiche connesse al sistema portuale, l'inquinamento delle acque e dei fondi del bacino portuale è la risultante

Sorgenti di Inquinamento	Importanza percentuale
Acque usate di carenaggio	5
Acque usate provenienti dai battelli	16
Motorizzazione dei battelli	24
Olii delle pompe di stiva	30
Immondizie	15
Altre	5
Senza risposta	5

Tabella II.1 – Importanza percentuale delle diverse sorgenti di inquinamento legate alle attività nautiche

Sorgenti di Inquinamento	Importanza percentuale
Corsi d'acqua	21
Scarichi urbani non trattati	10
Scarichi urbani trattati	4
Acque piovane	21
Acque industriali	2
Altre	6
Senza risposta	36

Tabella II.2 – Importanza percentuale delle diverse sorgenti inquinanti

degli effetti di svariati inquinanti.

Tra i più comuni agenti inquinanti ricordiamo:

Sostanze organiche degradabili Le sostanze organiche degradabili ed altri eventuali composti ad azione riducente presenti in numerosi scarichi civili, una volta in acqua vanno incontro ad un processo di mineralizzazione che avviene ad opera di microrganismi e che ha luogo con un consumo di ossigeno disciolto. La diminuita disponibilità (o addirittura la scomparsa) dell'ossigeno può portare alla scomparsa degli organismi più sensibili e comunque ad uno stato di sofferenza delle comunità ed inoltre alla comparsa di sostanze tossiche quali ammoniaca, solfuri, ammine e così via.

Le aree densamente abitate scaricano in mare fosforo in quantità eccessiva e tale eccesso va attribuito soprattutto ai detersivi domestici e in parte minore ai fertilizzanti agricoli.

Di norma si è osservato che il fosforo è l'elemento chimico che più facilmente riscontriamo come agente limitante la crescita algale nell'ambiente acquatico. Ne consegue che versamenti di sali di fosforo in ambiente acquatico possono facilmente dar luogo a fenomeni di eutrofizzazione.

Microrganismi Le acque di scarico domestico sono ricche di microrganismi prevalentemente batteri proteolitici (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Aerobacter*, ed altri) saccarolitici, cellulolitici etc a cui si accompagnano ovviamente microbi di origine intestinale (*Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*).

Nelle acque di scarico sono presenti anche batteri denitrificanti (*Thiobacillus*, *Micrococcus*) e batteri produttori di metano. Frequenti sono lieviti e i funghi. Se consideriamo i microrganismi di origine intestinale questo si possono separare in: **saprofiti intestinali**, **patogeni di origine fecale** ed **indicatori di inquinamento fecale**.

1. I *saprofiti intestinali* sono microrganismi che si moltiplicano continuamente nell'intestino utilizzando gli alimenti e favorendo la digestione umana. Il loro numero è elevatissimo (qualche miliardo per gr di feci) e varia a seconda dell'età e della dieta dell'individuo.
2. I *patogeni intestinali* sono presenti solo nelle feci degli ammalati e dei portatori (sani, convalescenti o cronici) e pertanto variano enormemente per qualità e quantità da luogo a luogo e nelle varie stagioni, a seconda delle condizioni sanitarie della popolazione considerata. I gruppi più

importanti sono: Metazoi (uova di vermi intestinali), Protozoi (ameba) Muffe Batteri (tifo, paratifi, dissenterie, colera, tubercolosi), Virus (epatite virale, poliomielite, virus enterici).

3. Gli *indicatori di inquinamento fecale* sono organismi che, essendo costantemente presenti nell'intestino umano e dei mammiferi in grandi quantità, stanno ad indicare la possibilità di inquinamento fecale. I più importanti gruppi di microrganismi indicatori di inquinamento presenti nelle feci sono: Coli fecali, Streptococchi fecali, Anaerobi sporigeni, Batteriofagi.

Petrolio Petrolio o greggio è un miscuglio variabile di idrocarburi solidi e gassosi e con una piccola percentuale di altri composti. Il petrolio, poiché più leggero dell'acqua, si sparge sulla superficie del mare formando una pellicola (oil slick) il cui spessore dipende dalla temperatura dell'acqua, dalla composizione e dalla quantità del petrolio. Inoltre il petrolio sversato andrà incontro a diversi processi, cambiando man a mano le sue proprietà.

Composti organo-alogenati I composti organo-alogenati costituiscono un vasto gruppo di molecole organiche contenenti uno o più atomi di alogeni e cioè fluoro, bromo, iodio e soprattutto cloro. Questi composti tendono ad essere lipoaffini e scarsamente idrofili e tali proprietà dipendono dal loro grado di clorurazione. Sostanzialmente questi composti sono abbastanza **stabili verso la decomposizione e la degradazione** ambientale. Gli idrocarburi alogenati sono molto insolubili in acqua ma solubili nei grassi; nell'ambiente acquatico si adsorbono facilmente su particelle. Tali particelle possono sedimentare verso il fondo o essere utilizzate da organismi filtratori.

Negli organismi più complessi l'incorporazione può avvenire direttamente attraverso le pareti più sottili della superficie esterna (branchie) o indirettamente attraverso il cibo ingerito. L'escrezione di questi inquinanti è molto più lenta dell'incorporazione e di conseguenza tendono ad accumularsi e le concentrazioni più elevate di composti organo clorurati si trovano negli animali posti al vertice della catena alimentare.

Metalli pesanti I metalli pesanti, come del resto molti altri elementi chimici, possono esistere allo stato elementare (o metallico) o come ioni liberi, o come parte di molecole complesse. Allo stato elementare, o metallico, generalmente nessun metallo è tossico, mentre sotto forma di ione ha attività

biologica. Tra i metalli più tossici per l'ambiente marino ricordiamo il Hg^{++} , l' Pb^{++} , l' Sn^{++} , ed il Cr^{++} .

L'adsorbimento da parte del sedimento sospeso o del detrito organico è il principale meccanismo di rimozione degli elementi dall'acqua; l'adsorbimento si deve ad attrazioni elettrostatiche deboli e dipende dalla carica elettrica all'interfaccia solido-liquido della particella sospesa e condiziona la formazione di legami chimici tra l'elemento e la particella.

Di particolare interesse è anche la **rimozione biologica** degli elementi. Dal punto di vista biochimico, il meccanismo della loro attività tossica deriva dalla forte affinità dei cationi metallici per lo zolfo.

II.1.4 Portualità e Vulnerabilità

L'ecologia portuale è una branca dell'ecologia molto recente, così come sono recenti i concetti di Portualità e Vulnerabilità. Non esiste infatti in bibliografia una definizione del concetto di Portualità, e sono pochi i riferimenti alla Vulnerabilità intesa come indice dello stato ambientale di un porto.

Portualità

La portualità è una misura relativa alla singolo area del porto in riferimento a quanto questa può essere inquinata. Una misura di rischio di inquinamento che non si riferisce al porto nella sua totalità ma ad una delle sue aree.

Ogni area del porto ha caratteristiche morfologiche e strutturali uniche a causa del grandissimo numero di variabili che le interessano: la presenza ed il tipo di pontili, la forma del confine del porto, la presenza e la posizione delle bocche di porto. Va poi considerata la prossimità con le sorgenti di inquinamento, se sono puntiformi o no ed il loro comportamento in acqua ed in relazione agli altri inquinanti.

Le molte variabili fanno sì che ogni zona del porto, qualunque scala consideriamo, sia diversa da quella vicina e questa variabilità locale è detta appunto portualità.

Vulnerabilità

La vulnerabilità di un porto è definibile come la misura di quanto un porto, nella sua totalità sia a rischio d'inquinamento. Una misura generale di quanto sia probabile che il porto sia inquinato. Pertanto non solo una misura di quanto le sorgenti di inquinamento sono presenti, e quindi quanto l'ecosistema

portuale sia predisposto all'inquinamento, ma anche di quanto l'ecosistema portuale sia in grado di ripristinare le naturali condizioni ecologiche.

II.2 I modelli ecologici

I modelli sono strumenti per risolvere problemi attraverso una semplificazione della realtà. Un modello infatti non conterrà mai tutte le variabili del sistema in esame, ma è importante che contenga le caratteristiche che sono essenziali nel contesto del problema che stiamo studiando.

I modelli ecologici possono essere paragonati alle cartine geografiche. In entrambi i casi si attua una semplificazione della realtà per venire incontro a specifici usi e funzioni che la mappa deve avere. Non vengono sempre considerate tutte le variabili del sistema originale, ma solo quelle che sono utili ai fini di un problema specifico.

Questo implica che possano essere molteplici i modelli per lo stesso ecosistema, ciascuno che focalizzi aspetti specifici del sistema.

Negli ultimi anni lo sviluppo dei modelli ecologici è stato molto rapido. Essenzialmente per 3 motivi:

1. lo sviluppo delle tecnologie informatiche che ha permesso di maneggiare modelli matematici molto complicati;
2. la presa di coscienza del problema dell'inquinamento con la consapevolezza che la completa eliminazione dell'inquinamento è irrealizzabile e che un'adeguato controllo del livello di inquinamento richiede profonde conoscenze degli ecosistemi;
3. la conoscenza degli ecosistemi e delle dinamiche è aumentata significativamente; specialmente sotto il profilo della quantificazione delle relazioni ecologiche.

I modelli possono essere considerati come la sintesi delle conoscenze dell'ecosistema in riferimento ad uno specifico fenomeno, in contrasto con l'analisi statistica che si limita a quantificare le relazioni tra i dati. Questo non significa che le analisi statistiche siano escluse dai modelli ecologici, anzi, i modelli sono costruiti con tutti gli strumenti disponibili, compresa l'analisi statistica, le conoscenze fisiche-chimiche-ecologiche, il senso comune e le leggi di natura.

II.2.1 Modelli come strumenti scientifici

La classe di modelli certamente più largamente utilizzata è quella dei modelli fisici. I modelli matematici sono però anch'essi largamente impiegati nelle scienze. In particolare in ecologia, la dimensione e complessità dei sistemi in analisi, spesso favorisce l'uso di uno strumento matematico che sia in grado di considerare le interazioni nel complesso.

I vantaggi nell'uso di modelli per lo studio dell'ecologia possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- i modelli sono strumenti utili nel sondare gli ecosistemi;
- i modelli sono utili per misurare le proprietà di un sistema;
- i modelli spesso mostrano la debolezza delle nostre conoscenze;
- i modelli sono utili per testare ipotesi poichè possono simulare le reazioni dell'ecosistema.

Il modello come strumento per verificare un'ipotesi però pone un doppio dubbio perchè il modello è di per se un'ipotesi. Non abbiamo cioè solo due alternative (accettare/rifiutare), ma quattro casi:

1. Il modello è corretto nel contesto del problema, e l'ipotesi è verificata;
2. Il modello non è corretto ma l'ipotesi è corretta;
3. Il modello è corretto, ma l'ipotesi non è verificata;
4. Il modello non è corretto, così come l'ipotesi non è verificata.

Per eliminare le alternative 2 e 4 bisogna utilizzare modelli molto accurati e largamente accettati e verificati. L'impiego di modelli solidi e largamente utilizzati è considerato quindi un prerequisito per lo sviluppo di un'attività di ricerca.

II.2.2 Elementi di un modello matematico

Un modello matematico, nella sua formulazione generale, è costituito di cinque elementi:

1. **Forzanti esterni**, cioè quelle funzioni o variabili di natura esterna al sistema che ne influenzano le dinamiche. Solitamente un modello si pone l'obiettivo di predirre la variazione delle variabili del sistema come risposta alla variazione dei forzanti esterni. I forzanti esterni, all'interno di un porto, sono ad esempio, il vento prevalente o le sorgenti di inquinamento.
2. **Variabili di stato**, cioè le variabili che descrivono lo stato dell'ecosistema. Spesso sono costanti misurabili sperimentalmente, altre volte la determinazione è complicata. Un esempio di variabili di stato in JMarinas sono i coefficienti di dispersione delle sostanze inquinanti.
3. **Equazioni matematiche**, sono usate per rappresentare processi biologici, fisici e chimici. Descrivono le relazioni tra i vari forzanti e le variabili di stato. Lo stesso fenomeno potrebbe essere descritto da diverse equazioni in dipendenza del contesto, sia per il dettaglio necessario allo studio, sia perchè potrebbero dover essere considerate variabili diverse. Le equazioni matematiche potrebbero essere a loro volta considerate sotto-modelli.
4. **Parametri**, sono i coefficienti delle equazioni matematiche. Possono essere considerate costanti o variabili come le altre variabili dell'ecosistema. Alcuni parametri potrebbero non essere reperibili in bibliografia e questo rappresenta spesso un punto di debolezza del modello. Comunque bisogna notare che la determinazione di parametri costanti è una semplificazione irrealistica, considerando i molti feedback degli ecosistemi.
5. **Costanti universali**, come la costante universale dei gas, i pesi atomici. Spesso presenti nelle equazioni matematiche e quindi nei modelli ecologici.

II.2.3 Verifica, Calibrazione e Validazione

La produzione di un modello prevede tra procedure fondamentali, che sono state adottate anche nello sviluppo di JMarinas:

1. **Verifica**. Un test sulla *logica interna* del modello. La tipica domanda che bisogna porsi è: "il modello fa quello che mi aspetto?" La verifica è quindi uno studio soggettivo del funzionamento del modello.

2. **Calibrazione.** Il tentativo di trovare il miglior accordo tra i dati sperimentali e le risposte del modello. Consiste nel testare il modello cambiandone i parametri e cercando la combinazione di questi che restituisce il miglior accordo con i dati sperimentali. Non sempre è un'operazione necessaria, infatti dipende dalla complessità del modello.

3. **Validazione.** Deve essere distinta dalla verifica. La validazione consiste in un test oggettivo di come i risultati del modello fittano i dati sperimentali. Generalmente si confronta la deviazione standard dei dati ed il massimo ed il minimo valore di una specifica importante variabile di stato.

Le operazioni sopra descritte sono state eseguite anche per il modello JMarias, in particolare si rimanda al Capitolo IV per una trattazione più approfondita degli argomenti.

II.3 Progetto Pharos

II.3.1 Contenuti del progetto PHAROS

Questa tesi ricade nell'ambito di un più ampio progetto di gestione integrata della fascia costiera ligure. Tale progetto, PHAROS (Playgrounds, HARbours and Research Of Sustainability), è finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del Programma Life Ambiente 2004, e prevede l'individuazione di una metodologia per la registrazione EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) delle strutture turistiche in modo integrato con i processi di sviluppo sostenibile. In questo contesto il progetto PHAROS affronta lo sviluppo di metodologie e tecniche innovative e censisce le buone pratiche di gestione degli aspetti ambientali.

Al progetto hanno preso parte dieci partner i quali hanno implementato la metodologia e le tecniche di gestione ambientale prodotte come risultato del progetto PHAROS. Hanno partecipato sei campi da golf e quattro porticcioli turistici: (*Marina di Varazze*, Varazze (SV); *Cala Cravieu*, Porto di Celle Ligure (SV); *Marina degli Aregai*, Santo Stefano al Mare (IM); *Portosole*, San Remo (IM)).

Il progetto ha avuto termine il 1 Dicembre 2006.

II.3.2 Obiettivi progetto PHAROS

Il progetto Life PHAROS, ha voluto proporre una risposta al fenomeno emergente dei nuovi usi molteplici e spesso conflittuali della fascia costiera, connessi nella fattispecie con la diffusione di porticcioli turistici ed impianti da golf.

Porticcioli e campi da golf sono strutture che hanno un sensibile impatto ambientale, soprattutto in un territorio fragile come quello ligure, ma anche alti standard di gestione, e pertanto sono risultati i soggetti ideali di un progetto di gestione integrata della fascia costiera.

L'obiettivo principale del progetto è stato quello di promuovere l'adozione di Sistemi di Gestione Ambientale - SGA registrati EMAS II, presso le strutture partecipanti al progetto.

Sono state quindi definite le linee guida per l'adozione di SGA e per l'implementazione delle politiche di sostenibilità di queste tipologie di impianti sia in fase di realizzazione che in fase di gestione. Cercando d'integrare, in un contesto più ampio di governance della fascia costiera mediterranea, i Sistemi di Gestione Ambientale delle strutture turistiche tra loro e con le politiche territoriali e di gestione ambientale degli Enti Locali.

Per arrivare a questo è stato necessario lo sviluppo e la diffusione di metodologie e tecniche innovative di gestione ambientale delle strutture turistiche a livello nazionale ed europeo.

Il progetto prevede il raggiungimento di diversi risultati, quali:

- linee guida per la certificazione delle strutture turistiche, per replicare altrove i risultati ottenuti.
Impostazione e sperimentazione di un Sistema di Gestione Ambientale che tende al continuo miglioramento delle performance ambientali;
- registrazione di alcune strutture turistiche secondo il regolamento europeo EMAS II;
- diffusione di buone pratiche di gestione riguardo: risparmio energetico ed utilizzo dell'energia rinnovabile, fertilizzazione naturale dei campi da golf, ruolo dei golf nella rete ecologica locale, controllo dell'impatto dei porticcioli sulla costa, raccolta dei rifiuti nei porticcioli, ecc...;
- miglioramento dell'efficienza e del dialogo tra Pubbliche Amministrazioni e strutture turistiche rispetto alla gestione dei temi ambientali;
- diffusione dell'iniziativa a livello nazionale ed europeo.

II.3.3 Programma di monitoraggio PHAROS

La registrazione EMAS II delle strutture impegnate nel progetto PHAROS prevede l'attuazione di un piano di monitoraggio ambientale. In questo contesto il laboratorio di Ecologia del Dip.Te.Ris di Genova si è occupato dello studio preliminare dei porti di Aregai e Portosole ([44], [44]).

Il campionamento ha riguardato la colonna d'acqua ed i sedimenti ed è stato eseguito la prima volta nel mese di Gennaio e successivamente nel mese di Luglio.

Le stazioni sono state quattro per il porto di Portosole e otto per il porto di Aregai, di cui quattro hanno riguardato le sole analisi microbiologiche e biologiche.

Le stazioni sono state posizionate considerando le sorgenti inquinanti e la morfologia del porto nel tentativo di dare una rappresentazione completa e veritiera dello stato ambientale due porti (Figura II.1).

Segue una breve elenco dei parametri analizzati.

- Parametri di inquinamento Distrofico:

Chl-a ($\mu\text{g/g}$) e Feo ($\mu\text{g/g}$) Concentrazioni di pigmenti clorofilliani attivi (clorofilla-a) e non attivi (feopigmenti) nella colonna d'acqua.

PRT (mg/g) Proteine nel sedimento

CHO (mg/g) Carboidrati nel sedimento

CCHO (mg/l) Carboidrati colloidali in acqua

- Parametri di inquinamento Chimico:

IPA Concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici nella colonna

Metalli Pesanti Concentrazione di metalli pesanti

- Parametri di inquinamento Igienico-Sanitario:

Indicatori di contaminazione fecale Coliformi totali, Coliformi fecali, Escherichia coli, Streptococchi fecali (o enterococchi)

Si definiscono quindi diversi tipi di inquinanti e per ciascuno diverse sorgenti di emissione. La classificazione che segue è stata prodotta all'interno del progetto PHAROS e sarà utilizzata nelle successive operazioni di costruzioni del modello.

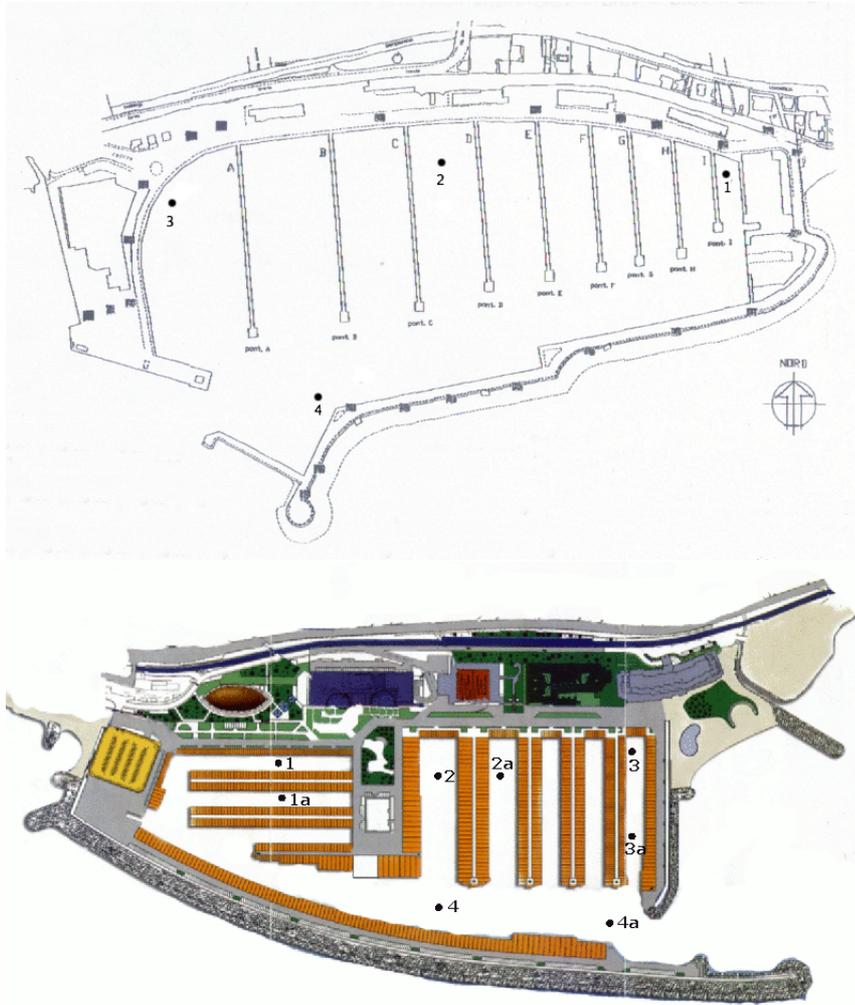


Figura II.1 – Posizionamento delle stazioni di campionamento per il porto di Portosole (sopra) e la marina di Aregai (sotto)

1. Inquinamento distrofico
 - (a) Alghe e sostanza organica
 - (b) Scarichi fognari
 - (c) Acquacoltura
 - (d) Acqua percolazione allevamenti e terreni agricoli
2. Inquinamento chimico
 - (a) Stazioni rifornimento carburante
 - (b) Acqua percolazione terreni agricoli
 - (c) Scarichi industriali
 - (d) Aree lavaggio imbarcazioni e pontili
3. Inquinamento igienico-sanitario
 - (a) Scarichi fognari
 - (b) Acqua percolazione da allevamenti
 - (c) Acquacoltura

Con questo elenco si è diviso in tre categorie principali l'insieme delle fonti di inquinamento. Come si vede alcune sorgenti di inquinamento sono presenti più di una volta perchè danno luogo a più di un tipo di inquinamento.

I casi sopracitati di sorgente di inquinamento a rischio ambientale multiplo sono i seguenti:

1. *Scarichi fognari*: Distrofico, Igienico-sanitario
2. *Acqua percolazione terreni agricoli*: Distrofico, Chimico
3. *Acquacoltura*: Distrofico, Igienico-sanitario

CAPITOLO III

Metodologie e tecniche

Questo capitolo si pone l'obbiettivo di fornire le basi teoriche degli strumenti utilizzati nella fase sperimentale. Prima di tutto verranno descritti gli strumenti software, nel tentativo di rendere più comprensibile la spiegazione delle operazioni dei calcoli alla base del modello matematico. Verranno successivamente presentati i concetti di modello MADM, il modello di questionario, utilizzato per la produzione del modello JMarinas, ed in ultimo la definizione procedurale di Vulnerabilità.

III.1 Strumento software

Il modello matematico per la predizione della Portualità e della Vulnerabilità, è stato integrato in un software Java per permetterne la facile applicazione da parte dell'utente.

Java è un linguaggio di programmazione *object oriented* realizzato dalla Sun Microsystems, indipendente dalla piattaforma, modellato a partire dai linguaggi C e C++ di cui mantiene molte caratteristiche. L'indipendenza dalla piattaforma è ottenuta grazie all'uso di uno strato software chiamato Java Virtual Machine (JVM) che traduce le istruzioni dei codici binari indipendenti dalla piattaforma generati dal compilatore java, in istruzioni eseguibili dalla macchina locale.

Ad oggi esistono svariate implementazioni di JVM per le più diffuse piattaforme (Windows, Linux, Unix, Mac, OS/2, ecc.), inoltre una Java Virtual

Machine è implementata anche nei vari Browser (come Firefox e Explorer) per poter eseguire particolari programmi Java presenti in rete, i cosiddetti Applet.

La natura di linguaggio a oggetti di Java consente di sviluppare applicazioni utilizzando oggetti concettuali piuttosto che procedure e funzioni.

III.1.1 Oggetti e Classi

La prima caratteristica, l'orientamento agli oggetti, si riferisce a un moderno metodo di programmazione e progettazione. L'idea principale della programmazione ad oggetti consiste nel rendere il software la rappresentazione di entità reali o astratte ma ben definite (**oggetti**). Questi oggetti, come nella vita pratica, hanno proprietà rappresentate da valori, e qualità o meglio **metodi**: ciò che fanno fare questi oggetti. Si pensi ad una automobile: ha delle proprietà come il colore o il numero di porte, e dei metodi, per esempio può girare a destra o sinistra, andare avanti o indietro, accelerare, decelerare ecc.

III.1.2 Geometria in Java

Di tutti gli Oggetti nativi di Java implementati in JMarinas sarà utile per la comprensione della programmazione, analizzare, almeno sommariamente, quelli maggiormente utilizzati per l'elaborazione grafica in JMarinas.

Coordinate

Prima di tutto è utile conoscere come Java fa riferimento all'ambiente grafico. È quindi utile sapere quanto meno come vengono assegnate le coordinate in ambiente Java.

Ogni componente infatti ha un sistema di coordinate intere (in pixel) con origine (0,0) in alto a sinistra. Le coordinate x crescono da sinistra a destra, mentre le coordinate y crescono dall'alto verso il basso.

Le coordinate sono infinitamente sottili e collocate tra un pixel e l'altro. La punta scrivente traccia la linea sul pixel immediatamente a destra e in basso (Figura III.1). Ciò significa che, se traccio un rettangolo pieno e il suo contorno vuoto dando le stesse coordinate, il contorno si estende una riga di pixel in più in basso e una colonna di pixel a destra rispetto al rettangolo pieno.

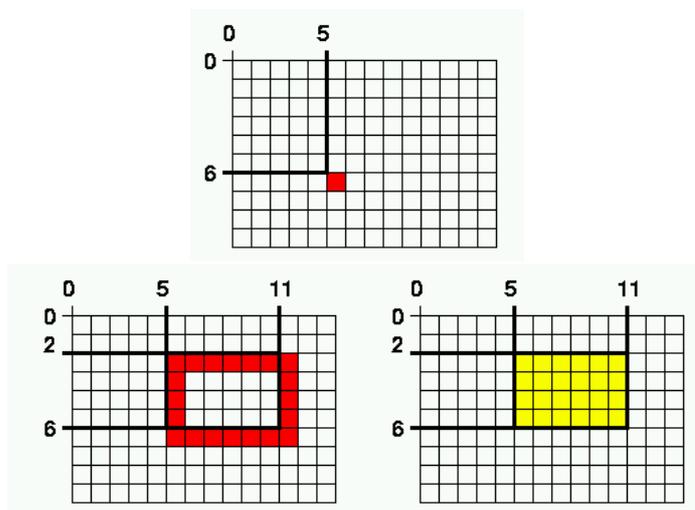


Figura III.1 – Rappresentazione del funzionamento delle coordinate in ambiente Java.

Oggetti geometrici fondamentali

Vengono qui presentati alcuni oggetti grafici, di cui si fa largo uso in JMarinas, ed i relativi metodi. È utile notare come il software JMarinas possa essere distinto nella classe per la gestione dell'interfaccia e degli eventi ad essa legata e quella relativa ai calcoli e le operazioni sugli input dell'utente. La parte grafica serve da collegamento tra queste due classi. Sugli oggetti grafici infatti vengono compiuti la maggior parte dei calcoli e l'utente fornisce i dati al modello in buona parte con strumenti grafici.

Point2D Il punto è probabilmente l'oggetto più impiegato in JMarinas. `Point2D` prende come argomento due numeri con precisione `double` (numero con virgola a 64 bit), una x ed una y che rappresentano le coordinate del punto secondo il sistema di riferimento inteso alla pagina. I metodi poi sono solo quattro ma quelli utilizzati sono `getX()` e `getY()` che restituiscono la posizione del punto, una volta che questa è archiviata nell'oggetto. Come detto un oggetto molto semplice.

Line2D `Line2D` è il più semplice shape degli oggetti Java. Prende quattro argomenti: le coordinate x ed y del punto di inizio e di fine del segmento in precisione `double`. Può essere anche costruito a partire da due oggetti `Point2D`. Dei metodi a disposizione, alcuni servono per restituire le coordi-

nate x ed y dei punti (`getX1()`, `getX2()`, `getY1()`, `getY2()`) mentre altri restituiscono oggetti `Point2D` relativi all'inizio ed alla fine del segmento.

Un altro metodo di interesse è `setLine()`, utilizzato nella funzione per il calcolo della tortuosità, che permette di riassegnare ad una linea preesistente delle nuove coordinate.

In ultimo il metodo `intersectsLine()` permette di verificare se una linea ne interseca un'altra. Anche questo metodo è utilizzato nella funzione per il calcolo della tortuosità.

Polygon L'oggetto `Polygon` è un poligono chiuso di cui vengono specificati i vertici. Nel modello `JMarinas`, il poligono viene utilizzato per descrivere il confine del porto e su questo vengono fatte molte operazioni utilizzando i suoi metodi.

I metodi più utilizzati nel modello `JMarinas` sono:

- `addPoint()`: per la costruzione del poligono. L'oggetto `Poly` può essere costruito anche senza argomenti infatti i punti che lo costituiscono possono essere aggiunti in un secondo momento. In `JMarinas` i vertici del poligono vengono aggiunti con i click del mouse;
- `contains()`: restituisce il valore booleano `true` o `false` se un punto `Point2D` è dentro o fuori il poligono;
- `getBounds()`: restituisce un oggetto `rectangle` contenente il poligono ed avente i lati paralleli agli assi dell'area di lavoro. Questo oggetto è largamente utilizzato in `JMarinas` per definire l'area di lavoro;

L'oggetto `Poly` si porta dietro alcune variabili, tra cui quelle che contengono i vettori con le coordinate dei suoi vertici. Questi vettori sono `xpoints` ed `ypoints` nonché il numero totale dei vertici `npoints`. Questi vettori sono utilizzati per il calcolo del perimetro del porto a partire dal suo poligono.

III.2 Modello Decisionale Multicriterio

Oltre a definire la Vulnerabilità del porto, il modello matematico alla base di `JMarinas` ha, come detto, lo scopo di poter decidere all'interno del porto come varia la funzione della Portualità.

Il modello deve quindi poter classificare le varie zone del porto utilizzando opportuni parametri come riferimento.

La soluzione a questo tipo di problemi va cercata nel campo della matematica che si interessa alle strategie ed ai metodi decisionali.

Multiple Criteria Decision Making (MCDM) in matematica si riferisce appunto al prendere decisioni in presenza di molti criteri, solitamente conflittuali. Problemi di decisioni multicriterio ne esistono in tutti i settori della vita quotidiana, ma anche in contesti economici, di gestione del territorio, in politica e nelle scienze mediche ([19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28]).

È chiaro che il campo è vastissimo, ma comunque tutti gli esempi che si possono fare sono accomunati da alcune caratteristiche:

1. *Molti Attributi/Obbiettivi.* Ogni problema ha diversi Attributi/Obbiettivi. Il decisore deve generare molti Attributi/Oggetti per ogni problema.
2. *Conflitto tra criteri.* Molti criteri spesso sono in conflitto l'uno con l'altro. Per esempio nella geometria di un porto, una zona vicina alla bocca di porto potrebbe essere vicina ad un distributore di carburante.
3. *Unità incommensurabili.* Ogni Attributo/Oggetto ha diverse unità di misura. Nel caso del porto, certe unità potrebbero essere riferite a misure di concentrazione mentre altre potrebbero essere metriche.

I problemi di MCDM sono generalmente divisi in due grandi categorie ([16], [17]): Multiple Attribute Decision Making (MADM), ed i Multiple Objectives Decision Making (MODM). I primi sono riferiti a problemi di “valutazione” mentre i secondi a problemi di “design”. La differenza principale è che i metodi MODM sono riferiti a decisioni tra infinite alternative, mentre i metodi MADM operano tra alternative finite. E poi come detto i modelli MODM considerano diversi Obbiettivi anziché diversi Attributi.

Il caso dello studio della portualità ricade nell'ambito dei problemi MADM.

Terminologia MADM

- *Criterio.* Il criterio è una misura di efficacia. È la base della valutazione.
- *Obbiettivi.* Gli obbiettivi sono i livelli a cui si aspira. Devono essere raggiunti o sorpassati. Sono definiti per limitare il range delle possibilità.

- *Attributi.* Parametri delle performance. Un attributo funge da mezzo per valutare il livello del raggiungimento di un obiettivo. Ogni alternativa può essere caratterizzata da un certo numero di alternative.
- *Matrice decisionale.* Un problema MADM può essere espresso sinteticamente in forma di matrice. Una matrice decisionale, D , è una matrice $(m \times n)$ i cui l'elemento x_{ij} indica il valore dell'alternativa i , A_i , rispetto all'attributo j , X_j .

Simple Additive Weighting Method

Esistono molti metodi per risolvere problemi di questo tipo distinguibili sulla base del grado e del tipo di informazione che il decisore dispone, e la sua preferenza individuale. Una panoramica delle diverse strategie disponibili è raccolta in bibliografia ([18]).

Tra le diverse strategie disponibili per risolvere problemi MADM, in questa tesi è stata impiegata la **SAW** (Simple Additive Weighting Method). Tale metodo è ben descritto da McCrimmon ([29]).

Il modello SAW è forse il più applicato e studiato metodo decisionale ([30], [31], [32]), in più è intuitivo e facilmente applicabile.

Per ogni attributo in SAW il decisore assegna un valore di importanza, un peso. Si può quindi calcolare il valore totale di ogni alternativa semplicemente moltiplicando il peso per ogni attributo e quindi sommando tutte gli attributi.

Matematicamente il metodo SAW può essere rappresentato come segue. Supponiamo che il decisore assegni un set di pesi agli attributi,

$$\underline{w} = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n.$$

A questo punto l'alternativa preferita, A^* , è selezionata come

$$A^* = A_i \mid \max \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n w_j \quad (\text{III.1})$$

dove x_{ij} rappresenta il valore dell'alternativa i^{esima} per l'attributo j^{esimo} in una scala numericamente confrontabile.

Perchè il metodo sia applicabile è necessario che i valori degli attributi siano numerici e confrontabili, quindi si eseguono su di essi operazioni di normalizzazione e, nel caso di variabili diverse da numeri, operazioni di conversione.

	(0,0)	(0,1)	(0,2)	...	(0,n)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	...	(m,n)
Sorgenti										
Inquinamento										
Bocca di Porto										
Tortuosità										
Batimetria										

Tabella III.1 – Rappresentazione della matrice decisionale di JMarinas.

III.2.1 Modello MADM per Portualità

Nel modello MADM per la determinazione dell'indice di Portualità, la matrice decisionale è costruita come segue.

Le alternative sono tutti i punti contenuti nella mappa del porto. Questa è definita dall'utente come prima operazione all'apertura del software. L'utente infatti definisce il confine del porto, disegnando su di esso un poligono. JMarinas produce poi un rettangolo che circoscrive tale poligono. I punti dell'area del rettangolo sono quindi le diverse alternative, contante, riga per riga, da sinistra a destra, dall'alto verso il basso. Le alternative sono invece le variabili della funzione di portualità, cioè la vicinanza con sorgenti di inquinamento, la prossimità alla bocca di porto, la tortuosità del porto e la batimentria.

Ogni alternativa è computata come vedremo in seguito, secondo funzioni specifiche per ogni attributo. I pesi sono invece definiti attraverso un questionario di valutazione.

La Portualità finale è calcolata distinguendo per i tre tipi di inquinamento, distrofico, chimico ed igienico sanitario, e per l'inquinamento totale. Quindi le matrici su cui si fanno i conti sono in totale quattro, ma tutte tengono la stessa struttura, gli stessi pesi per gli attributi e la stessa procedura di calcolo.

Una rappresentazione della matrice decisionale è in Tabella III.1 se si considera un rettangolo di confine del porto di n colonne ed m righe.

Le alternative nel modello MADM sono solitamente distinte in attributi di tipo quantitativo e di tipo qualitativo. Gli attributi quantitativi sono tutte le misure anche di diverse unità di misura mentre degli attributi qualitativi non sono valori di tipo numerico. Il problema è come gestire questa varietà di dati nello stesso modello.

Per gli attributi di tipo quantitativo è necessario operare una normalizzazione dei dati, scalando i valori su uno stesso riferimento. Questa operazione elimina l'unità di misura e restituisce valori confrontabili.

Gli attributi qualitativi invece devono essere trasformati in valori numerici. Le variabili qualitative sono spesso variabili verbali, che non forniscono quindi una misura precisa e per questo sono dette variabili fuzzy.

III.2.2 Variabili fuzzy

Un possibile modo per trattare le valutazioni nominali all'interno di problemi con dati misti è quello di far ricorso alla teoria degli insiemi *fuzzy*, dove *fuzzy* sta per sfuocato, indeterminato. Esistono numerosi esempi in letteratura con applicazione della fuzzy logica nei più svariati campi, non ultimo la gestione del territorio ([33], [34], [35], [36]).

La teoria degli insiemi *fuzzy* è un'estensione della teoria degli insiemi ordinari ([37], [38], [39], [40], [41], [42]); quest'ultima è basata su di una logica bivalente "vero/valso" di appartenenza di un certo elemento x ad un dato insieme X . Ad esempio, se X rappresenta l'insieme delle persone italiane, " x è italiano", è una funzione enunciativa cui posso associare un criterio di verifica, cioè una funzione di appartenenza; questa può assumere solo due valori "0, 1", a seconda che l'enunciato sia, rispettivamente, falso o vero. In molti casi tale logica non è in grado di rappresentare fenomeni reali rendendo necessaria, ad esempio, una logica trivalente dell'indeterminatezza "vero, falso, indeterminato" o, ancora, una logica polivalente come quella probabilistica; questa esprime una scala continua di valori, compresi tra 0 (= falso) e 1 (= vero); ciascun valore intermedio assume il significato di probabilità che l'enunciato sia vero.

La trasformazione di un'espressione linguistica, il cui significato può variare a seconda di chi la formula e delle circostanze in cui la formula, in un'informazione più precisa, anche se *fuzzy*, è un'operazione altamente arbitraria, tuttavia necessaria se si vogliono incorporare nell'analisi tali variabili. La variabilità è diminuita se viene adottato un modello per la trasformazione della variabile nominale in un numero sfuocato.

Esistono in letteratura numerose proposte di scale di trasformazione. La Tabella III.2 può essere considerata abbastanza ampia da contenere diverse alternative utilizzabili dal decisore. Si tratta di otto scale che contengono da due fino ad un massimo di undici termini. Alcune tra queste scale hanno lo stesso numero di termini ma con valori diversi di valori *fuzzy* ad essi associati. La scelta su quale utilizzare dipende essenzialmente dal ricercatore.

Gli undici termini utilizzati in tabella per graduare i valori dal più basso al più alto sono i più generali possibili ma a secondo dello specifico attributo a cui si riferiscono possono essere sostituiti con altri più appropriati.

Scala n.	1	2	3	4	5	6	7	8
Termini utilizzati	2	3	5	5	6	7	9	11
Assente							0,045	
Molto Basso			0,091		0,083	0,091	0,083	0,136
Tra basso e moto basso							0,125	0,254
Basso		0,167	0,283	0,115	0,250	0,227	0,283	0,333
Piuttosto basso				0,300	0,417		0,370	0,490
Più o meno basso						0,364		
Medio	0,583	0,500	0,500	0,500		0,500	0,500	0,500
Più o meno elevato						0,636		
Piuttosto elevato				0,700	0,583		0,630	0,591
Elevato	0,750	0,833	0,717	0,885	0,750	0,773	0,750	0,667
Tra elevato e molto elevato						0,875	0,746	
Molto elevato			0,917		0,917	0,909	0,917	0,864
Eccellente							0,955	

Tabella III.2 – Scale per la correlazione tra termini verbali e valori numerici [43].

Il risultato di questa conversione è poi utilizzata all'interno del modello JMarinas senza più tornare al significato nominale ma mantenendo il carattere fuzzy dell'informazione prodotta.

III.2.3 Normalizzazione dei dati

Per necessità legate alla corretta implementazione del modello matematico si pone spesso la questione di normalizzare i dati, riportando i dati in uscita dal modello sulla scala presa da riferimento (0 – 255). In pratica l'operazione consiste nel trovare il valore minimo e massimo di una serie di dati e traslarli sulla scala che va da a 0 e 255. Gli altri valori saranno poi corretti di conseguenza.

Quello che si fa nei calcoli è quindi, in riferimento alla Figura III.2, di trovare l'equazione generica della retta passante per i punti a e b di coordinate, rispettivamente, $(x_m, 0)$ e $(x_M, 255)$.

Considerando la generica equazione $y = b * x + c$ e risolvendo quindi il semplice sistema III.2:

$$\begin{cases} 0 = b * x_m + c \\ 255 = b * x_M + c \end{cases} \quad \text{(III.2)}$$

Otteniamo così i valori di c e b da cui l'equazione $y = \frac{255(x-x_m)}{x_M-x_m}$. Questa equazione restituisce per ogni x , x_m ed x_M un valore di y normalizzato sulla scala di riferimento che va da 0 a 255.

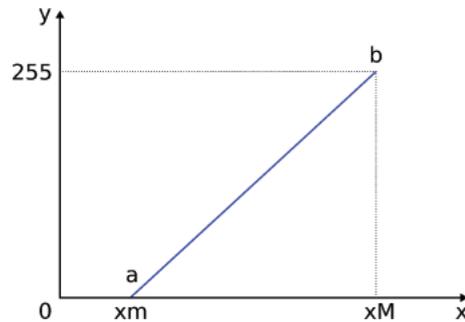


Figura III.2 – Rappresentazione grafica della retta di normalizzazione

III.3 Questionario

Molti esempi riportano l'uso di questionari o variabili fuzzy di tipo linguistiche per la determinazioni di quantità difficilmente quantificabili ([14]). Tale metodo si basa sul presupposto che l'utente interessato sia in grado di valutare una variabile complessa sulla base delle sue conoscenze e dell'intuito.

Il capostipite di questo pensiero è il delphi test ([10], [11], [12]). Cioè un metodo di valutazione quantitativo formalizzato per determinare soluzione a problemi complessi con l'ausilio di un gruppo di esperti.

Sulla base di questo principio si è cercato di quantificare alcune delle costanti del modello JMarinas. In particolare sono stati sottoposti ad una gruppo di esperti nel settore della gestione portuale, due questionari: uno per la determinazione del peso relativo delle diverse variabili responsabili dell'inquinamento nei porti e l'altro per la determinazione dei coefficienti di dispersione dei diversi inquinanti.

I questionari sono costruiti con una scala Likert[6] a 7 item

III.3.1 Scala Likert

La scala Likert viene comunemente impiegata nella ricerca sociale per misurare atteggiamenti ed opinioni ([7],[8]). La tecnica fu inventata nel 1932 dallo psicologo americano Rensis Likert con lo scopo di elaborare un nuovo strumento, più semplice rispetto ad altri, per la misura delle opinioni e degli atteggiamenti.

La scala Likert prevede che una lista di affermazioni (items), semanticamente collegati con gli atteggiamenti che si vuole indagare, venga sottoposta ad un gruppo di individui assieme a cinque o sette possibili alternative di

risposta: *molto d'accordo, d'accordo, più o meno d'accordo, incerto, più o meno in disaccordo, in disaccordo, molto in disaccordo*. La versione originale della scala proposta da Likert era una scala a 5 items che andavano da *strongly agree* a *strongly disagree*.

In realtà è stato dimostrato come ci sia una sostanziale equivalenza tra le scale a 5, 7 e 10 items ([9]). La versione originale prevedeva anche l'assegnazione di un punteggio agli item, da 1 a 5. Esistono anche altri modi per assegnare il peso agli item, ed in particolare ci si è rifatti alla scala proposta da P.Rostirolla [43]. Nella tabella III.2 sono riportati i valori assegnati ai diversi item a seconda del numero di alternative che si desidera usare.

Normalmente i questionari sono costruiti in modo da sondare il parere di una persona sottoponendo ad esso diverse affermazioni e registrando il suo accordo con esse. Nei questionari per la valutazione delle variabili e dei coefficienti di dispersione invece non esistono delle vere e proprie affermazioni, anche se la struttura resta concettualmente la stessa. Quello che è importante è che vengano rispettate le caratteristiche generali della scala Likert:

1. *Unidimensionalità degli atteggiamenti oggetti d'indagine*: le diverse affermazioni utilizzate devono riferirsi allo stesso concetto, ossia gli items devono rilevare la stessa proprietà e misurare quindi la stessa cosa.
2. *Concettualizzazione* di questa dimensione come continua: l'atteggiamento è considerato come un continuum, ovvero le modalità di risposta vengono ordinate lungo un continuo sottostante che esprime l'orientamento dell'atteggiamento; quindi, sono gli stessi soggetti che determinano la loro posizione in base alle risposte date.
3. *Equidistanza tra le categorie di risposta*: si dà per scontato che le posizioni percepite siano le stesse per ciascuna categoria e per tutti gli intervistati; ovvero si presuppone che la distanza tra “completamente d'accordo” e “d'accordo” sia uguale a quella che c'è fra “disaccordo” e “completamente in disaccordo”, così come rispetto alla categoria “incerto”.

Interpretazione

Analisi dati Una volta provveduto alla somministrazione degli item, è necessaria un'analisi della distribuzione delle risposte. Tale controllo si ottiene:

- attraverso l'analisi qualitativa degli istogrammi relativi alle risposte del campione, ricercandone la similarità con una distribuzione a campana del tipo normale;
- attraverso l'analisi dei valori di asimmetria e kurtosi della distribuzione;
- sintesi attraverso la moda o la mediana (non la media); la moda resta probabilmente la più attendibile e facile da applicare;
- l'analisi degli interquartili.

Dal punto di vista dell'informazione che si ottiene una distribuzione asimmetrica o con elevata kurtosi sottolinea che un item induce la stessa risposta per una porzione troppo estesa della popolazione e non la variabilità di risposte che è un assunto della scala Likert.

III.4 Indice di Vulnerabilità

La potenziale vulnerabilità a fenomeni di inquinamento di un porticciolo si può considerare determinata, secondo quanto proposto nel progetto PHAROS ([45]), da un numero di fattori fra i quali i più significativi possono essere considerati:

- le attività che vi si svolgono;
- il livello di sfruttamento del porticciolo;
- la capacità di ricircolo delle acque;
- la presenza di zone di forte ristagno.

Considerando questi fattori all'interno di un modello quali-quantitativo è possibile attribuire un livello di vulnerabilità al porticciolo su una scala arbitraria fra 0 (vulnerabilità nulla) a 10 (alta vulnerabilità).

La vulnerabilità totale del porticciolo si calcola per sommatoria di 7 diversi contributi (*Forma, Irregolarità, Occupazione, Capacità di rinnovo, Orientazione, Sfruttamento, Attività*) tutti calcolabili grazie a parametri di facile determinazione ottenibili grazie ad osservazione diretta del porticciolo o da calcoli effettuabili su una mappa dettagliata delle strutture portuali.

I calcoli e la rappresentazione grafica delle sette variabili che vanno a concorrere al valore totale della vulnerabilità sono riportati in seguito.

Forma Il modello considera come fattore negativo ai fini della potenziale vulnerabilità a fenomeni di inquinamento la forma allungata della struttura del porticciolo che può favorire fenomeni di ristagno delle acque e difficoltà di rinnovo operato dalle acque in entrata dalla bocca di porto. Per considerare questi fattori è necessario calcolare l'area del massimo cerchio inscrittibile all'interno del porticciolo (senza considerare la presenza dei moli o delle strutture aggettanti) e l'area del minimo cerchio circoscrivibile allo specchio acqueo del porticciolo. Il rapporto fra questi due valori, come calcolato nella formula seguente (III.3), è variabile fra 0 (miglior condizione possibile) e 1 (peggior condizione possibile) e rende conto del fattore forma del porticciolo in esame.

$$Form = 1 - \frac{D_M^{Iscr}}{D_m^{circ}} \quad (III.3)$$

Irregolarità Si assume in questo caso che la potenziale vulnerabilità del porticciolo sia influenzata da una forma irregolare delle strutture che può ostacolare la libera circolazione delle acque, creare zone di ristagno o accumulo e favorire l'isorgere di fenomeni di inquinamento. L'irregolarità del profilo delle strutture del porticciolo viene esaminata grazie al rapporto fra il valore ottenuto calcolando la radice quadrata dell'area dello specchio acqueo confinato dal porticciolo e il valore del perimetro dello specchio acqueo (ignorando la presenza di pontili).

Il rapporto fra questi due valori, come calcolato nella formula seguente, è variabile fra 0 (miglior condizione possibile) e 1 (peggior condizione possibile) e rende conto del fattore dato dalla irregolarità del profilo interno della struttura portuale.

$$Irr = 1 - 3.5 * \left(\frac{\sqrt{S_{acqua}}}{P_{interno}} \right) \quad (III.4)$$

Occupazione La circolazione generale all'interno di un porticciolo può considerarsi influenzata anche da quanto ingombranti e numerose risultano essere le strutture dei pontili. Il livello di occupazione può essere determinato in relazione all'area occupata dai pontili e all'area totale dello specchio acqueo confinato dal porticciolo.

Il rapporto fra questi due valori, come calcolato nella formula seguente, è variabile fra 0 (miglior condizione possibile) e 1 (peggior condizione possibile)

e rende conto dell'ingombro dei pontili e della possibilità che questi vincolino la circolazione delle acque.

$$Occ = \frac{S_{pontili}}{S_{acqua}} \quad (III.5)$$

Capacità di rinnovo Il modello considera un vantaggio ai fini della diminuzione della potenziale vulnerabilità all'inquinamento la presenza di una (o più di una) ampia apertura verso l'esterno che possa favorire un buon rinnovo delle acque. Per considerare questo fattore è necessario calcolare l'estensione del perimetro interno del porticciolo e l'estensione lineare delle bocche di porto.

Il rapporto fra questi due valori, come calcolato nella formula seguente, è variabile fra 0 (miglior condizione possibile) e 1 (peggior condizione possibile) e rende conto dell'estensione della bocca di porto in relazione all'ampiezza del porto medesimo.

$$CapR = 1 - \frac{L_{bocca}}{P_{int}} \quad (III.6)$$

Orientazione Strettamente collegato con il valore precedente questo fattore considera quanto la corrente dominante all'esterno del porto abbia facilità ad entrare nel porticciolo e dunque rinnovare le acque presenti nel porticciolo. Per considerare questo fattore è necessario calcolare l'angolo che la direzione della corrente dominante forma con una retta di riferimento e quello che è identificato dalla direttrice della bocca di porto con la medesima retta. La differenza fra questi due valori, divisa per la massima differenza possibile, come calcolato nella formula seguente, è variabile fra 0 (miglior condizione possibile) e 1 (peggior condizione possibile) e rende conto della propensione che la struttura portuale mostra all'entrata di acque di rinnovo al suo interno.

$$Or = (\phi_{corrente} - \phi_{bocca})/180 \quad (III.7)$$

Sfruttamento Fra i parametri non strutturali si è considerata l'intensità di sfruttamento delle strutture del porticciolo che può tenere conto di quanto la presenza di imbarcazioni all'interno del porticciolo nell'arco di un anno si avvicina alla capienza massima della struttura. Il calcolo riportato di seguito riporta le presenze registrate nell'arco di un anno a una media giornaliera e

le confronta con la massima capienza totale. Il valore varia da 0 (miglior condizione possibile) a 1 (peggior condizione possibile).

$$Sfrut = (n_{annuo}/365)/n_{disp} \quad (III.8)$$

Attività Un ulteriore contributo alla propensione del porticciolo all'instaurarsi di fenomeni di inquinamento può essere dato dalla presenza all'interno dell'ambiente portuale di attività potenzialmente inquinanti. Se si registra la presenza di una delle sotto elencate attività è necessario aggiungere un'aliquota che va ad incrementare il computo totale della vulnerabilità del porticciolo.

- Presenza cantieri = + 0.33
- Presenza distributore carburante = + 0.33
- Presenza sbocchi acqua dolce = + 0.33

Una volta calcolati tutti i contributi si giunge alla vulnerabilità totale del porticciolo per sommatoria dei sette parametri ottenuti, pesata per raggiungere il valore 10 a fondo scala.

$$V = \frac{10 * (Form + Irr + Occ + CapR + Or + Sfrut + Att)}{7} \quad (III.9)$$

Il valore di potenziale vulnerabilità più alto (vulnerabilità 10) sarà raggiunto solo nel caso in cui tutti i parametri considerati diano valore massimo e dunque nel caso in cui ogni vulnerabilità considerata sia estremamente elevata all'interno del porticciolo.

CAPITOLO IV

Parte sperimentale

Dal punto di vista pratico la prima operazione che si deve compiere, dopo l'avvio del software, è quella di importare in JMarinas la mappa del porto che si vuole studiare. Questa deve essere un'immagine .gif e deve essere possibilmente orientata in modo da presentare l'asse maggiore coincidente con l'asse delle ascisse (questa specifica non è restrittiva, però riduce gli errori di calcolo).

Su questa mappa vengono eseguite la maggior parte dei calcoli. Ogni variabile è calcolata attraverso gli input dell'utente che passa da una funzione all'altra utilizzando la navigazione a lato.

È importante che le operazioni vengano eseguite tutte e nell'ordine stabilito perché alcuni calcoli hanno bisogno delle informazioni inserite in precedenza. Questo non impedisce, una volta inseriti i dati, di tornare sui propri passi e modificare una o più variabili.

La parte sperimentale è distinguibile tra le operazioni che hanno portato alla costruzione del modello JMarinas (a cui viene affiancata la fase di *verifica*) e le successive operazioni di implementazione (*calibrazione* e *validazione*).

In questo capitolo verranno principalmente discusse le operazioni matematiche relative al calcolo delle diverse matrici, rispettando "l'ordine di apparizione" nell'uso di JMarinas, ma prima verranno presentate le operazioni necessarie all'applicazione e la costruzione del modello, cioè l'elaborazione e l'analisi dei dati sperimentali.

IV.1 Organizzazione dei dati sperimentali

IV.1.1 Elaborazione dati sperimentali

In questa sezione si vogliono discutere le operazioni che sono state eseguite sui dati provenienti dalle analisi strumentali, compiute nell'ambito del progetto PHAROS, necessarie per la fase di validazione del modello JMarinas.

I dati di laboratorio sono stati trattati in modo da poter essere confrontati con le risposte del modello. Si pone quindi una questione ampia e delicata poiché se è vero che da una parte il modello deve dare risultati attendibili, è anche vero che il campionamento e le analisi sono soggetti ad errori a loro volta di cui si dovrà in qualche modo tener conto.

La struttura del campionamento e le analisi eseguite sulle acque di colonna e sui sedimenti sono stati precedentemente trattati (Capitolo II.3.3) nella parte introduttiva della tesi.

L'obiettivo dell'elaborazione dei dati sperimentali è quello di produrre un valore numerico semplificato, rispetto alle misure di laboratorio, che sia confrontabile con le risposte del modello senza però far sì che perda l'informazione originale.

Le analisi di laboratorio hanno riguardato molti parametri di interesse ambientale, che, per semplicità, sono stati classificati in distrofici, chimici ed igienico-sanitari. I dati sperimentali devono essere trattati in modo che si ottenga un indice adimensionale rappresentativo della categoria inquinante di appartenenza.

Il problema è quindi riconducibile alla produzione di indici adatti al confronto del grado di inquinamento per ciascuna classe di inquinanti.

Le analisi riguardano molti parametri con molte unità di misura diverse ed anche quando le unità di misura sono le stesse (come le misure di concentrazione) non necessariamente i diversi valori risultano confrontabili.

Per ovviare a questo inconveniente si è pensato di normalizzare i dati sui valori soglia previsti dalla legge o dalla bibliografia ([15]). Questa operazione permette di ottenere per ogni misura sperimentale un numero puro che sia rappresentativo di quanto un dato parametro è lontano dai limiti stabiliti per un ecosistema non impattato.

Questa operazione permette, ad esempio, di confrontare diversi inquinanti, non sulla base della loro concentrazione in termini assoluti, ma della concentrazione per cui questi hanno effetti sugli organismi.

Resta comunque il problema di confrontare parametri che abbiano lo stesso

peso nella definizione dello stato di inquinamento. Non si possono per esempio confrontare concentrazioni e valori di un singolo parametro con indici di qualità più complessi. Altrimenti si dovrebbe riconoscere a tali indici un peso maggiore difficilmente quantificabile.

Parametri Chimici

Metalli I metalli hanno numerosi impieghi all'interno del porto (vernici, olii motore, batterie, pesticidi, etc...) e pertanto sono spesso presenti in grandi concentrazioni.

I metalli sono stati analizzati per i sedimenti e le concentrazioni soglia considerate sono state prese dalla pubblicazione sulla qualità dei sedimenti della NOAA ([15]). Vengono proposti due diversi limiti di concentrazione: L'**ERL** (*Effects Range-Low*) e l'**ERM** (*Effects Range-Median*).

L'ERL e l'ERM rappresentano rispettivamente il decimo ed il cinquantesimo percentile per cui si vedono effetti di tossicità sugli organismi.

Per la normalizzazione è stato considerato il valore dell'ERM poiché considerato dalla stessa NOAA più affidabile. I metalli pesanti misurati sono stati: *As, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, Ag, Cd, Cr*.

Osservando i dati normalizzati medi per le diverse stazioni (Tabella IV.1), e le rappresentazioni grafiche nelle figure IV.1 e IV.2 con la distinzione dei diversi metalli, si osserva come nel porto di Aregai nella stagione estiva (ad eccezione della stazione 4) vi siano, valori molto alti delle concentrazioni di metalli ed in particolare di Hg. Le ragioni potrebbero essere legate alla mareggiata che ha colpito il porto, più che ad una situazione dovuta all'inquinamento cronico.

Si può notare anche come l'ordinamento relativo delle diverse stazioni sia rispettato a Portosole mentre nella marina di Aregai le stazioni che erano migliori in estate risultano le peggiori in inverno.

La varianza per il totale dei metalli nel porto di Aregai è pari a 0.557, mentre per Portosole vale 0.0035. Portosole infatti presenta variazioni stagionali di molto inferiori ad Aregai ed una sostanziale uniformità della qualità delle stazioni nel tempo.

La rappresentazione dei rapporti percentuali (Figura IV.2) mostra, in particolare per Portosole, come le proporzioni tra i diversi metalli sia simile da stazione a stazione, e questo anche confrontando con la quarta stazione di Aregai.

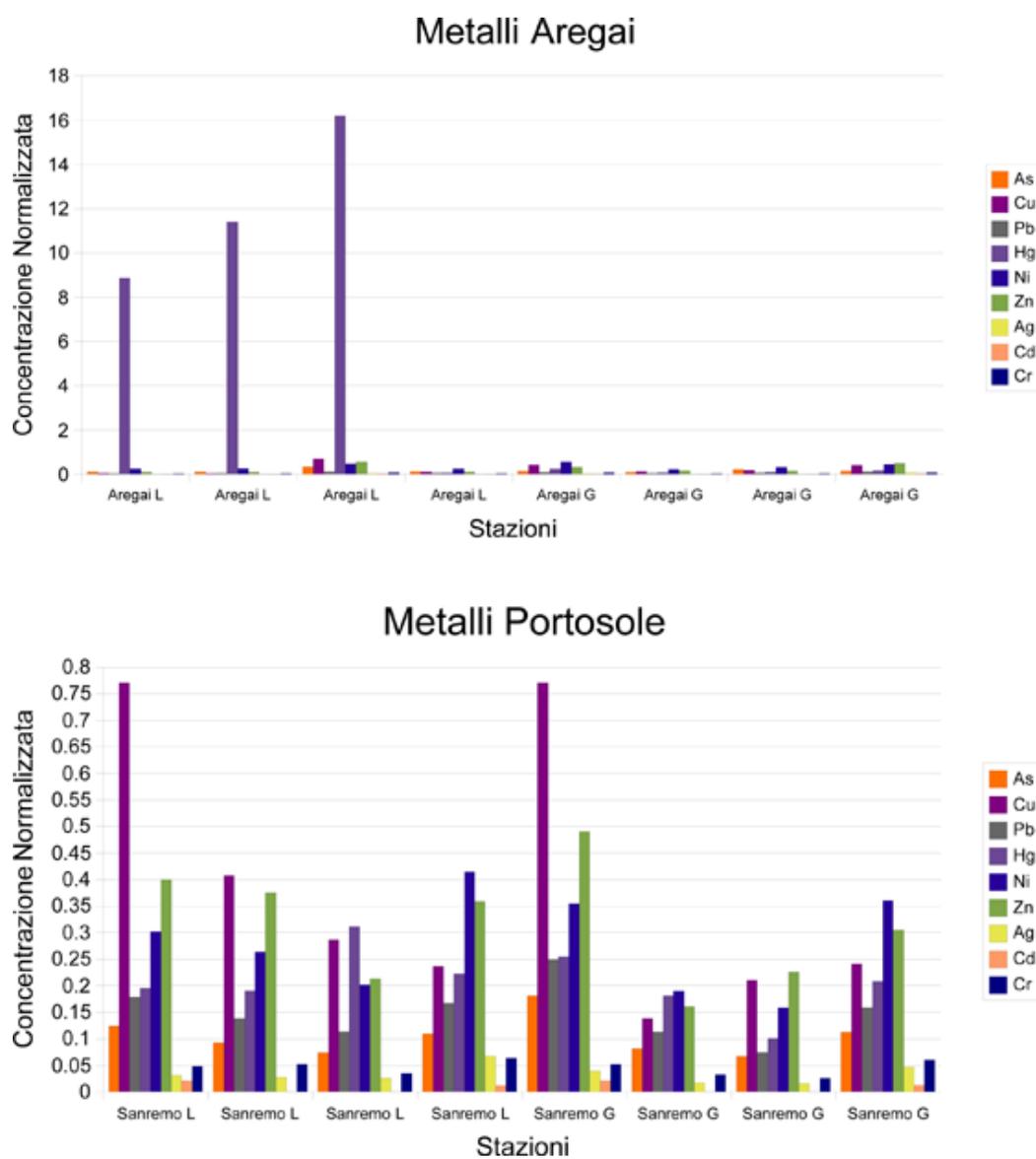


Figura IV.1 – Rappresentazione delle concentrazioni di metalli normalizzate.

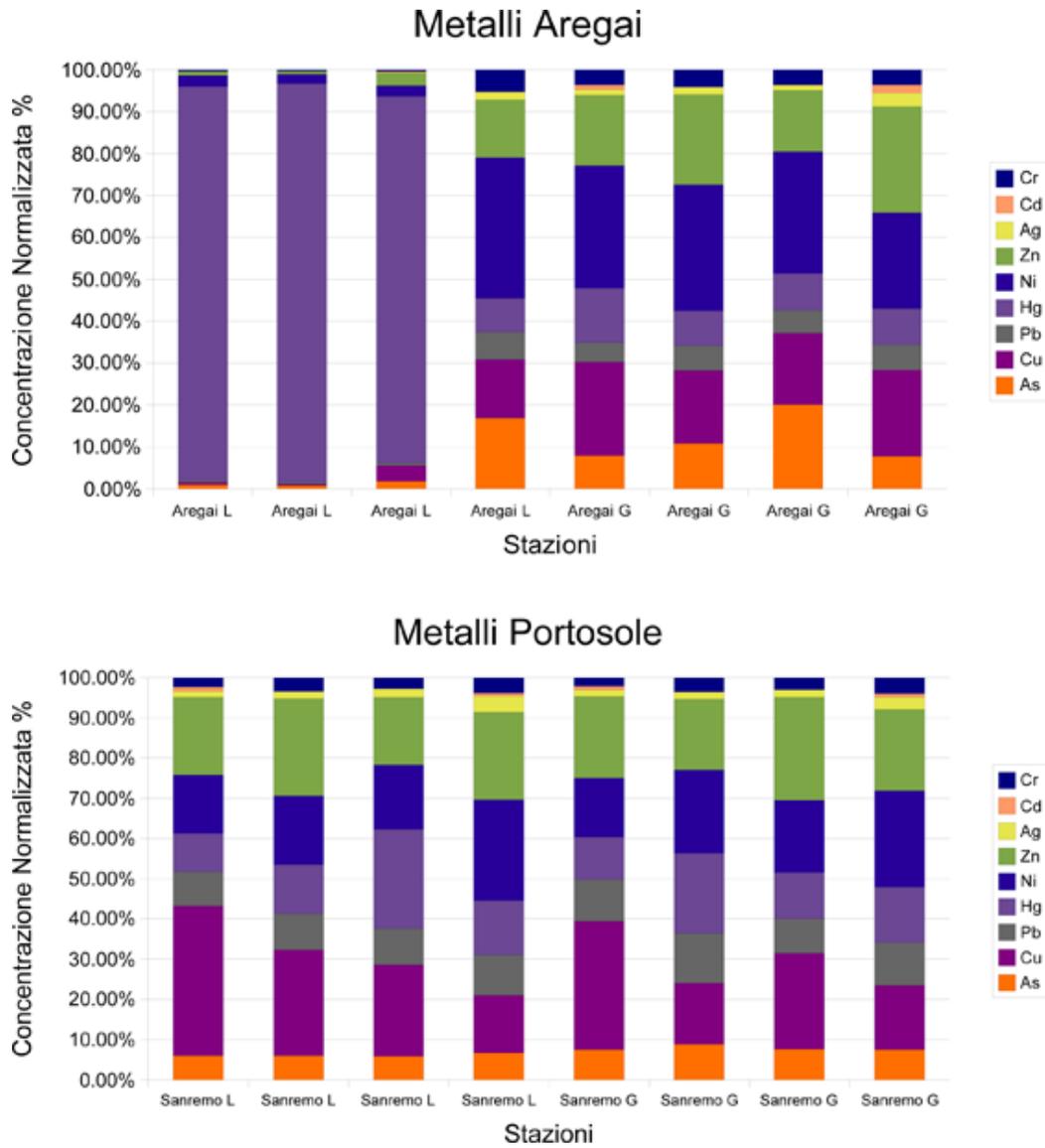


Figura IV.2 – Rappresentazione delle concentrazioni di metalli normalizzate espresse come percentuale del totale.

	Gennaio				Luglio			
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4
Aregai	1.048	1.332	2.056	0.083	0.211	0.085	0.120	0.220
Portosole	0.230	0.172	0.140	0.184	0.268	0.102	0.098	0.167

Tabella IV.1 – Medie sui dati pesati complessivi dei Metalli.

	media estiva	media invernale
Aregai	1.13	0.16
Portosole	0.18	0.16

Tabella IV.2 – Media su tutte le stazioni dei dati pesati del totale dei metalli.

La concentrazione dei metalli, come dimostra la Tabella IV.2, sono maggiori in estate rispetto all'inverno.

IPA Per gli Idrocarburi Policiclici Aromatici, prelevati nella colonna d'acqua, si è proceduto esattamente nello stesso modo che per i metalli. L'unica differenza è nel riferimento per la normalizzazione poiché sono stati considerati i limiti previsti del D.M. 6/11/2003 n°367 per la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico.

Sono stati considerati solo quegli IPA menzionati nella normativa ed i valori ottenuti dalle analisi di laboratorio sono stati normalizzati sul valore soglia.

Su questi valori sono poi state misurate le medie, su tutti gli IPA, per stazione, stagione e porto (IV.3). Poiché il dato è stato normalizzato l'operazione ha significato statistico.

Si osserva per gli IPA, meglio che per i metalli, la costanza nella proporzione dei diversi idrocarburi (Figura IV.4).

Dai dati in tabella IV.4 emerge poi una media delle concentrazioni di IPA un po' più alta in estate che in inverno, per il porto di Portosole, mentre viceversa nel porto di Aregai.

Per quanto riguarda Portosole la concentrazione degli IPA misurati nelle diverse stazioni cambia con la stagione ma resta relativamente invariata tra le diverse stazioni. In altre parole le stazioni peggiori restano tali sia in estate che in inverno e così le migliori.

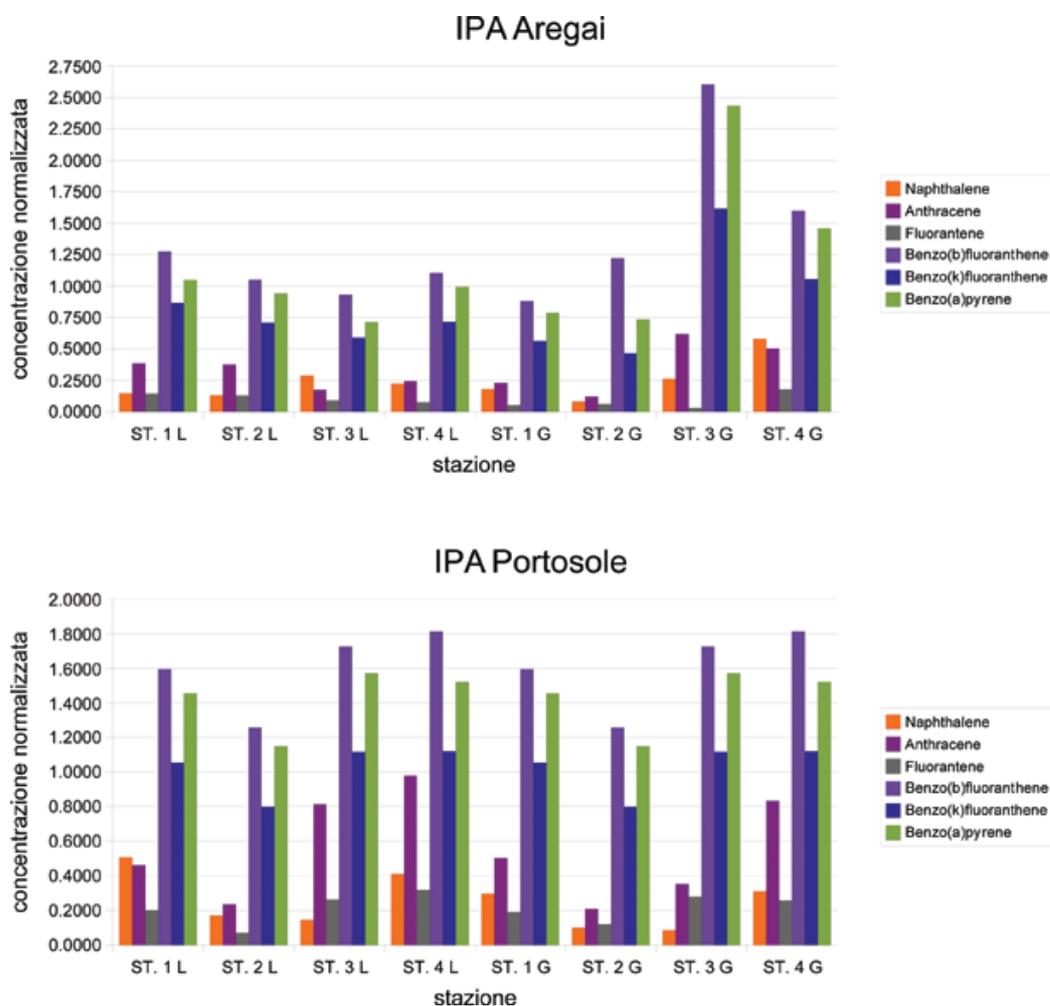


Figura IV.3 – Rappresentazione delle concentrazioni di metalli normalizzate.

	Gennaio				Luglio			
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4
Aregai	0.880	0.614	0.940	1.027	0.849	0.606	0.855	0.976
Portosole	0.644	0.555	0.464	0.559	0.448	0.447	1.260	0.895

Tabella IV.3 – Medie sui dati pesati complessivi degli IPA.

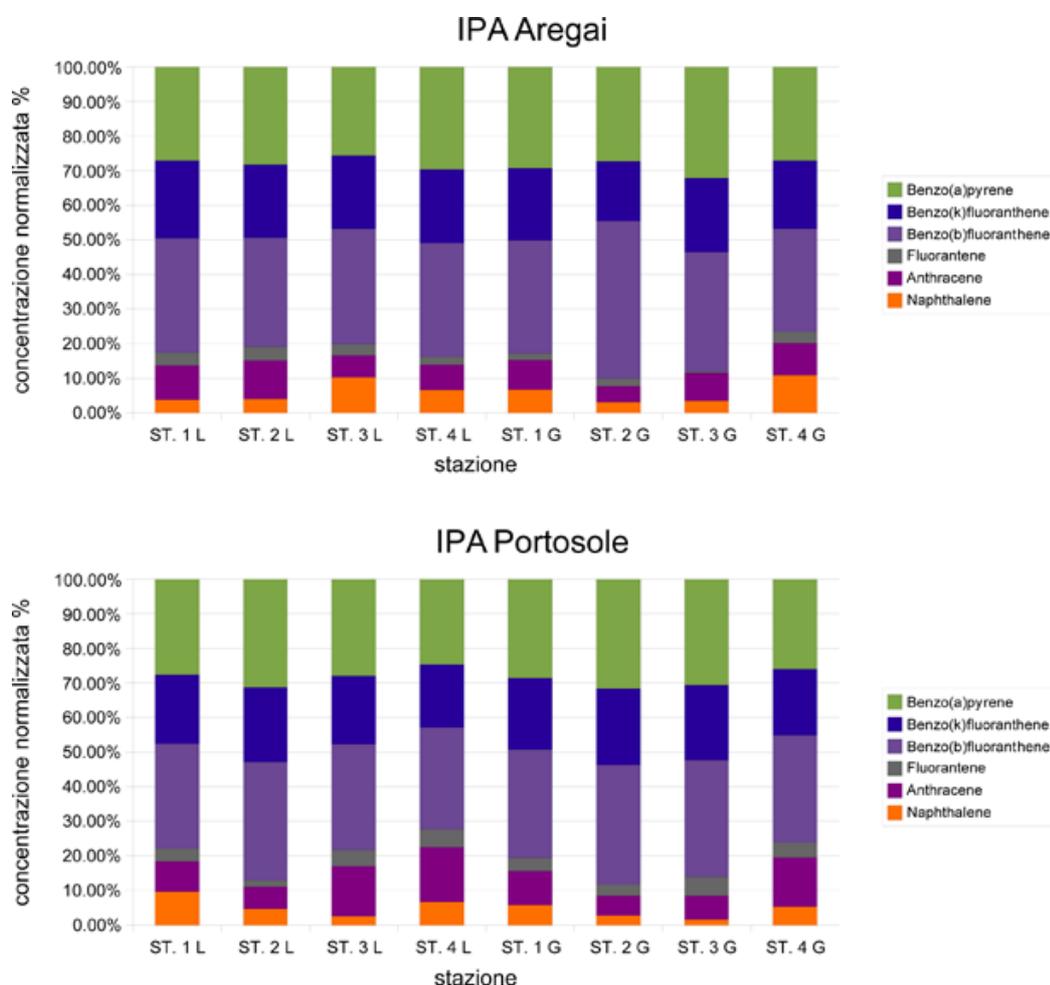


Figura IV.4 – Rappresentazione delle concentrazioni normalizzate di metalli espresse come percentuale del totale.

	media estiva	media invernale
Aregai	0.5556	0.7627
Portosole	0.8652	0.8217

Tabella IV.4 – Media su tutte le stazioni dei dati pesati degli IPA totali

	Aregai		Portosole	
	Metalli	IPA	Metalli	IPA
Gennaio	0.16	0.76	0.21	0.87
Luglio	1.13	0.56	0.16	0.82

Tabella IV.5 – Medie di tutte le stazioni sui dati pesati complessivi degli IPA e metalli.

Invece le stazioni ad Aregai hanno registrato ampie variazioni tra una stagione e l'altra. La stazione che a luglio ha registrato la minore concentrazione media di IPA (stazione 3), a gennaio ha registrato la concentrazione maggiore con uno scarto considerevole.

Le ragioni di queste differenze possono solo in parte essere spiegate con variazioni legate alla stagione.

Correlazione tra IPA e Metalli A questo punto è interessante esaminare la presenza di una possibile correlazione tra le concentrazioni di IPA e metalli. L'obiettivo è cercare di capire se le due variabili, possono essere considerate in un unico parametro di inquinamento chimico.

Prima di tutto vengono considerati i dati medi sul mese di gennaio e luglio per i porti di Aregai e Portosole (Tabella IV.5).

Su questi dati si calcola poi la differenza, per i Metalli e per gli IPA, tra media e valori per ciascuno dei due porti. In questo modo si possono confrontare gli andamenti dei metalli e degli IPA rispetto alla media.

I valori così ottenuti sono rappresentati in Figura IV.5.

I valori delle concentrazioni dei metalli a Portosole presentano un andamento piuttosto regolare, mentre sono molto variabili da stazione a stazione nel porto di Aregai. Gli IPA al contrario variano stagionalmente a Portosole, rispettando una proporzione di concentrazione tra le stazioni, mentre sono più uniformi, sia nelle stagioni che tra le stazioni, ad Aregai.

Successivamente sono state calcolate le differenze tra gli scarti dei metalli e degli IPA dalla loro media, per verificare di quanto l'andamento dei metalli differisca da quello degli IPA, e quindi se si può dire che quando sono alte le concentrazioni di metalli lo sono anche quelle degli IPA, e viceversa. Il risultato di questa operazione è rappresentato nei grafici IV.6.

Se le due misure normalizzate di metalli ed IPA fossero fortemente correlate il valore degli scarti sarebbe pari a zero. Più il valore dello scarto è grande tanto più la correlazione è bassa.

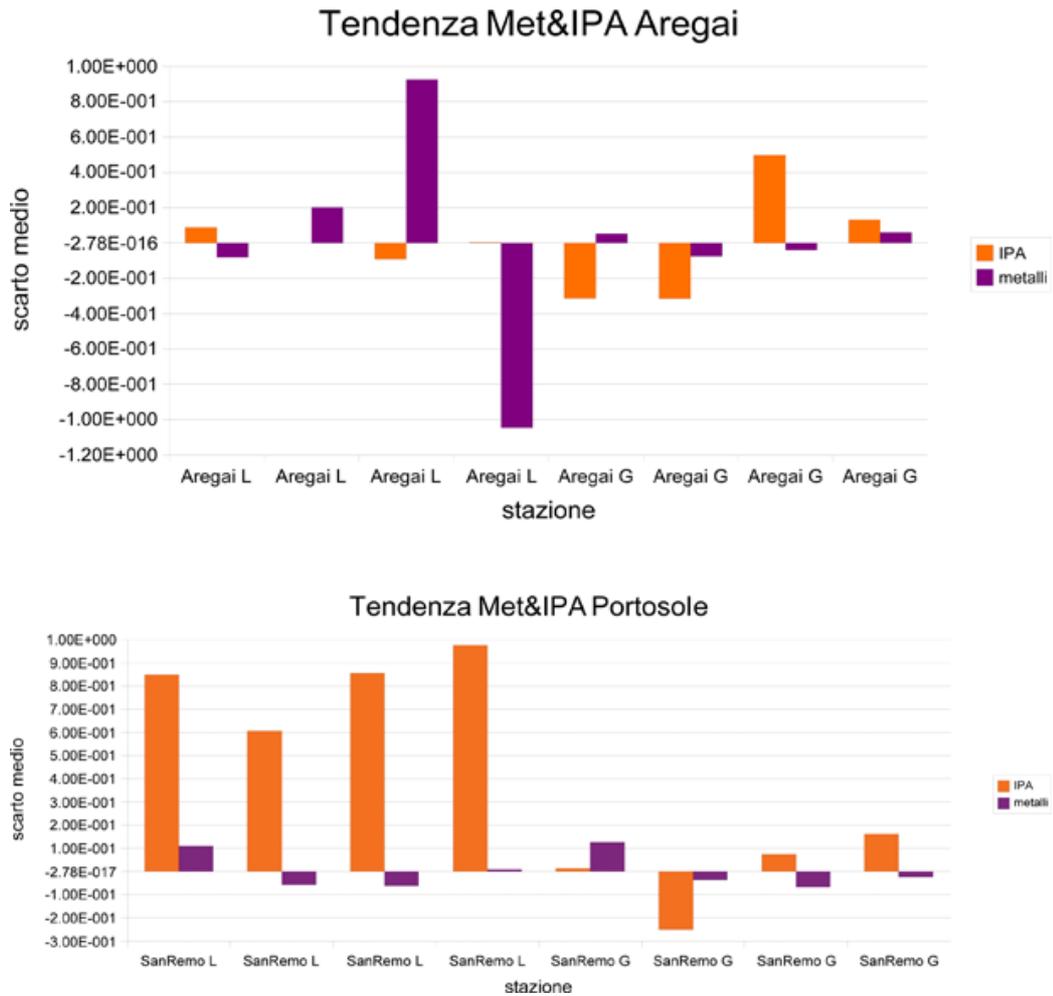


Figura IV.5 – Rappresentazione dell'andamento delle concentrazioni normalizzate di metalli ed IPA.

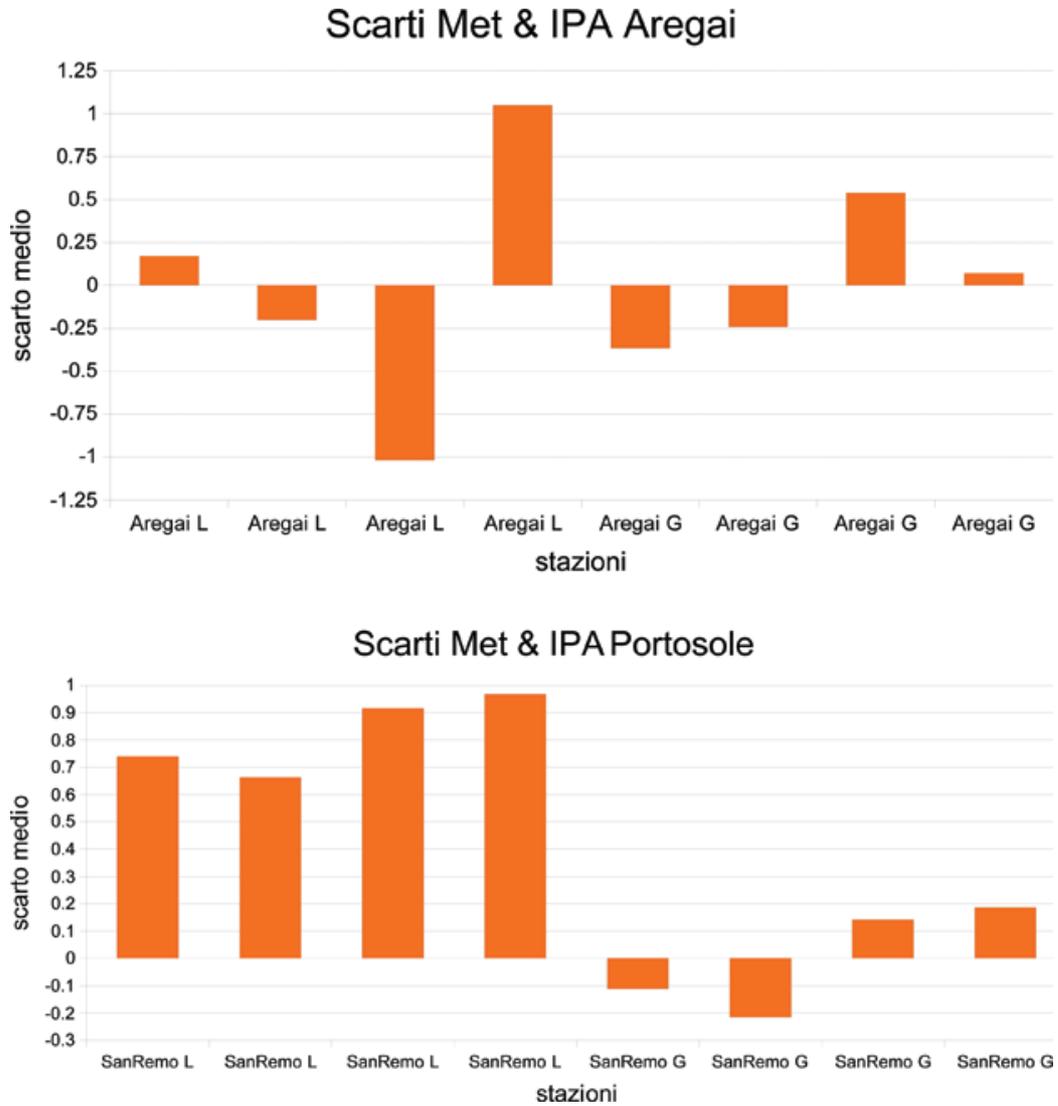


Figura IV.6 – Rappresentazione della differenza tra le concentrazioni normalizzate di metalli ed IPA.

	Aregai		Portosole	
	Gennaio	Luglio	Gennaio	Luglio
Varianza	0.16	0.74	0.04	0.02

Tabella IV.6 – valori di Varianza

Osservando i grafici si osservano scarti molto grandi per i campioni prelevati in Luglio ad Aregai, mentre per il mese di Gennaio, gli scarti si presentano più prossimi allo zero, dimostrando una minore variabilità.

I campioni prelevati a Portosole hanno scarti più ampi a Gennaio che a Luglio ma sono comunque sia complessivamente che singolarmente minori di quelli registrati a Portosole, come dimostra il calcolo della varianza (Tabella IV.6). Questo dato è in accordo con le alte concentrazioni di metalli, ed in particolare di Hg, riscontrate nelle stazioni più prossime alla banchina del porto di Aregai nel mese di Luglio.

Alla luce delle suddette considerazioni si è deciso di misurare come un'unica variabile di inquinamento chimico la somma delle concentrazioni mediate dei metalli e degli IPA.

Parametri Distrofici

Analogamente alla misura di Metalli ed IPA, si è cercato di verificare se c'è correlazione tra i vari parametri di inquinamento distrofico. Dei dati sperimentali raccolti dal laboratorio del Dip.Te.Ris per questo lavoro sono stati considerati: Chl-a ($\mu\text{g/g}$), Feo ($\mu\text{g/g}$), PRT (mg/g), CHO (mg/g), CCHO (mg/l). Anche nel caso degli inquinanti di tipo distrofico sono stati utilizzati i limiti di legge per la normalizzazione delle variabili.

Una volta eseguita tale operazione, i valori che otteniamo per le diverse stazioni nei diversi periodi dell'anno sono riportati in forma grafica (Figure IV.7, IV.8).

Per il porto di Aregai le stazioni per cui si dispone di tali misure e sono 8, cioè quelle riportate sull'immagine II.1.

Per le stazioni di Aregai è meno evidente, ma per le stazioni di Portosole si nota come le diverse variabili di misura di attività biologica, siano tutte fortemente correlate. In particolare la concentrazione normalizzata percentuale mostra rapporti costanti durante l'anno, con differenze tra stazione e stazione che si ripropongono quasi negli stessi rapporti al variare delle sta-

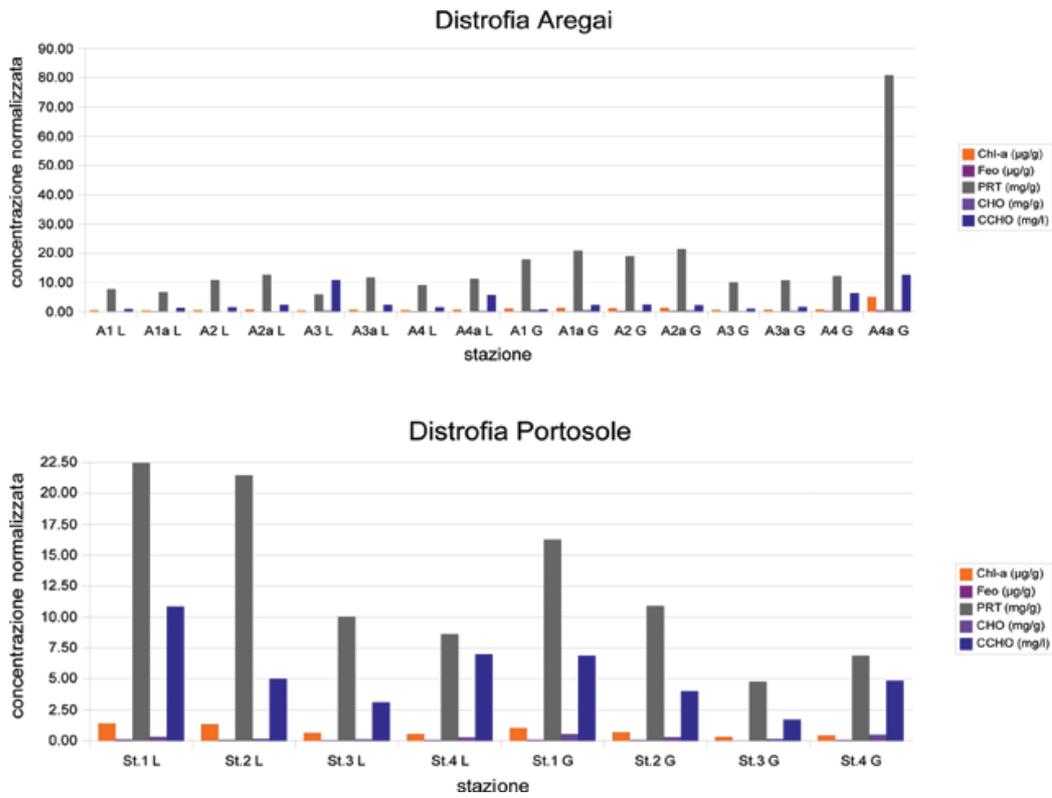


Figura IV.7 – Rappresentazione delle concentrazioni dei metalli normalizzate espresse come percentuale del totale.

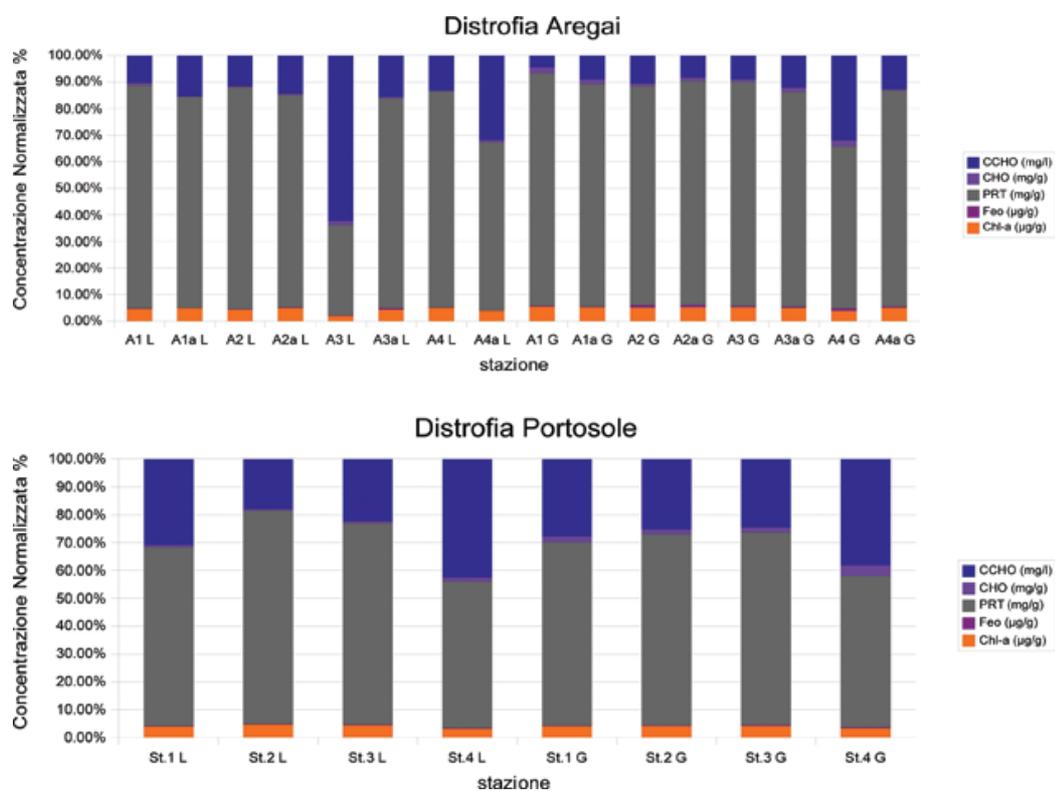


Figura IV.8 – Rappresentazione delle concentrazioni dei metalli normalizzate espresse come percentuale del totale.

		Gennaio	Luglio
Aregai	St.1	1.074	1.912
	St.1a	1.264	2.880
	St.2	1.684	2.908
	St.2a	2.135	2.884
	St.3	5.934	1.374
	St.3a	1.582	1.700
	St.4	1.291	5.025
	St.4a	4.293	12.520
Portosole	St.1	7.548	5.515
	St.2	4.222	3.242
	St.3	2.426	1.404
	St.4	4.581	3.790

Tabella IV.7 – Medie sui dati pesati complessivi dei parametri distrofici.

gioni (Figure IV.7 e IV.8).

La correlazione è più bassa per le stazioni di Aregai, dove l'attività biologica sembra essere ridotta nelle prime 6 stazioni di luglio rispetto a gennaio. Comunque resta notevole la costanza del rapporto percentuale nel mese di gennaio.

Dall'analisi dei valori numerici (Tabella IV.7), emerge poi la solita variabilità per il porto di Aregai, caratterizzato da grandi oscillazioni, con le stagioni e tra le stazioni, mentre resta uniforme, nella qualità relativa delle stazioni, il porto di Portosole.

Tra una stagione e l'altra poi la Tabella IV.8 mostra come l'attività biologica sia ridotta in estate rispetto all'inverno, nel porto di Aregai, mentre sia maggiore in estate rispetto all'inverno, e quindi invertita, a Portosole.

L'indice che produciamo per la misura dei parametri di inquinamento distrofico nella validazione del modello è quindi dato dalla media delle precedenti variabili in forma normalizzata.

Parametri Igienico-Sanitari

Come parametri di inquinamento igienico sanitario è stato preso, come espresso nella Direttiva CEE 76/160, il numero di batteri *Coliformi fecali* su 100ml

	Aregai	Portosole
	Distrofia	Distrofia
Gennaio	5.97	3.01
Luglio	2.69	4.67

Tabella IV.8 – Medie di tutte le stazioni sui dati pesati complessivi dei parametri di attività biologica.

		Luglio	Gennaio
Aregai	St.1	0.52	0.83
	St.2	0.20	0.08
	St.3	0.06	0.07
	St.4	0.01	0.02
Portosole	St.1	0.01	0.01
	St.2	0.04	0.00
	St.3	0.61	0.01
	St.4	0.04	0.01

Tabella IV.9 – Medie sui dati pesati complessivi dei parametri di inquinamento igienico sanitario.

di acqua.

La direttiva prevede un limite più basso di 100 batteri per 100ml come linea guida ed uno di 2000 batteri ogni 100ml come limite imperativo. Ai fini delle elaborazioni per la preparazione del modello è stato preso il limite inferiore visto il generale basso livello di inquinamento igienico-sanitario.

Queste analisi sono state eseguite per tutte le stazioni del porto di Portosole e per quattro delle otto stazioni della marina di Aregai.

I dati sono stati trattati come le altre variabili precedentemente dette e quindi normalizzate. I risultati per stazione di questi valori sono riportati in Tabella IV.9 mentre accorpando le diverse stazioni si ottengono i risultati totali divisi per stagione, riportati in Tabella IV.10.

Confronto parametri unificati

L'andamento complessivo dei tre indicatori così definiti, è rappresentabile graficamente (Figura IV.9).

È interessante notare come ci sia una tendenza comune tra le diverse tipo-

	Aregai Portosole	
	Coliformi fecali	
Gennaio	0.25	0.01
Luglio	0.20	0.17

Tabella IV.10 – Medie di tutte le stazioni sui dati pesati complessivi dei parametri di inquinamento igienico-sanitario.

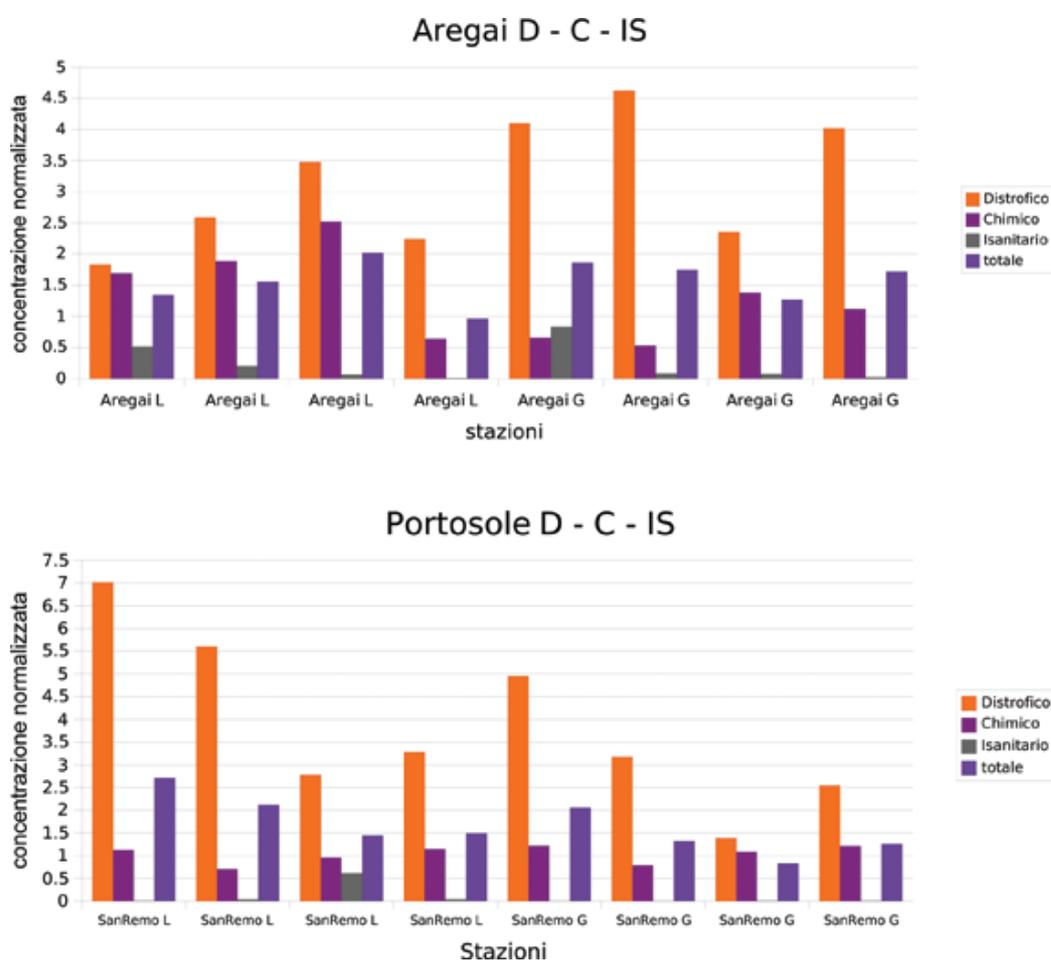


Figura IV.9 – Rappresentazione delle concentrazioni dei metalli normalizzate espresse come percentuale del totale.

logie di inquinamento. Questo è forse giustificabile se si considera l'influenza che possono avere le caratteristiche morfologiche del porto. È possibile infatti che zone con scarso ricambio d'acqua siano caratterizzate dall'accumulo di inquinanti sia di tipo chimico che distrofico. Zone con pari circolazione è presumibile che presenteranno pari concentrazione diverse specie.

La variazione potrebbe comunque essere giustificata con la vicinanza alle sorgenti di inquinamento o alla bocca di porto.

È da notare poi come le differenze che si evidenziavano precedentemente tra Aregai e Portosole con il cambio di stagione ed in particolare per la misura dei metalli nel porto di Aregai, spariscono se si considera una variabile complessiva di inquinamento, che sia la media tra le tre suddette categorie.

IV.1.2 Questionario

I coefficienti delle funzioni che costituiscono il modello, sono stati ricavati in parte dal processo di calibrazione, che ha permesso di correggere i parametri del modello nel confronto tra la risposta del modello e le analisi strumentali, ed in parte dall'uso di un questionario valutativo sottoposto ad un gruppo di esperti degli ambienti portuali.

Sono stati redatti due questionari: uno per la definizione dei pesi delle diverse matrici di dati ed un secondo per la determinazione dei coefficienti di dispersione delle sorgenti inquinanti.

Purtroppo per nessuno dei due dati sono mai state condotte ricerche sperimentali ed uno studio dedicato di tali variabili è fuori dagli obbiettivi di questa tesi.

È importante notare come il risultato del questionario sia un numero puro che rappresenta il rapporto tra le diverse specie considerate. Quindi nulla che possa dire quanto una sorgente è persistente o quanto è importante una determinata caratteristica del porto, in assoluto.

Questo aspetto è importante in quanto limita grandemente l'ampiezza del risultato che si ottiene da questo tipo di analisi. Però in un modello decisionale è più importante il rapporto tra le diverse alternative che l'universalità dell'informazione.

Le tabelle IV.11 e IV.12 rappresentano il testo dei questionari con il numero delle risposte per ogni item (*molto basso, basso, più o meno basso, etc...*).

Nella costruzione del modello JMarinas non si è tenuto conto della "circolazione prevalente" nonché della "presenza dei moli" (dei moli si tiene conto

	molto	basso	più o meno	medio	più o meno	alto	molto
Tortuosità	0	1	1	2	6	2	2
Prossimità sorgenti di inquinamento	0	0	1	0	3	3	7
Prossimità bocca di porto	2	1	2	3	3	1	2
Direzione prevalente di circolazione	0	1	4	2	3	2	2
Presenza moli	0	0	2	5	3	3	0
Presenza inquinanti esterni	0	0	0	0	5	4	5
Batimetria	0	0	1	6	2	3	1

Tabella IV.11 – Risultati questionario per i valori di dispersione degli inquinanti.

	molto	basso	più o meno	medio	più o meno	alto	molto
Distributori carburante	0	0	1	3	2	6	2
Acque Dilavamento allevamenti e agricoltura	0	0	3	1	5	2	1
Scarichi Fognari	0	0	2	1	0	5	6
Scarichi Industriali	0	0	0	1	1	2	10
Aree Lavaggio	0	0	1	4	3	3	2
Alghe o detriti algali	0	3	5	4	1	0	0
Immissioni fluviali acqua dolce	0	1	3	4	3	1	2
Acquacoltura	2	0	5	1	2	2	0

Tabella IV.12 – Risultati questionario per la determinazione del peso dei parametri.

nella definizione di tortuosità). Pertanto i risultati del questionario per queste variabili non sono considerati.

Il campione su cui sono state eseguite le analisi è molto piccolo però si nota una leggera tendenza nei dati. Le distribuzioni devono essere interpretati con la moda. Per campioni piccoli (in questo caso piccolissimi) si considera la moda del campione.

La moda è abbastanza netta nei risultati del questionario sulla persistenza dei diversi inquinanti, mentre non è sempre ben definita nel caso dei diversi fattori determinanti dell'inquinamento nei porti. Specialmente i dati relativi alla presenza di inquinanti esterni e sulla prossimità della bocca di porto. Nel primo caso la distribuzione è bimodale ma si è scelto di considerare il valore elevato, compreso tra le due mode, come rappresentativo della distribuzione, poiché la tendenza sembra essere quella e la distanza tra questo valore e le due mode è di solo un voto.

Per la vicinanza dalla bocca di porto, anche questa bimodale, con le due mode per item vicini, si è scelto di considerare l'item medio, cioè la moda inferiore, poiché si è deciso di considerare l'influenza dei voti intorno alle mode, i quali sono appunto spostati verso il valore più basso.

È necessario anche trovare un valore di dispersione per le diverse classi di inquinanti (inquinanti di tipo distrofico, chimico ed igienico sanitario). Questo dato è deducibile partendo dalla conoscenza delle diverse sorgenti di inquinamento e quindi conoscendo, in linea generale, che tipo di inquinamento portano nel bacino portuale. Per una trattazione più estesa dell'argomento bisogna rifarsi alla sezione sulle fonti di inquinamento (II.3.3), ma si può qui ricordare che, classificando gli inquinanti in tre classi, alcune sorgenti risultano essere portatori di inquinamento di diverso tipo. Rispetto al questionario, le sorgenti inquinanti possono essere distinte come in tabella IV.13.

Se con la tabella IV.13 si raccolgono i risultati del questionario sulla dispersione delle sorgenti inquinanti quello che si ottiene è la tabella IV.14.

Dai dati in tabella emergono distribuzioni unimodali. La moda viene quindi presa come valore della dispersione della generica classe inquinante.

Ad ogni item è poi associato un valore numerico come descritto nella precedente sezione ([43]). I risultati del questionario sono quindi riassumibili nelle tabelle IV.15 e IV.16 in cui sono riportati i valori così come stati utilizzati in JMarinas.

Bisogna notare che i risultati del questionario relativo alla determinazione del valore relativo dei coefficienti di dispersione degli inquinanti in ambiente portuale parte dal presupposto che l'ordine di grandezza sia lo stesso per

Tipo sorgente	Tipo inquinamento
Distributori carburante	c
Acque Dilavamento allevamenti e agricoltura	c – d – is
Scarichi Fognari	d – is
Scarichi Industriali	c – is
Aree Lavaggio	c
Alghe o detriti algali	d
Immissioni fluviali acqua dolce	d
Acquacoltura	d – is

Tabella IV.13 – Tipo inquinante per tipo di sorgente (d=distrofico; c=chimico; is=igienico-sanitario).

	molto	basso	più o meno	medio	più o meno	alto	molto
distrofiche	0	4	18	11	11	10	9
chimiche	0	0	5	9	11	13	14
igieniche sanitarie	2	0	10	4	8	11	17

Tabella IV.14 – Medie di tutte le stazioni sui dati pesati complessivi dei parametri di attività biologica.

Tipo inquinante	Valore dispersione
Acque agricole	6.36
Acque allevamenti	6.36
Acque fluviali	5
Aree lavaggi	5
Distributori carburante	7.73
Impianti acquacoltura	3.64
Presenza alghe	3.64
Scarichi Fognari	9.09
Scarichi Industriali	9.09
Distrofici	3.64
Chimici	9.09
Igienico-Sanitari	9.09

Tabella IV.15 – tipo inquinante per tipo di sorgente (d= distrofico; c= chimico; is= igienico-sanitario)

Variabile	Peso
Tortuosità	6.36
Prossimità sorgenti di inquinamento	9.09
Prossimità bocca di porto	5
Presenza inquinanti esterni	7.73
Batimetria	5

Tabella IV.16 – tipo inquinante per tipo di sorgente (d= distrofico; c= chimico; is= igienico-sanitario)

tutti. Questo poiché i risultati del questionario sono riferiti ad una scala con valori che differiscono al massimo di un ordine di grandezza.

Tuttavia tale limitazione non è considerata un problema, poiché si parte dal presupposto che tutte le sostanze che si riversano in acqua sono disciolte nella matrice acquatica e che quindi abbiano comportamenti simili.

IV.1.3 Vento prevalente

Per applicare il modello, nella fase di validazione in particolare, è importante sapere qual'è il vento dominante nel periodo per cui si hanno dati sperimentali. Questo non è il valore del vento prevalente su tutto l'anno bensì è stata considerata la media dei 6 mesi precedenti all'analisi. Il vento è infatti ritenuto un fattore importante nella circolazione del porto e la sua variazione uno delle cause della stagionalità.

Si è scelto quindi di considerare la media vettoriale dei venti mensili registrati nella stazione meteorologica più vicina ai porti di Aregai e Portosole cioè quella di Genova Sestri. I dati prelevati dal sito <http://www.euro-meteo.it> riferiti al trentennio 1961/1990, sono riportati in tabella IV.17.

Per trattare il dato dei venti è stato considerato l'angolo che questo forma con il Nord ($N = 0^\circ$, $NNE = 22.5^\circ$, $NE = 45^\circ$, *etc...*). Da questo poi è stata calcolata la somma vettoriale dei vettori di vento e la media di questi. Il calcolo è semplice, e utilizza il coseno ed il seno della direzione del vento moltiplicato per il modulo dell'intensità. In questo modo si ottengono le coordinate di tutti i vettori di vento mensili, centrati in (0,0) ed applicati in $(nodi * \cos(\alpha), nodi * \sin(\alpha))$, dove α è il valore della direzione del vento rispetto al Nord.

Basta poi considerare i mesi precedenti alla data del campionamento e farne la media sommando tutte le x e tutte le y , calcolando con il teorema di

Mese	Direzione	Nodi
gennaio	ENE	8
febbraio	ENE	8
marzo	ENE	8
aprile	SSE	8.5
maggio	SSE	2
giugno	SSE	5
luglio	SSW	5
agosto	S	5
settembre	SSE	8.5
ottobre	ENE	8.5
novembre	ENE	8
dicembre	ENE	8

Tabella IV.17 – Direzione ed intensità dei venti prevalenti mensili misurati a Genova Sestri.

Luglio	X	Y	Giugno	X	Y
febbraio	3.06	7.39	agosto	-5	0
marzo	3.06	7.39	settembre	-7.85	3.25
aprile	-7.85	3.25	ottobre	3.25	7.85
maggio	-1.85	0.77	novembre	3.06	7.39
giugno	-4.62	1.91	dicembre	3.06	7.39
Totale	-8.22	0.71	Totale	-3.48	25.89

Tabella IV.18 – Risultato della scomposizione dei vettori vento per ogni mese dell'anno.

	Direzione	Intensità
Gennaio	E	medio
Luglio	ENE	più o meno basso

Tabella IV.19 – Sintesi della direzione del vento predominante nel semestre di interesse per i porti di Aregai e Portosole.

Pitagora l'intensità del vettore risultante, e dividendo per il numero di mesi considerati. Per la direzione è sufficiente calcolare l'arcoseno (o l'arcocoseno) della y (x) media e convertirlo in gradi.

I valori sono riportati in tabella IV.18 ed i risultati finali sono, per il campionamento in gennaio un'intensità di 3.71 nodi in direzione NNE mentre per quello di luglio si considera un vento di 4.35 nodi in direzione E. Quindi un leggero salto di vento con un'intensità da *più o meno bassa* (se si considerano gli estremi di 2 ed 8.5 nodi) in luglio, ad una *media* in gennaio (Tabella IV.19).

IV.2 Perimetro, Superficie e Circolarità

Dopo aver definito le condizioni al contorno, si può passare alla descrizione dell'aspetto operativo del modello matematico.

La prima operazione che viene fatta all'utente è quella di disegnare, sulla mappa precedentemente importata in JMarinas, i confini del porto o della zona di esso che si vuole studiare.

Il poligono va disegnato percorrendo la superficie dello specchio d'acqua e seguendo tutte le strutture in muratura che si immergono con continuità nel mare.

La fase di importazione della mappa deve essere fatta orientando il porto con l'asse passante per i due punti più lontani dello specchio acqueo parallelo al piano orizzontale. In questo modo si ridurranno gli errori sui successivi calcoli di circolarità.

Poiché si costruisce un poligono chiuso si passerà anche per la bocca di porto. In questo caso sarà sufficiente considerare come bocca di porto il tratto oltre cui la misura di altre imboccature può solo aumentare. In questo caso si vuole considerare solo quale sia il confine del porto, la definizione della bocca di porto vera e propria è oggetto di analisi successive.

Ad ogni click dell'utente viene aggiunto all'oggetto Polygon un punto definito

dalle coordinate del mouse estratte con i metodo `getX()` e `getY()` dell'oggetto `MouseEvent` associati all'evento `mouseClicked(MouseEvent mouse)`.

```
Polygon poly = new Polygon();

public void mouseClicked(MouseEvent evt) {
    poly.addPoint(mouse.getX(),mouse.getY());
}
```

Codice IV.1 – Inserisci punto nel poligono

IV.2.1 Perimetro.

Il Perimetro è calcolato estraendo dall'oggetto `poly`, costruito come detto precedentemente, il vettore di tutte le coordinate x e quello delle y di tutti i punti ad esso appartenenti.

```
int per = 0;
int numDots = poly.npoints;
int [] xDots = poly.xpoints;
int [] yDots = poly.ypoints;

for(int i=0; i < numDots-1; i++) {
    double d = Math.hypot(xDots[i] - xDots[i+1], yDots[i] - yDots[i+1]);
    per = (int)d + per;
}

per = per + (int)Math.hypot(xDots[numDots-1]-xDots[0], yDots[numDots-1] -
yDots[0]);
```

Codice IV.2 – Calcolo perimetro Poligono specchio acqueo

Il codice mostra come per prima cosa venga estratto il numero dei punti con cui è costruito il poligono (i vertici del poligono) `numDots` dalla variabile `npoints` dell'oggetto `poly`. Successivamente viene estratta la matrice di interi, `xDots`, contenente le coordinate in ascisse di tutti i punti, e la matrice `yDots` contenente invece le ordinate, rispettivamente con i metodi `xpoints` ed `ypoints`.

Con questi dati si può calcolare il perimetro. Si costruisce un ciclo che esegua la somma ad una variabile, `per`, inizialmente uguale a zero, della distanza, calcolata con il teorema di pitagora, tra un punto e quello successivo. Il ciclo esce quando viene raggiunto l'ultimo punto del vettore.

Manca però da sommare al perimetro un segmento, quello tra l'ultimo punto ed il primo, che poichè non si poteva fare in un ciclo con un contatore incrementale (dopo l'ultimo punto non c'è il punto 0) è un'operazione che viene fatta fuori dal ciclo.

IV.2.2 Superficie

Per il calcolo della superficie si utilizza un'altra caratteristica dell'oggetto `poly` cioè quella di poter rispondere `true` o `false` alla domanda se contiene un dato punto.

è quindi possibile contare i punti contenuti da `poly` come superficie dello specchio acqueo.

Per velocizzare i calcoli si esegue questa operazione solo sui punti interni al *bounding box*. Cioè il rettangolo prodotto dal metodo `bound()` dell'oggetto `Polygon`.

Tale rettangolo è il minimo rettangolo in cui è contenuto il poligono, mantenendo i lati paralleli agli assi cartesiani.

Il box è un rettangolo, cioè un oggetto `Rectangle` di cui possiamo ottenere le dimensioni e le coordinate con i metodi `getWidth()`, `getHeight()`, `getX()` e `getY()`. Tale oggetto è il prodotto del metodo `getBounds()` dell'oggetto `Polygon`.

è importante l'oggetto `Point` che costruiamo per ogni punto della matrice (`Point p = new Point(x+X,y+Y)`) e di cui verifichiamo l'appartenenza alla superficie del poligono con il metodo `contains()`.

```
Rectangle bound = new Rectangle();
bound = poly.getBounds();

int w = (int)bound.getWidth();
int h = (int)bound.getHeight();
int X = (int)bound.getX();
int Y = (int)bound.getY();

int pixIn = 0;

    for (int y = 0; y < h; y++) {
        for (int x = 0; x < w; x++) {
            Point p = new Point(x+X,y+Y);
            if(poly.contains(p))
                pixIn++;
        }
    }

sup = pixIn;
```

Codice IV.3 – Calcolo superficie Poligono specchio acqueo

IV.2.3 Circolarità

Una volta che abbiamo calcolato il valore della superficie del porto ed abbiamo il bounding box del poligono possiamo calcolare il valore di circolarità, importante nel calcolo dell'indice di Vulnerabilità.

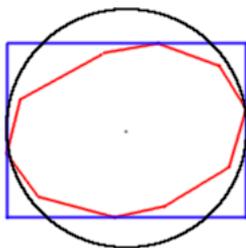


Figura IV.10 – In rosso il poligono; in blu il bound; in nero il cerchio massimo.

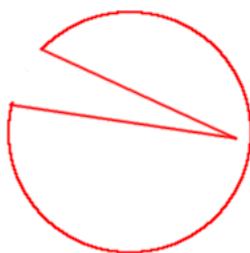


Figura IV.11 – In rosso il poligono di superficie aquea.

Si considera infatti favorevole alla circolazione interna del porto una forma quanto più possibile vicina a quella di un cerchio. Questa riflessione è il prodotto dell'assunto che la circolazione delle acque superficiali di un porto debba seguire un percorso di entrata-uscita ed un cerchio si considera rappresentativo della traiettoria più "scorrevole" per l'acqua.

La funzione di Circolarità è definita come il valore del rapporto tra la superficie del cerchio massimo (costruito con centro nel centro del rettangolo e tangente a due lati di esso) e quella del porto, in percentuale (IV.10).

Tale valore si avvicina a 1 per valori alti di circolarità e tende a 0 al diminuire. Tale indice è "ingannato" da forme come quelle in Figura IV.11. Per cui i valori di circolarità sono molto vicini a quelli di un cerchio ma da cui è evidente la differenza in termini di circolazione. È comunque da notare come forme simili siano molto improbabili come forma per un porto.

IV.2.4 Venti prevalente

Nella prima maschera di acquisizione dei dati viene anche chiesto di fornire un valore di direzione ed intensità del vento prevalente. Tale misura è archiviata per la successiva operazione di calcolo della tortuosità.

Per assegnare una direzione al vento bisogna trascinare il cursore nella direzione della provenienza del vento, avendo cura di notare che l'orientazione della mappa, potrebbe non coincidere con il nord geografico. E che quando si intende una direzione di vento si intende che proviene da una certa direzione e che quindi soffia in quella opposta. Ad esempio un vento da Est va rappresentato con una freccia di direzione Est-Ovest, orientata da Est verso Ovest.

IV.3 Fonti di Inquinamento

In JMarinas le diverse fonti di inquinamento sono assegnate dall'utente con un click del mouse nella posizione desiderata. In seguito al click una finestra permette all'utente di decidere per ciascuna di esse il valore di intensità. Le successive elaborazioni sono volte all'elaborazione di un valore unitario di inquinamento Distrofico, Chimico, Igienico-sanitario e Totale per ciascun punto del porto.

I valori assegnati ai campi della matrice, sono normalizzati per essere compresi in un intervallo da 0 a 255 in modo che sia possibile rappresentarli come variazione del canale alpha (trasparenza) dei colori aRGB. I valori più alti avranno quindi un colore più intenso di quelli bassi. La normalizzazione è anche necessaria per l'implementazione del modello MADM.

La distribuzioni degli inquinanti, che siano essi di origine interna al porto oppure che provengano dalla bocca di porto, è calcolata supponendo una distribuzione gaussiana e quindi supponendo sorgenti puntiformi con attrito sul fondo e circolazione nulli. Rispetto al modello fisico in bibliografia ([5]) si considera la sorgente continua e non impulsiva e questo permette di semplificare la funzione alla sola dipendenza dello spazio.

La gaussiana è rappresentata con in ascisse un valore di distanza, ed in ordinate una misura di concentrazione, quindi può essere considerata come una funzione di persistenza dell'inquinante. Ai fini pratici si misura il modulo della distanza dalla sorgente, quindi si prendono solo valori positivi di distanza.

$$f(x) = a * e^{-((x-b)^2/c^2)} \tag{IV.1}$$

Nell'equazione Gaussiana parametrica il termine a rappresenta il valore dell'intercetta della funzione con l'asse delle ordinate. Il termine b è invece la

posizione dell'asse della funzione sull'ascissa. Il terzo parametro, c , definisce l'ampiezza della Gaussiana e quindi nella fattispecie rappresenta il valore di persistenza o propensione alla dispersione dell'inquinante. Tale parametro è difficile da quantificare sperimentalmente quindi per JMarinas sono stati utilizzati i risultati del questionario quantitativo.

Ad ogni sorgente di inquinamento è quindi associata una funzione gaussiana con specifici coefficienti di dispersione ed intensità. Si suppone poi che l'interazione tra gli inquinanti sia di semplice addizione, quindi il valore totale di un determinato tipo di inquinamento è calcolabile con la somma di tutte le funzioni che descrivono inquinanti di quel tipo.

IV.3.1 Coefficiente di Intensità

Il valore d'intensità della sorgente inquinante è assegnato dall'operatore con un valore verbale fuzzy ([43]), tenendo presente che quello che si vuole ottenere è una misura relativa dell'emissione di una data sorgente nel contesto del porto. La misura deve considerare il tempo, quindi è possibile che una sorgente con piccola e costante attività vada considerata più intensa di una con attività di emissione sporadica anche se elevata.

La misura dell'intensità delle sorgenti è un parametro critico ed i possibili sviluppi del modello dovrebbero considerare un protocollo rigoroso per questa operazione.

IV.3.2 Coefficienti di Dispersione

Il valore del coefficiente di dispersione è calcolato a partire dai dati ricavati dal questionario.

Il coefficiente c nell'equazione IV.1 è assegnato tale che, se poniamo una sorgente di massima intensità ($a = 255$) in un estremo della diagonale, all'altro estremo avremo un valore pari a 1 (tale valore è arbitrario ma deve essere diverso da 0 poiché la curva gaussiana ha come asintoto orizzontale l'asse delle ascisse).

Come ricaviamo tale valore data la diagonale del rettangolo contenente il porto?

Nella IV.1 posto $f(x) = 1$, $b = 0$, $a = 255$, $c = c_M$ e $x = diag$, otteniamo:

$$1 = 255 * e^{-(diag^2/c_M^2)} \quad (IV.2)$$

da cui esplicitando:

$$c_M = \frac{diag}{\sqrt{5,54}} \quad (IV.3)$$

Il valore della dispersione, c_M , così definito è quello massimo ed è posto pari a quello ricavato dal questionario quantitativo per la classe di inquinanti a maggiore dispersione.

Ora non ci resta che calcolare i valori di dispersione minori del valore massimo (per cui vale l'equazione IV.3). Supponiamo un inquinante X per cui vale la relazione:

$$c_M : c_{tM} = c_X : c_{tX} \quad (IV.4)$$

dove c_M è il valore di dispersione per l'inquinante a massima dispersione, c_{tM} è il valore di dispersione ricavato dal questionario per la sorgenti a massima dispersione, c_X è il valore di dispersione che stiamo cercando, c_{tX} è il valore che otteniamo dal questionario per l'inquinante X .

Ricaviamo il valore di c_X .

$$c_X = \frac{c_M * c_{tX}}{c_{tM}} \quad (IV.5)$$

Esempio reale.

Consideriamo una sorgente di inquinamento distrofico con intensità pari a 255 ed una sorgente d'inquinamento chimico con intensità pari a 100 ed infine una di tipo igienico-sanitario con intensità pari a 50. Il porto ha una diagonale di 200px.

Utilizzando i risultati del questionario possiamo calcolare i coefficienti di dispersione.

Passo per passo abbiamo:

1. con il valore della diagonale nell'equazione IV.3 otteniamo il valore di dispersione per la sorgente più persistente.

$$c_M = 84,97 \quad (IV.6)$$

2. il valore massimo di dispersione che otteniamo dal test delphi è quello delle sorgenti Chimiche con una dispersione pari a 9,09 così come le igienico-sanitario con 9,09 mentre le distrofiche seguono con 3,64 in riferimento alla scala fuzzy proposta in bibliografia.

3. Svolgendo la proporzione abbiamo che le sorgenti chimiche hanno distribuzione pari a:

$$c_x = \frac{84,97 * 9,09}{10} \quad (IV.7)$$

- c_x vale 30,92 per gli inquinanti di tipo Distrofico
- c_x vale 77,23 per gli inquinanti di tipo Chimico
- c_x vale 77,23 per gli inquinanti di tipo Igienico-Sanitario

Quello che cambia di volta in volta è il valore della diagonale. Ci serve quindi un'equazione parametrica che consideri: la diagonale del porto, il coefficiente di dispersione proprio di una data classe di inquinante e che restituisca il valore di dispersione corretto.

Tale equazione si ottiene dalla IV.3 e dalla IV.2.

Posto infatti $c_{tM} = 10$, $c_{dx} = 3,64; 9,09; 9,09$ e c_M definito dalla IV.2, otteniamo:

1. inquinanti di tipo Distrofico

$$c_x = \frac{diag}{\sqrt{5,54}} * 3,64 \quad (IV.8)$$

2. inquinanti di tipo Chimico

$$c_x = \frac{diag}{\sqrt{5,54}} * 9,09 \quad (IV.9)$$

3. inquinanti di tipo Igienico-Sanitario

$$c_x = \frac{diag}{\sqrt{5,54}} * 9,09 \quad (IV.10)$$

IV.3.3 Programmazione

L'aspetto di programmazione è articolato per via delle diverse fonti di inquinamento che vengono inserite e di cui vogliamo computazioni indipendenti. L'utente prima sceglie che tipo di fonte vuole disegnare poi con un click aggiunge un oggetto `Point2D` al vettore `fonti`. Tale oggetto porta con se le

coordinate del punto.

Si apre una finestra nella quale viene chiesto il valore di inquinamento che si vuole assegnare a tale fonte. Ed è una scala fuzzy del tipo precedentemente descritto. Tale valore è archiviato nel vettore generale `intFonti`.

Nello stesso momento viene calcolato il valore del coefficiente di dispersione. Questo è archiviato temporaneamente al momento della selezione del tipo di fonte in una variabile, `disp`, che viene a questo punto normalizzata come detto precedentemente (IV.8, IV.10 e IV.9). Il valore viene archiviato in un secondo vettore `dispFonti`.

L'ultima informazione che serve è un numero che distingue il tipo di fonte. poiché una fonte può avere diversi tipi di effetti è stato scelto un metodo che permetta di distinguere sinteticamente il tipo di inquinamento che questo produce.

Ad ogni tipo di inquinamento è assegnato un valore:

- Distrofico: 1
- Chimico: 2
- Igienico Sanitario: 4

In questo modo si possono caratterizzare univocamente i diversi tipi di un impatto che una sostanza produce.

Infatti possiamo codificare gli inquinanti con un numero che dica a che classe di inquinante appartiene.

- Codice 1: Distrofico
- Codice 2: Chimico
- Codice 3: Distrofico + Chimico
- Codice 4: Igienico-Sanitario
- Codice 5: Distrofico + Igienico-Sanitario
- Codice 6: Chimico + Igienico-Sanitario
- Codice 7: Distrofico + Chimico + Igienico-Sanitario

Questo valore è archiviato temporaneamente in una variabile, `riskT`, per finire poi nel vettore `riskFonti`. Questo è il terzo ed ultimo vettore necessario per caratterizzare completamente una fonte di inquinamento.

Riassumendo, al momento dell'assegnazione del tipo di inquinante, prima del click, avremo l'assegnazione dei valori di dispersione e l'identificativo del tipo di inquinante a due variabili temporanee: `disp` e `riskT`.

```
String com = evt.getActionCommand();

if (com.equals("1: Acque agricole"))
    {disp=6.36; riskT=3; riskL="1";}
else if (com.equals("2: Acque allevamenti"))
    {disp=6.36; riskT=5; riskL="2";}
else if (com.equals("3: Acque fluviiali"))
    {disp=5; riskT=1; riskL="3";}
else if (com.equals("4: Aree lavaggio"))
    {disp=5; riskT=2; riskL="4";}
else if (com.equals("5: Distributori carburante"))
    {disp=7.73; riskT=2; riskL="5";}
else if (com.equals("6: Impianti acquacoltura"))
    {disp=3.64; riskT=5; riskL="6";}
else if (com.equals("7: Presenza alghe"))
    {disp=3.64; riskT=1; riskL="7";}
else if (com.equals("8: Scarichi fognari"))
    {disp=9.09; riskT=5; riskL="8";}
else if (com.equals("9: Scarichi industriali"))
    {disp=9.09; riskT=2; riskL="9";}
```

Codice IV.4 – Assegnazioni variabili temporanee

L'utente poi assegnerà il valore di Intensità.

Al termine dell'inserimento delle varie fonti di inquinamento si chiede di calcolare la matrice dei valori risultante dell'interazione di tutte le diverse fonti.

```
int np = fonti.size();

for (int i=0; i < np; i++) {

if (riskFonti[i]==1||riskFonti[i]==3||riskFonti[i]==5||riskFonti[i]==7) {
    Point p = (Point)fonti.elementAt(i);
    d = (float)Math.hypot(x - (p.x - X), y - (p.y - Y));
    dtot = dtot +
+ intFonti[i] * Math.pow(2.7182, - Math.pow(d,2)/Math.pow(dispFonti[i],2));
}

}
```

Codice IV.5 – Ciclo fonti Distrofiche

Come si vede dal Codice IV.5 la funzione utilizzata è una gaussiana che prende i valori dai vettori sopra descritti. Il ciclo viene eseguito solo se il tipo di fonte è uguale ad 1,3,5 o 7. Valori questi che rappresentano una fonte distrofica, distrofica e chimica, distrofica e igienico-sanitaria o distrofica, chimico ed igienico-sanitaria.

Anche se di fonti con effetti "polivalenti" ne abbiamo considerate solo due, il

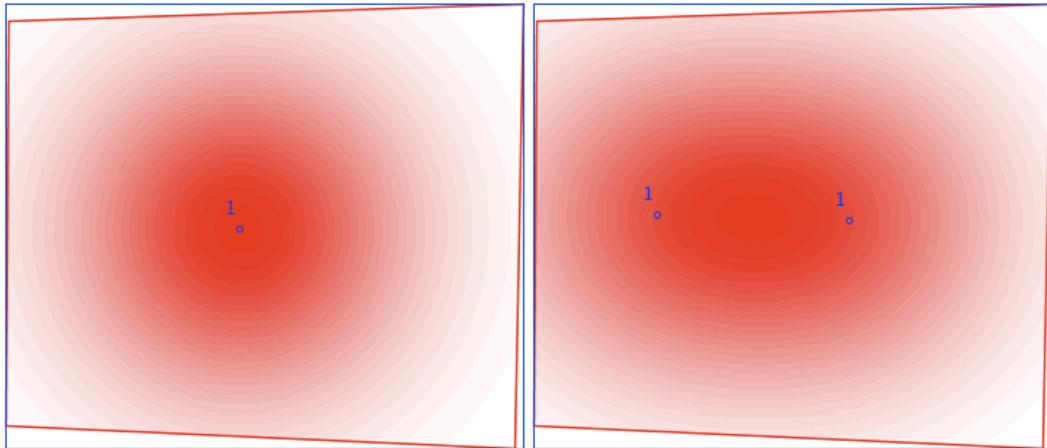


Figura IV.12 – Rappresentazione, in un porto ideale, della distribuzione gaussiana degli inquinanti di stesso tipo e stessa intensità.

sistema proposto è solido e si presta a qualsiasi ampliamento semplicemente lavorando sul Codice IV.4.

IV.3.4 Normalizzazione

La trattazione teorica di tale operazione è già stata considerata nel precedente capitolo (III.2.3). Di seguito è invece descritta l'integrazione in JMarinas dei concetti precedentemente detti.

La necessità di una normalizzazione si pone perché per ogni punto della superficie del porto viene calcolata l'interazione di più fonti di inquinamento. È quindi possibile che il valore massimo di intensità non coincida con la posizione della sorgente, ed è anche probabile che ai margini del poligono di confine il valore sia maggiore del minimo desiderato (Figura IV.12).

Per applicare il modello però i valori devono essere normalizzati così che assumano sia il valore massimo che quello minimo della scala.

Durante la computazione quindi vengono misurati i valori massimi e minimi presenti nella matrice e successivamente si procede riassegnando ad ogni punto il valore precedente normalizzato sulla base di tali valori.

È sufficiente costruire l'equazione di una retta che passi per i valori $(x_{min}; 0)$ e $(x_{max}; 255)$. I valori intermedi saranno poi calcolabili da tale equazione.

```
public int normalizza(double x, double xmax, double xmin)
{
    double valore = (- xmin + x) * 255 / (xmax - xmin);
    return (int)valore;
}
```

}

Codice IV.6 – Funzione di normalizzazione

IV.4 Bocca di porto

Per le sorgenti esogene il valore di distanza è calcolato come la somma delle distanze ai due capi del segmento della bocca di porto meno il valore di lunghezza del segmento della bocca di porto diviso due. Tale distanza è minima (vale 0) quando ci si trova sul segmento stesso ed aumenta linearmente allontanandosi da esso.

Per ogni sorgente viene calcolato punto per punto una matrice di valori rappresentanti il valore normalizzato di probabilità di presenza dell'agente inquinante. Questo può essere anche maggiore di 255 per la sovrapposizione di più sorgenti.

Il metodo è del tutto analogo a quello proposto per le sorgenti di inquinamento endogene con la sola differenza che oltre alle matrici di inquinamento (distrofico, chimico, igienico-sanitario e totale) si calcola una matrice contenente i valori di distanza dalla bocca di porto.

Si considerano infatti zone ecologicamente sfavorite quelle situate lontano dalla bocca di porto. Per la maggiore difficoltà che le masse d'acqua ed i sedimenti avrebbero di uscire dal porto, e le acque ossigenate ad entrare.

IV.4.1 Programmazione

Dal punto di vista della programmazione si chiede all'utente di disegnare con il mouse tanti segmenti quanti sono le bocche di porto.

I segmenti sono oggetti `Line2D` archiviate in un vettore chiamato `bocca`. Per ogni segmento viene chiesto di dare un valore fuzzy all'intensità di eventuali inquinanti in ingresso.

I valori di intensità sono raccolti in tre vettori distinti: `intBoccaD[]` (sorgenti distrofiche), `intBoccaC[]` (sorgenti chimiche) e `intBoccaIS[]` (sorgenti igienico-sanitarie). In questo caso, a differenza di quanto fatto per le sorgenti endogene, ci si limita a distinguere le tre categorie generali di inquinanti.

Per ogni categoria di inquinante si calcola il valore di dispersione dai risultati del questionario quantitativo. I valori così ottenuti vengono normalizzati, con lo stesso metodo proposto per le fonti di inquinamento interne al porto, al momento dell'inserimento da parte dell'utente del valore d'intensità dell'emissione.

La variabile `dispBoccaIS` del Codice IV.7 contiene tale valore ed analogamente esistono le variabili `dispBoccaD` e `dispBoccaC`.

L'equazione di persistenza è una gaussiana come per le altre fonti d'inquinamento.

Il Codice IV.7 mostra il ciclo, iterato per il numero di bocche di porto archiviate nel vettore `bocca`. Se una bocca non porta il tipo di inquinante in esame (nel caso di esempio l'igienico sanitario) il valore di intensità sarà pari a 0 e così il valore di inquinante calcolato dalla funzione gaussiana. I quattro cicli (tre per gli inquinanti più uno per la distanza) vengono quindi sempre eseguiti. A differenza della matrice delle fonti di inquinamento endogene in cui i cicli sono eseguiti solo se l'inquinante è presente.

```
int sizeB = bocca.size();

for (int i=0; i < sizeB; i++) {
Line2D line = (Line2D)bocca.elementAt(i);
double lenght = Math.hypot(line.getX1()-line.getX2(), line.getY1()-line.getY2());

double dtemp = (Point2D.distance(line.getX1(), line.getY1(), (double)t.x, (double)t.y)
+ Point2D.distance(line.getX2(), line.getY2(), (double)t.x, (double)t.y) - lenght)/2;

d = d + intBoccaIS[i]*Math.pow(2.7182,
-Math.pow(dtemp, 2)/Math.pow(dispBoccaIS, 2));
}
```

Codice IV.7 – Ciclo iterativo per il calcolo delle diverse bocche di porto

Fatto questo i valori sono inseriti nell due matrici, una di calcolo e l'altra grafica, previa normalizzazione con il metodo `normalizza()` (Codice IV.6).

IV.5 Tortuosità e Moli

Si vuole raccogliere in una sola variabile la misura della tortuosità data dalla muratura del porto e quella data dalla presenza di pontili, frangiflutti ed altre strutture.

Vengono considerati tre tipi di strutture:

1. strutture galleggianti con immersione minore di 1 m;
2. strutture galleggianti con immersione maggiore di 1 m;
3. strutture palafittate.

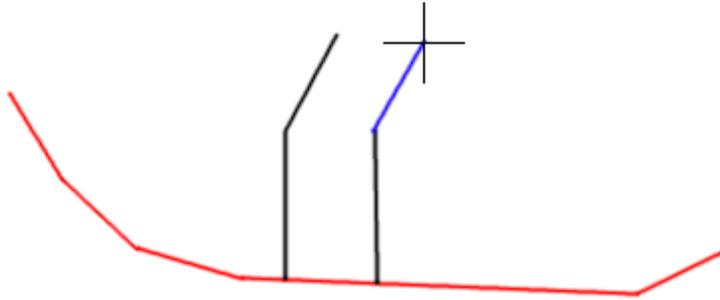


Figura IV.13 – Rappresentazione del meccanismo di inserimento dei moli

Ad ogni tipo di molo è associato un diverso coefficiente di ostacolo alla circolazione. Tale coefficiente è assegnato arbitrariamente.

La misura della tortuosità è utile in quanto definisce le zone in cui la circolazione sarà più lenta e difficile. Parte dell'energia cinetica impressa dal vento sulle masse d'acqua viene spesa per vincere gli attriti interni (turbolenze e mulinelli) ed esterni sulla superficie del porto o contro le strutture sommerse come i pontili ed i frangionde galleggianti. Dal punto di vista ecologico una minore circolazione contribuisce alla formazione della stratificazione estiva a cui segue l'instaurarsi di condizioni anossiche.

Dal punto di vista software si compiono operazioni piuttosto articolate per rendere l'inserimento dei moli facile da gestire dall'utente. Dato il primo click con il tasto sinistro del mouse viene disegnato un segmento in blu che unisce il punto del click alla posizione del mouse. Alla successiva pressione del tasto sinistro il segmento in blu viene fissato in nero. Da qui parte un altro segmento blu fino al mouse pronto per inserire un secondo tratto dello stesso molo. Per ripartire con un nuovo molo è sufficiente premere il tasto destro del mouse e riavviare il processo. Figura IV.13.

Per queste operazioni si utilizzano due vettori distinti: uno per i punti dei click ed uno che contiene i segmenti, oggetti `Line2D`, disegnati in nero.

La differenza è necessaria poiché per costruire i segmenti rappresentativi dei moli abbiamo bisogno prima dei punti.

Queste operazioni sono mediate da una variabile di controllo `xctrl`.

Si hanno quindi due fasi descritte nel Codice IV.8 e IV.9:

Click tasto *sinistro* del mouse.

```
int but = evt.getButton();

if (but == 1) {

    if (xctrl == 0) {
        Point2D.Double punto =
            new Point2D.Double((double)evt.getX(), (double)evt.getY());

        moliPt.addElement(punto);

        xctrl = 1;
    }

    if(xctrl == 1) {
        Point2D.Double punto =
            new Point2D.Double((double)evt.getX(), (double)evt.getY());

        moliPt.addElement(punto);
        moliPt.addElement(punto);

        int size = moliPt.size();

        Point2D.Double punto0 = (Point2D.Double)moliPt.elementAt(size - 2);
        Point2D.Double punto1 = (Point2D.Double)moliPt.elementAt(size - 3);

        moli.add(new Line2D.Double(punto0, punto1));
    }
}
```

Codice IV.8 – Inserimento primo punto molo o di un altro punto nello stesso molo.

Click tasto *destra* del mouse.

```
if (but != 1 && moli.isEmpty() == false) {
    xctrl = 0;
}
```

Codice IV.9 – Interruzione molo. Riinizia come fosse il primo punto.

Al primo click sinistro la variabile di controllo `xctrl` vale 0 e quindi viene aggiunto un punto al vettore dei punti `moliPt` e assegnato il valore 1 a `xctrl`. Al successivo click dello stesso tasto la variabile di controllo segnala che un punto è già presente. Quindi può costruire ed archiviare un segmento nel vettore `moli` con il secondo punto ed aggiungere un nuovo punto, coincidente con il penultimo per il molo successivo.

Se viene premuto il tasto destro `but != 1` e il vettore dei moli non è vuoto (non è il primo click che facciamo) non si costruisce nessun punto. Ci si limita a riassegnare la variabile `xctrl`. Il successivo click sarà così il primo punto di un nuovo vettore.

Il valore della variabile `but`, associato al tipo di tasto, è ottenuto dal metodo `getButton()` dell'oggetto `MouseEvent` costruito al click del mouse. Prende il valore 1 quando è il tasto sinistro e 0 quando è il destro.

IV.5.1 Funzione tortuosità

Una volta definito il vettore dei punti si procede alla computazione del valore di tortuosità per tutti i punti interni al poligono di confine del porto.

La tortuosità è associata alla capacità di movimento di una particella di sedimento o di colonna. La funzione quindi considera le diverse traiettorie che una particella può potenzialmente compiere e verifica se queste intersecano o meno un molo e quando incontrano il confine del porto.

La tortuosità è inversamente proporzionale alla vicinanza del confine del porto. Analogamente si considera la presenza dei moli. Tanto più questi sono vicini al punto e tanto maggiore è la tortuosità.

La funzione valuta i possibili percorsi della particella in un dato punto del poligono e considera l'intersezione di queste traiettorie con moli ed il confine di porto.

L'algoritmo poi considera la direzione e l'intensità del vento prevalente. Favorisce quindi le traiettorie in accordo con tale direzione di un coefficiente proporzionale all'intensità del vento.

Si seguono quindi otto traiettorie, una ogni 45 gradi, partendo dalla verticale. Tanto più sono numerose le traiettorie tanto più preciso è il risultato. La maggiore risoluzione angolare moltiplica le iterazioni e quindi il tempo di calcolo ma la precisione che si raggiunge nel calcolo aumenta proporzionalmente.

```
int passo = (int)(diag/scala);

for(int i = 0; i < scala; i++)
{
  if(in)
  {
    segmento.setLine(px + i*passo*Math.cos(alpha), py + i*passo*Math.sin(alpha),
    px + (i+1)*passo*Math.cos(alpha), py + (i+1)*passo*Math.sin(alpha));

    if(body.contains(((int)(px + i*passo*Math.cos(alpha)),
                      (int)(py + i*passo*Math.sin(alpha))))
    {
      for (int j=0; j < moli.size(); j++)
      {
        if (segmento.intersectsLine((Line2D.Double)moli.elementAt(j)))
```

```

    {
      Tmoli = Tmoli + (i*passo - d0)*TrMoli;
      TrMoli = TrMoli * ((Double)moliT.elementAt(j)).doubleValue();
      d0 = i*passo;
    }
  }
}
else
{
  Tmoli = Tmoli + (i*passo - d0);
  in = false;
}

```

Codice IV.10 – Funzione di tortuosità.

Le traiettorie sono costruite a partire dal punto e si estendono per una lunghezza pari alla diagonale del **bound**. Questo assicura che il porto ricada dentro le traiettorie anche se non sarebbe necessario fissare un limite poiché comunque il ciclo termina quando viene intercettato il poligono del confine del porto.

Ogni traiettoria viene divisa in **n** segmenti di lunghezza **passo**. Si costruisce un oggetto **line2D** di nome **segmento** a cui, ad ogni ciclo, vengono assegnate delle nuove coordinate lungo la traiettoria.

Per ogni traiettoria si calcola il valore di una tortuosità "temporanea", **Tmoli**. Infine, la somma delle tortuosità temporanee, per tutte le otto traiettorie, costituirà il valore della tortuosità per il punto.

Il Codice IV.10 rappresenta il calcolo eseguito per ogni traiettoria.

Prima di tutto si controlla se il porto contiene il segmento in questione. Se non è così si assegna alla variabile di controllo, **in**, il valore **false** e si esce dal ciclo per passare alla traiettoria successiva.

Se il segmento è dentro il confine del porto si controlla se questo interseca uno o più degli elementi del vettore dei moli. Se così è si assegna il valore di tortuosità temporanea a **Tmoli**. In questa operazione interviene una variabile, **Trmoli**, che rappresenta il coefficiente di ostacolo del molo fino a quel punto. In ogni punto bisogna infatti calcolare il valore della somma delle interazioni dei pontili, anche e soprattutto precedenti al punto. **Tmoli**, rappresenta quindi il valore del coefficiente di ostacolo su tutto il percorso mentre **Trmoli** quello tra un molo e l'altro. In pratica quello temporaneo.

Premesso questo il codice è più chiaro. Si nota infatti che a **Tmoli**, quando il segmento intercetta un pontile, viene assegnato il valore precedente di **Tmoli** più il valore di **Trmoli**, il coefficiente di ostacolo del precedente molo, moltiplicato per la distanza dall'ultimo molo. Subito dopo viene riassegnato **Trmoli** poiché verrà controllata l'intersezione per gli altri moli del vettore moli.

Finito il ciclo di controllo dei moli, si passa al segmento successivo e si riesegue il controllo di intersezione con tutti i pontili del vettore moli.

Come già detto ad un certo punto il segmento cadrà fuori dal confine del porto, a quel punto `Tmoli` prenderà il valore dell'ultimo `Tmoli` calcolato più la distanza fino a quel momento percorsa.

Resta da calcolare quanto e come il vento agisce sulla traiettoria della particella.

```
if (angle < 0)
angle = angle+2*Math.PI;

double angle1 = Math.min(alpha , angle);
double angle2 = Math.max(alpha , angle);

delta = Math.abs(angle2 - angle1);
delta1 = Math.abs(2*Math.PI - (angle2 - angle1));

delta = Math.min(delta , delta1);

double coeffV = 0.9;

Totmoli = Totmoli + Tmoli - Tmoli*coeffV*(delta/Math.PI-0.5)*2*(intVento/10)
;
```

Codice IV.11 – Vettore vento.

Nel codice precedente `alpha` è la direzione della direttrice considerata, `angle` è il valore dell'angolo che forma il vettore vento con l'asse delle y. Tale valore è preso positivo dalle prime due righe di codice.

Si vuole misurare il grado di accordo tra la direzione del vento e quella direttrice, si considera quindi il valore in gradi dell'arco sotteso tra il vettore vento e la direttrice. Per fare questo si sottrae il maggiore al minore dei due. Questo valore è detto `delta`. `delta1` è il valore dell'angolo esplementare a `delta`. Dei due si sceglie il minore.

Costruisco poi la funzione $(\text{delta}/\text{Math.PI} - 0.5)*2$ che restituisce $+1$ nel caso di totale disaccordo ed -1 nel caso di completo accordo della direzione del vento con il vettore considerato.

L'ultima operazione è quella di definire quanto conta il vento sul valore di tortuosità. Si è scelto in questo caso un coefficiente, `coeffV`, pari a 0.9. Ed è la misura di quanto bisogna correggere il vettore tortuosità e quindi di quanto conta il vento nella definizione della tortuosità. Tale correzione è stata presa considerando che il massimo del vento annulla la tortuosità lungo una data direttrice. A `Tmoli` viene infatti sottratto, nel caso limite, il valore del 90% di `Tmoli` (`intVento/10` vale 1 per valori massimi di vento, $(\text{delta}/\text{Math.PI} - 0.5)*2$ vale 1 per totale disaccordo).

Quest'ultima operazione è fortemente legata al valore del coefficiente $coeffV$. Fermo restando che si è posto un limite all'influenza del vento pari all'annullamento della tortuosità, resta da definire quanto questo sia sensibile.

Il significato ecologico di tale misura è ritrovabile nel fatto che il massimo realizzabile in una data zone è sufficiente da rimescolare la colonna anche nelle zone più difficili da raggiungere. Questa indicazione andrebbe considerata soprattutto al momento dell'applicazione del modello.

IV.6 Batimetria

La batimetria ha una forte influenza sulla capacità di circolazione delle acque del porto. L'attrito con il fondo è infatti una delle forze che ostacolano la circolazione contribuendo alla formazione di ambienti anossici, in più la bassa batimetria facilita la mobilizzazione dei sedimenti con spesso la conseguenza di portarli a condizioni ossidanti. Con il conseguente rischio di passaggio dei metalli in soluzione.

Pertanto la variazione batimetrica è considerata nel modello JMarinas una funzione diretta della portualità. Tanto minore è la profondità del porto, tanto peggiorano le condizioni ambientali.

Come si vedrà, la funzione per il calcolo della batimetria è decisamente semplicistica, ma si è voluto dare la possibilità di distinguere tra condizioni di stratificazioni o di rimescolamento del bacino portuale. Distinguendo quindi tra la stagione estiva e quella invernale.

La stratificazione estiva consiste nell'assegnare a tutte le zone con profondità superiore ai 5 metri lo stesso valore massimo. l'alternativa, cioè le condizioni invernali, fissano l'improbabile limite di 50 metri, come soglia oltre cui i valori sono unificati.

Poichè si è scelto di considerare la bassa profondità, uno svantaggio all'ecosistema portuale, le zone che in condizioni stratificate si trovano sotto i 5 metri, sono considerate favorite. Questo è considerabile un paradosso, poiché questi ambienti sono normalmente caratterizzati da anossia, alti valori di nutrienti ma bassa produttività. D'altra parte, in un ecosistema impattato come quello portuale, si è valutato come più negativo l'effetto che avrebbe la mobilizzazione dei sedimenti, ricchi di metalli complessati, e la diminuzione della circolazione superficiale, già molto debole.

Come per le altre variabili del modello JMarinas, la funzione per lo studio della batimetria, deve restituire un valore confrontabile con le altre variabili, quindi, una volta definito il modo per calcolare le zone migliori e quelle peg-

giori, si deve ottenere tutto lo spettro di valori della scala 0-255. Operazione possibile con la già considerata funzione di normalizzazione.

Come si è detto, la funzione per la definizione dei valori della batimetria, è elementare, nel senso che semplifica la batimetria del porto sulla base delle informazioni fornite dall'utente.

L'operatore fornisce alcuni punti della batimetria, avendo cura di allontanarsi via via dal primo che ha inserito (questa accortezza è dovuta ad un limite di programmazione). Il modello poi produrrà la matrice dei punti che interpolano tali valori. L'interpolazione è semplice poiché la batimetria è costruita seguendo la forma di cerchi centrati sul primo punto.

È chiaro che questa funzione non restituisce la vera batimetria del porto, ma si considera sufficiente ai fini dell'analisi questa prima approssimazione.

L'operatore assegna in punti del porto con i click del mouse, e definisce il valore della profondità inserendo un valore in metri. I punti così definiti sono archiviati nel vettore `ptBati` per le posizioni e `deptBati` per le profondità.

Il Codice IV.12 contiene i cicli principali impiegati nel calcolo della batimetria.

```

for(int i=0; i < h; i++)
{
    for(int j=0; j < w; j++)
    {
        for(int k=1;k<sizeBt;k++)
        {
            Point2D.Double pP =
                new Point2D.Double((double)(j+X), (double)(i
                    +Y));
            Point2D.Double pN = (Point2D.Double)ptBati.elementAt(k);
            Point2D.Double pN1 = (Point2D.Double)ptBati.elementAt(k-1);
            Point2D.Double p0 = (Point2D.Double)ptBati.elementAt(0);

            if(p0.distance(pP) < p0.distance(pN) &&
                p0.distance(pP) > p0.distance(pN1))
            {
                //INVERNO
                if(funzioneB.equals("Rimescolato")) {
                    if(deptBati[k-1] < 50) {
                        double Xb = p0.distance(pN) - p0.distance(pN1);
                        double Yb = deptBati[k];
                        double Xa = 0;
                        double Ya = deptBati[k-1];
                        double Xp = p0.distance(pP) - p0.distance(pN1);
                        double Vc = (Yb-Ya)*Xp/Xb + Ya;
                        deptBatiC = (Vc*5);
                    }
                    else
                        deptBatiC = 255;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

//ESTATE
else {
    if (deptBati[k-1] <= 5) {
        double Xb = p0.distance(pN) - p0.distance(pN1);
        double Yb = deptBati[k];
        double Xa = 0;
        double Ya = deptBati[k-1];
        double Xp = p0.distance(pP) - p0.distance(pN1);
        double Vc = (Yb-Ya)*Xp/Xb + Ya;
        deptBatiC = (Vc*50);
    }
    else
        deptBatiC = 255;
}
}

if (p0.distance(pP) > p0.distance(pN))
{
//INVERNO
if (funzioneB.equals("Rimescolato")) {
    if (deptBati[k] < 50)
        deptBatiC = deptBati[k] * 5;
    else
        deptBatiC = 255;
}
//ESTATE
else {
    if (deptBati[k] < 5)
        deptBatiC = deptBati[k] * 50;
    else
        deptBatiC = 255;
}
}

mtxBatimetria[index] = 255 - deptBatiC;
distM = Math.max(mtxBatimetria[index], distM);
dism = Math.min(mtxBatimetria[index], dism);
}

index++;
}
}

```

Codice IV.12 – Calcolo della batimetria

Il codice è abbastanza semplice, almeno dal punto di vista concettuale. I due cicli più esterni eseguono la parte centrale del ciclo per tutti i punti della matrice del porto. Poi per ogni punto del porto, il codice è distinto in due casi: quello per cui il punto che si sta considerando, pP , è compreso tra il primo punto, pN ed il punto successivo $pN1$, ed il caso in cui il punto sia oltre i punti del vettore, e quindi rappresenti la zona che va dall'ultimo punto batimetrico al confine del porto (Figura IV.14).

Una volta che è stato individuato entro quali due punti batimetrici è con-



Figura IV.14 – Rappresentazione della posizione relativa dei punti come assegnati nel Codice IV.12.

tenuto il punto in questione, si procede calcolando il valore della profondità, semplicemente costruendo la retta passante per i due punti batimetrici ed assegnando al punto della matrice il valore della retta per la posizione del punto. Questa operazione viene saltata se il punto ha una profondità superiore ai 5 metri, nel caso della stagione estiva o di 50 metri, per la stagione invernale.

Al termine del ciclo per tutti i punti i valori ottenuti sono normalizzati tra 0 e 255.

IV.7 Verifica

Le operazioni che sono state fino ad ora elencate fanno parte del processo di “concettualizzazione” che precede la fase di verifica. La concettualizzazione consiste nell’identificazione dei forzanti esterni, delle variabili di stato e quindi delle relazioni che tra questi intercorrono, secondo l’intuito e le osservazioni del ricercatore.

La verifica consiste quindi nel verificare se il modello si comporta come il ricercatore voleva che si comportasse. Questa operazione non coinvolge una verifica statistica dei risultati quanto semplicemente l’osservazione della risposta del modello. Questo implica che ci sia un modello da verificare e che quindi siano stati definite non solo le equazioni ma anche i parametri con valori ragionevoli.

La verifica di JMarinas può essere analizzata considerando i diversi layers.

Fonti inquinamento Si è scelto un modello unico di distribuzione gaussiana degli inquinanti, distinguendo tra diversi coefficienti di dispersione per gli inquinanti. I dati devono poi risultare normalizzati su tutti gli inquinanti. La rappresentazione grafica dei risultati per diverse sorgenti di inquinamento, mostra una distribuzione gaussiana con minimi nell'area più lontano dalle fonti, considerate complessivamente.

Si noti come se la sorgente è unica, il comportamento è identico qualunque sia l'intensità della sorgente, mentre se le sorgenti sono più d'una, con diverse intensità, se ne evidenzia il diverso rapporto. Questo è effettivamente atteso, perché si considera il rapporto relativo delle diverse aree del porto e non una misura assoluta.

Si verifica poi che il massimo di inquinamento non coincide necessariamente con la sorgente ma può essere spostato in un punto intermedio tra più sorgenti d'inquinamento.

Bocca di porto Le diverse bocche di porto sono posizionate sul poligono del confine del porto. Ci si aspetta e si verifica un comportamento del tutto simile alle fonti di inquinamento con la sola differenza che, l'inquinamento proveniente dall'esterno del porto, non è considerato come una sorgente puntiforme, bensì come una sorgente uniformemente distribuita sull'asse della bocca di porto.

Tortuosità Ci si aspetta che la funzione di tortuosità definisca non soltanto le aree localmente più tortuose, come quelle nascoste tra i pontili, ma anche che tenga conto della complessiva geometria del porto. Quindi per porti come quello di Aregai si dovrà evidenziare una tortuosità maggiore nella zona ad ovest del porto, la cui superficie è vincolata dalla struttura al centro del porto.

È inatteso ma giustificabile dalla definizione di tortuosità, il fatto che le zone comprese tra i pontili sono a tortuosità inferiore rispetto a quelle all'esterno di essi. Questo si spiega solo considerando il fatto che si considera più svantaggiosa la presenza del confine in muratura del porto alla presenza dei pontili e che quindi le aree interne ai pontili, sono considerabili più aperte di quelle di confinanti con il porto.

La differenza tra i diversi pontili, in termini di ostacolo alla circolazione è minima ma comunque verificate. Così come l'effetto del vento è verificato e pare proporzionato rispetto alla tortuosità. È quindi influente sulla tortuosità senza essere predominante. Per la determinazione dei parametri e quindi

di quanto vento e pontili determinano la tortuosità bisognerà affidarsi alla parametrizzazione.

Batimetria La funzione per il calcolo della batimetria sulla base di punti noti è, come detto, non sufficientemente sofisticata per rappresentare realisticamente il porto. Però produce quello che ci si aspettava, cioè l'interpolazione tra i diversi punti assegnati dall'utente, seguendo isocline concentriche al primo punto assegnato.

Si distingue poi tra la stagione estiva e quella invernale. Le aree favorite sono quelle a maggiore profondità e nel caso di stratificazione, quelle sotto lo strato rimescolato.

IV.8 Calibrazione

Una volta che è verificato che il modello si comporta come desiderato, si può passare alla fase di calibrazione dei parametri. Nel modello JMarinas, i parametri sono stati in parte determinati dal questionario di valutazione. Gli unici parametri che restano da definire sono quelli relativi alla tortuosità e quelli dell'eventuale modifica dei pesi degli attributi. Risulta quindi arbitraria la determinazione dell'importanza del vento prevalente sulla tortuosità nonché dei fattori di ostacolo per i diversi tipi di pontili.

La calibrazione è generalmente del tipo “trial and error”, che consiste nel provare, sistematicamente, a variare i parametri da calibrare, cercando il miglior accordo con i risultati attesi.

La calibrazione di JMarinas è stata eseguita sul porto di Portosole nel mese di gennaio perché presentava analisi più facilmente interpretabili.

Un processo di calibrazione più realistico dovrebbe considerare un set di dati più ampio e quindi più porti. Dovrebbe poi aiutare a definire un valore per quei parametri che in questo contesto sono stati quantificati attraverso il questionario valutativo.

Lo schema adottato ha seguito la compilazione di diverse tabelle in un foglio di calcolo per standardizzare le operazioni e mantenere l'ordine. Per valutare quanto i risultati corrispondevano ai risultati del modello si è utilizzato un test del chi-quadro.

Come prima cosa sono state definite le sorgenti di inquinamento all'interno del porto (Figura IV.16).

La seconda operazione ha riguardato la definizione di un protocollo di lavo-

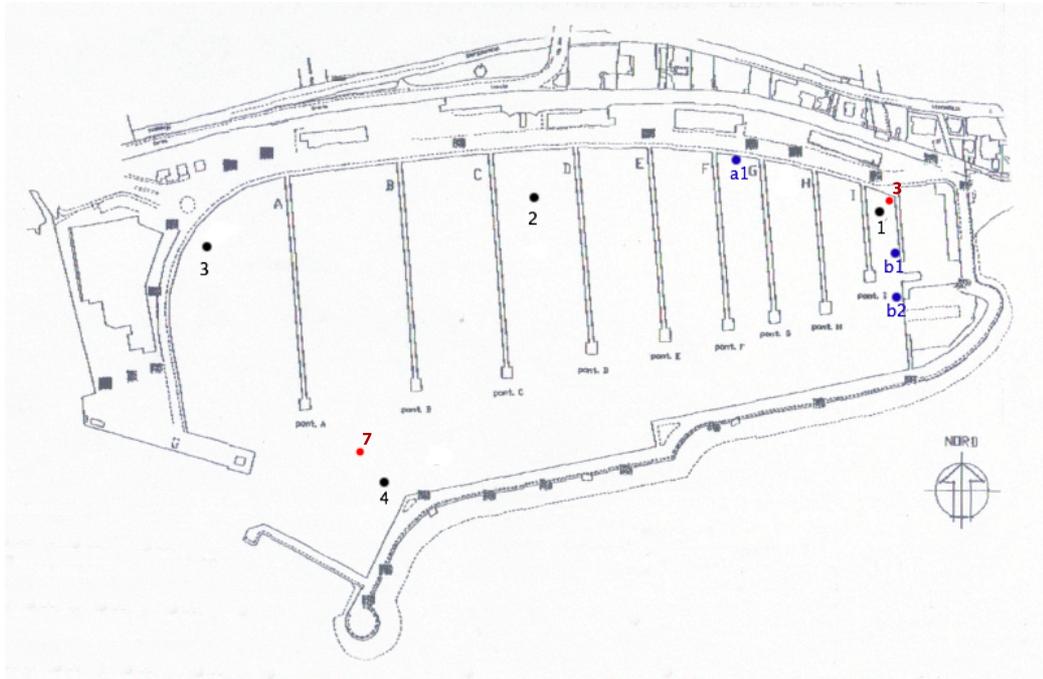


Figura IV.15 – Mappa del porto di Portosole con rappresentati in nero i punti di campionamento ed in blu le sorgenti inquinanti. I punti di profondità noti sono evidenziati in rosso, con il relativo valore numerico in m.

ro. Vista il ridotto set di dati a disposizione si è optato per la calibrazione del solo peso degli attributi, correggendo parzialmente i risultati del questionario quantitativo. Gli altri parametri da validare sarebbero, il coefficiente trasporto del vento prevalente, il fattore di ostacolo dei pontili (per tutti e tre i diversi tipi), ed i coefficienti di dispersione degli inquinanti.

Si è scelto di validare solo il peso delle diverse variabili perché è stata considerato il parametro più importante nella costruzione del modello.

Il protocollo di calibrazione ha previsto ripetuti test con lo stesso set di dati in ingresso modificando i parametri di JMarinas.

Si è scelto come detto il porto di Portosole (Figura IV.15), con tre sorgenti inquinanti:

- **a1** Inquinamento da *Scarichi fognari*: molto basso
- **b1** Inquinamento da *Scarichi industriali*: basso
- **b1** Inquinamento da *Aree lavaggio*: basso

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4	
	O	A	O	A	O	A	O	A
Distrofici	1.05	1.64	1.31	1.05	0.86	0.46	0.78	0.84
Chimici	1.15	1.13	1.31	0.73	0.72	1.01	0.81	1.13
I-Sanitari	1.04	0.95	1.34	0.24	0.86	1.49	0.76	1.32
Totale	1.38	1.51	0.92	0.97	0.8	0.6	0.9	0.92

Tabella IV.20 – Calibrazione sul porto di Portosole in Gennaio.
Osservati: risposte pesate del modello, Attesi: risultati sperimentali

Si aggiungono le condizioni di un inquinamento dalla *bocca di porto* di tipo *Chimico - Alto, Distrofico ed Igienico Sanitario - Medio*. I valori sono alti per la presenza di una porto esterno a quello di Portosole ed in particolare per la presenza di un distributore di carburante alla bocca del porto.

I *moli* sono del tipo *palafittato* ed il *vento prevalente* è stato valutato provenire da *Est* con Intensità *media*.

La batimetria è stata calcolate con gli unici due punti noti (a 7m e 3m), avendo cura di disporre la profondità minima in prossimità della zona più lontana al primo punto noto, per evitare di “ingannare” il semplice algoritmo per il calcolo della batimetria.

Sui suddetti valori sono stati calcolati gli scarti della risposta del modello, rapportati al valore medio, con gli scarti dal valore medio delle analisi sperimentali. Il rapporto con il valore medio è necessario perché i dati in risposta dal modello sono su una scala da 0 a 255 e devono poter essere confrontati con i dati sperimentali (Tabella IV.20).

Si calcola poi la somma degli scarti quadratici medi tra i due valori, attesi ed osservati, e si cerca di minimizzare la somma degli scarti, variando come detto i parametri del modello.

I dati del modello sono stati raccolti sulla matrice a maglia *Grande* e *Molto Grande*, facendo la media dei due valori.

IV.9 Validazione

In seguito al processo di verifica e calibrazione è chiaro che deve venire una fase di test della validità dei risultati del modello.

Tale operazione deve essere eseguita su un set di dati differenti da quelli utilizzati nella calibrazione dei parametri al fine di evitare di “costringere” il modello a restituire i risultati voluti dallo sperimentatore. Nel nostro caso i dati per la validazione devono necessariamente venire dal porto di Aregai,

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4	
	O	A	O	A	O	A	O	A
Distrofici	1.08	1.5	1.28	1.2	0.73	0.59	0.91	0.7
Chimici	1.25	1.14	1.25	0.72	0.52	0.97	0.98	1.17
I-Sanitari	1.05	0.05	1.28	0.21	0.81	3.52	0.86	0.22
Totale	1.25	1.4	1.25	1.09	0.53	0.74	0.98	0.77

Tabella IV.21 – Validazione sul porto di Portosole in Luglio. Osservati: risposte pesate del modello, Attesi: risultati sperimentali

per il mese di Luglio e Gennaio e dalle analisi nel mese di Luglio per il porto di Portosole.

Il protocollo adottato è simile a quello seguito per la fase di Calibrazione: le risposte del modello sono state pesate sul valore medio ed i valori ottenuti dal modello sono stati mediati tra la maglia Grande e la maglia Molto Grande.

Portosole Luglio I riferimento alla mappa in Figura IV.16 per le **sorgenti di inquinamento** interne al porto:

- a1 *Scarichi fognari: basso*, ma aumentato rispetto all'inverno
- b1 *Scarichi industriali: medio*, aumenta rispetto all'inverno
- b2 *Aree lavaggio: basso*, aumenta rispetto all'inverno

Per le sorgenti di inquinamento esogeno si considera un'inquinamento dalla **bocca di porto più o meno alto**, di tipo *Distrofico* ed *Igienico Sanitario*, e *molto alto*, di tipo *Chimico*.

Il **vento prevalente** è in direzione *EstNordEst* con intensità *più o meno bassa* e la **batimetria** considera la *stratificazione estiva*.

I risultati del modello per questi dati sono in Tabella IV.21

Aregai Luglio I riferimento alla mappa in Figura IV.16 per le **sorgenti di inquinamento** interne al porto:

- a *Scarichi fognari: molto basso*
- a *Acque agricole: molto basso*
- b *Scarichi industriali: basso*

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4	
	O	A	O	A	O	A	O	A
Distrofici	1.13	0.39	0.95	0.55	0.96	0.74	0.96	0.48
Chimici	1.42	1.73	1.1	1.92	0.56	2.57	0.92	0.65
I-Sanitari	1.29	3	1.32	1.18	0.84	0.36	0.56	0.05
Totale	1.1	0.69	1.19	0.8	0.65	1.04	1.06	0.5

Tabella IV.22 – Validazione sul porto di Aregai in Luglio. Osservati: risposte pesate del modello, Attesi: risultati sperimentali

c Distributori carburante:basso

Per le sorgenti di inquinamento esogeno si considera un'inquinamento dalla **bocca di porto alto**, di tipo *Distrofico* ed *Igienico sanitario medio* per la presenza di una foce fluviale poco fuori la bocca di porto. Il **vento prevalente** è in direzione *EstNordEst* con intensità *più o meno basso* e la **batimetria** considera la *stratificazione estiva* con solo due punti noti a 7m e 3m posizionati il massimo di profondità alla bocca di porto ed il minimo all'estremo opposto del porto.

I risultati del modello per questi dati sono in Tabella IV.22

Aregai Gennaio I riferimento alla mappa in Figura IV.16 per le **sorgenti di inquinamento** interne al porto:

a Scarichi fognari: molto basso

a Acque agricole: molto basso

b Scarichi industriali: più o meno basso, aumenta rispetto all'estate

c Distributori carburante:basso

Per le sorgenti di inquinamento esogeno si considera un'inquinamento dalla **bocca di porto alto**, di tipo *Distrofico* ed *Igienico sanitario medio* per la presenza di una foce fluviale poco fuori la bocca di porto. Il **vento prevalente** è in direzione *Est* con intensità *medio* e la **batimetria** con solo due punti noti a 7m e 3m posizionati il massimo di profondità alla bocca di porto ed il minimo all'estremo opposto del porto.

I risultati del modello per questi dati sono in Tabella IV.23

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4	
	O	A	O	A	O	A	O	A
Distrofici	1.14	0.88	1.18	0.99	0.74	0.5	0.95	0.86
Chimici	1.43	0.67	1.1	0.54	0.59	1.41	0.88	1.14
I-Sanitari	1.14	4.84	1.18	0.45	0.73	0.43	0.95	0.13
Totale	1.17	0.96	1.18	0.9	0.66	0.65	1	0.88

Tabella IV.23 – Validazione sul porto di Aregai in Gennaio. Osservati: risposte pesate del modello, Attesi: risultati sperimentali

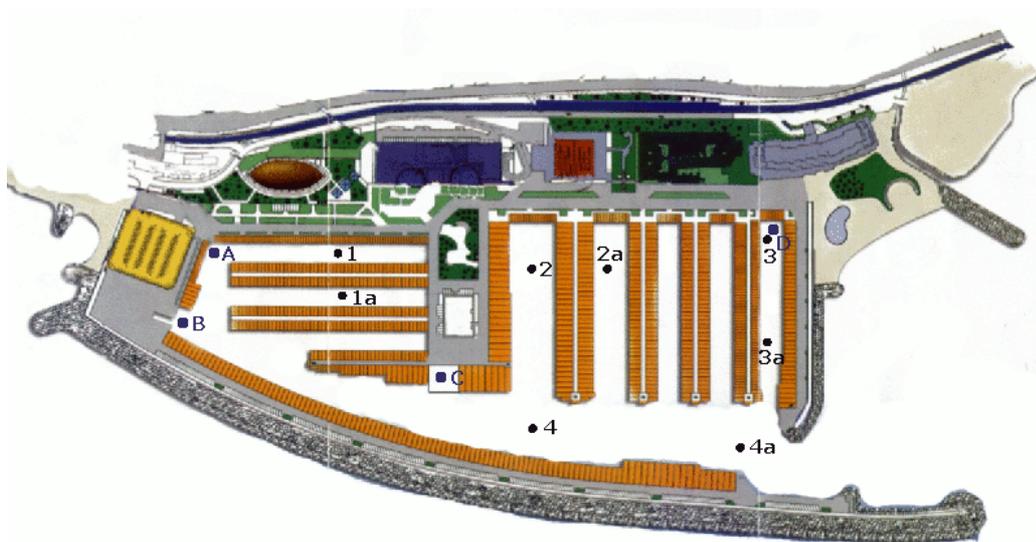


Figura IV.16 – Rappresentazione della posizione delle stazioni di campionamento e delle sorgenti di inquinamento.

IV.10 Vulnerabilità

Vengono ora presentati i calcoli necessari per il calcolo dell'indice di Vulnerabilità descritto nel Capitolo precedente.

Tale Indice è stato sviluppato nell'ambito del progetto PHAROS ([45]) e trova in questa tesi un'applicazione utile e concreta. Rispetto alla versione originale è stato però riadattato per venire incontro all'impostazione generale del modello JMarinas.

Non vengono infatti considerate le variabili di *Orientazione*, ed *Occupazione* mentre viene calcolata diversamente la *Forma* che chiamiamo *Circolarità*. Le restanti variabili di *Sfruttamento*, *Capacità di Rinnovo* ed *Irregolarità*, sono calcolate come segue.

Circolarità La Circolarità è calcolata come precedentemente detto, cioè con il rapporto tra la superficie del cerchio massimo costruito sui lati di confine del porto e quella dell'area del porto, in percentuale.

Attività Viene calcolata considerando la presenza, all'interno dell'ambiente portuale, di attività potenzialmente inquinanti. È necessario poi aggiungere un'aliquota che va ad incrementare il computo totale della vulnerabilità del porticciolo.

- Presenza cantieri = + 0.33
- Presenza distributore = + 0.33
- Presenza sbocchi acqua dolce = + 0.33

Irregolarità Seguendo la definizione originale il coefficiente di Irregolarità viene calcolato con l'equazione IV.11. Dove S_{acqua} è l'area del bacino portuale, precedentemente calcolata, e $P_{interno}$ è il perimetro interno del porto, anch'esso calcolato precedentemente.

$$Irr = -\left(3.5 * \left(\frac{\sqrt{S_{acqua}}}{P_{interno}}\right) - 1\right) \quad (IV.11)$$

Capacità di Rinnovo Esattamente come la formula originale è calcolabile attraverso il rapporto tra l'estensione della bocca di porto ed il perimetro interno. Tale valore è poi sottratto ad 1 per renderlo tendente a 0 all'aumentare della capacità di rinnovo.

Sfruttamento L'ultima operazione da compiere è quella per il calcolo dello *Sfruttamento* secondo la formula IV.12. Viene quindi richiesto il numero delle imbarcazioni che complessivamente vengono registrate durante l'anno e la capienza massima.

$$Sfrut = (n_{annuo}/365)/n_{disp} \quad (IV.12)$$

Il calcolo finale della Vulnerabilità dovrà essere integrato delle informazioni relative all'*Orientazione* ed all'*Occupazione*. Calcoli questi che possono essere eseguiti senza l'ausilio di JMarinas.

CAPITOLO V

Discussione e conclusione

Questo lavoro di tesi ha prima di tutto definito i concetti di Portualità e Vulnerabilità sia dal punto di vista teorico che operativo.

Nella formulazione preliminare dell'indice di Portualità si è cercato di dare il senso di questo concetto in rapporto all'ecologia portuale ma senza definire un'equazione per la sua quantificazione.

Successivamente, nella parte sperimentale, è stato sviluppato uno strumento matematico, JMarinas, per la determinazione di tale indice.

La funzione di Portualità è stata scelta come dipendente dalle variabili di: prossimità con le sorgenti inquinanti, prossimità alla bocca di porto, tortuosità del bacino portuale e batimetria del porto.

La distribuzione di un questionario quantitativo e la fase di calibrazione effettuata durante il lavoro di tesi hanno poi permesso di definire i pesi associati a ciascuna variabile, permettendo attraverso gli strumenti dell'analisi multattributo, di determinare un numero adimensionale che sia indice, per ciascuna zona del porto, del valore della Portualità.

Tale valore è, come da definizione teorica di portualità, una quantità relativa al porto e non confrontabile al di fuori di esso.

Lo stesso procedimento è stato applicato all'indice di Vulnerabilità. Infatti è stata proposta una prima definizione teorica e successivamente un'equazione parametrica per la definizione numerica di tale indice. Si considerano in questo caso attributi caratteristici come la Forma, l'Irregolarità, l'Occupazione, il Capacità di Rinnovo, l'Attività e lo Sfruttamento.

L'indice di Vulnerabilità così prodotto è quindi una misura numerica adi-

mensionale, riferita al complesso del porto.

Gli indici così definiti sono di utilità sia per il ricercatore interessato alla caratterizzazione dell'ambiente portuale sia per il gestore del porto che ha interesse a mantenere un elevato livello di qualità ambientale.

I ricercatori, che spesso si trovano a dover ragionare su strategie di campionamento, possono utilizzare l'indice di Portualità elaborato da JMarinas, per decidere quali zone campionare. Posizionando le stazioni in quelle zone a maggiore o minore rischio inquinamento potranno, nei termini degli errori del modello, avere una rappresentazione veritiera delle condizioni del porto. L'indice di Vulnerabilità a sua volta viene incontro alle necessità legate alla definizione di una frequenza di campionamento in fase di monitoraggio, infatti, un porto più Vulnerabile andrà monitorato con maggiore frequenza di uno meno Vulnerabile.

I gestori possono invece utilizzare l'applicativo software di JMarinas per predire quali sarebbero le conseguenze di un'opera ingegneristica nel loro porto. Cioè quanto ne sarebbe aumentata la Vulnerabilità e come cambierebbe la Portualità delle diverse aree del porto.

Dal punto di vista modellistico poi è stato introdotto con questa tesi una variante al metodo dell'analisi multiattributo largamente utilizzato in economia, medicina, scienze sociali e gestione del territorio.

Non esistono infatti in letteratura esempi di analisi multiattributo su alternative spaziali. In JMarinas le alternative infatti sono i punti del porto, o, ad una scala maggiore, le diverse zone del porto.

Come molti modelli di questo genere poi alcune delle variabili sono di tipo fuzzy. L'ambiente portuale è stato quindi descritto in termini sfumati, favorendo una visione olistica dell'ecosistema portuale, in luogo di un approccio deterministico inapplicabile, in questo contesto, alla complessità dell'ecosistema portuale.

Gli obiettivi di questo lavoro sono infatti quelli di costruire uno strumento di gestione che non richieda misure strumentali, e le variabili fuzzy sono la risposta naturale a questa esigenza.

In ultima analisi JMarinas ha dimostrato come un approccio fuzzy possa rappresentare parte di un ecosistema complesso come quello portuale, proponendosi come supporto alle misure strumentali, comunque necessarie. È stato poi messo in luce il ruolo di un ristretto numero di attributi nella definizione della qualità di un porto turistico. La suscettibilità all'inquinamento risulta infatti, sia localmente (Portualità) che globalmente (Vulne-

rabilità) strettamente legata a fattori strutturali oltre che alle sorgenti di inquinamento.

Prospettive future e limiti presenti Le prospettive di futuri sviluppi sono principalmente legate ad una migliore gestione dell'informazione inserita dall'utente. In particolare è emersa la necessità di redigere un questionario per la quantificazione dell'intensità dell'emissione inquinante volto a ridurre la soggettività della valutazione da parte dell'utente.

Si potrebbe poi ripensare la relazione tra sorgenti di inquinamento esterno ed interno. La calibrazione infatti ha portato a pensare che sarebbe utile considerare tutti gli inquinanti come un unico attributo, anziché separare quelli di origine esterna e quelli endogeni in due matrici distinte.

Bisognerebbe ridurre il peso, nella determinazione dei parametri, dei risultati del questionario quantitativo. Bisognerebbe quindi integrare tale dato con misure numeriche di dispersione degli inquinanti ed una più ampia calibrazione per la determinazione dei pesi degli attributi.

Uno dei problemi è infatti legato al ridotto set di dati a disposizione della calibrazione che non ha permesso di definire alcune variabili di stato come: importanza del vento prevalente ed il fattore di ostacolo dei pontili.

Bibliografia

- [1] Y.K. Yung, K. Yau, C.K. Wong, K.K. Chan, I. Yeung, C.S.W. Kueh and M.J. Broom. *Some observations on the changes of physico-chemical and biological factors in Victoria Harbour and vicinity*. Hong Kong, 1988–1996, Marine Pollution Bulletin 39 (1999), pp. 315–325.
- [2] Capelli, R., Contardi, V. and Zanicchi, G.. *Enquete explorative sur la teneur en metaux lourds (Cd, Co, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb) dans des echantillons de moules (Mytilus galloprovincialis)*. J. d'etudes Pollut. Mar. Split Oct. 1976.
- [3] McGill DA. *The relative supplies of phosphate, nitrate and silicate in the Mediterranean*. Rapports et procès-verbaux des réunions, Commission internationale pour l'Exploration scientifique de la mer Méditerranée 18: 734-744, 1965.
- [4] M. Fabiano. *Production of the Ligurian coastal waters*. 11 Primary production, Memorie di Biologia Marina ed Oceanografza 14 (1984), pp. 43–58.
- [5] S.E. Jørgensen, G. Bendoricchio. *Fundamentals of Ecological Modelling, Third Edition*. Elsevier, 2001.
- [6] R. Likert. *Technique for the misure of attitudes*. Arch.Psycho., Vol. 22 N. 140, 1932.
- [7] D.S. Solomona, K.F.D. Hugheyb, *A proposed Multi Criteria Analysis decision support tool for international environmental policy issues: a pilot application to emissions control in the international aviation sector*. Environmental Science and Policy, Volume 10, Issues 7-8, Pages 645-653, November-December 2007.

- [8] M. Sarmentoa, D. Durãob, M. Duarteb. *Evaluation of company effectiveness in implementing environmental strategies for a sustainable development*. Energy, Volume 32, Issue 6, June 2007, Pages 920-926, Third Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems.
- [9] J. Dawes. *Do Data Characteristics Change According to the number of scale used? An experiment using 5-points, 7-points and 10-points scales*. International journal of Market Research, 50 (1), 61-77.
- [10] Theodore Jay Gordon. *The Delphi Method*. AC/UNION Millennium Project, 1994.
- [11] J. Landeta. *Current validity of the Delphi method in social sciences*. Elsevier, 2006.
- [12] H. Azani. *Analytics Delphi Method (ADM): A strategic decision making model applied to location planning*. Elsevier, 1990.
- [13] Carli A., Pane L. Mariottini G. L.. *Elementi di Ecologia Applicata, 6*. ECIG, 1998.
- [14] L. F. Girard, P. Nijkamp. *La valutazione per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*. FrancoAngeli, 1997s.
- [15] NS& T, NOAA. *Sediment Quality Guidelines developed for the National Status and Trends Program*. NOAA, 1999.
- [16] J.L. Cohon. *Multiple Objective Programming and Planning*. Academic Press, New York, 1979.
- [17] C.L. Hwang, A.S.M. Masud in collaboration with S. R. Paidy and K. Yoon. *Multiple Objective Decision Making, Methods and Applications: A State of the Art Survey*. Springer-Verlang, Berlin/Heidelberg/New York, 1979.
- [18] C.L. Hwang, K. Yoon. *Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications: A State of the Art Survey*. Springer-Verlang, Berlin/Heidelberg/New York, 1980.
- [19] Stefanowski, J., Slowinski, R.. *Rough set theory and rule induction techniques for discovery of attribute dependencies in medical information systems*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, ser. Technical Sciences 46 (2), 247-263, 1998.

- [20] Stefanowski, J., Slowinski, R.. *Rough set theory and rule induction techniques for discovery of attribute dependencies in medical information systems*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, ser. Technical Sciences 46 (2), 247–263, 1998.
- [21] Tsumoto, S. *Automated extraction of medical expert system rules from clinical databases based on rough set theory*. Information Sciences 112, 67–84, 1998.
- [22] Nieddu, L., Patrizi, G.. *Formal methods in pattern recognition: A review*. European Journal of Operational Research 120, 459–495, 1998.
- [23] Rossi, L., Slowinski, R., Susmaga, R.. *Rough set approach to evaluation of stormwater pollution*. International Journal of Environment and Pollution 12 (2-3), 232–250, 1999.
- [24] Diakoulaki, D., Zopounidis, C., Mavrotas, G., Doumpos, M.. *The use of a preference disaggregation method in energy analysis and policy making*. Energy 24 (2), 157–166, 1999.
- [25] Flinkman, M., Michalowski, W., Nilsson, S., Slowinski, R., Susmaga, R., Wilk, S.. *Use of rough sets analysis to classify Siberian forest ecosystem according to net primary production of phytomass*. INFOR 38 (3), 145–161, 2000.
- [26] Zopounidis, C., Slowinski, R., Doumpos, M., Dimitras, A.I., Susmaga, R.. *Business failure prediction using rough sets: A comparison with multivariate analysis techniques*. Fuzzy Economic Review 4 (1), 3–33, 1999b.
- [27] T. Prato. *Multiple attribute evaluation of landscape management*. Journal of Environmental Management 60, 325–337, 2000.
- [28] T. Prato. *Multiple attribute decision analysis for ecosystem management*. Ecological Economics 30 207 – 222, 1999.
- [29] K.R. MacCrimmon. *Decision Making Among Multiple Attribute Alternatives: A Survey and Consolidate Approach*. RAND Memorandum, RM-5877-DOT, 1969.
- [30] A.B. Crawford. *Impac Analyse Using Differentially Weighted Evaluative Criteria*. Multicriteria Decision Making, University of South Carolina Press, Columbia, pp. 732-735, 1973

- [31] R.T. Eckenrode. *Weighting Multiple Criteria*. Management Science, Vol.12 n 3, pp. 180-192, 1965.
- [32] P.E. Green, F.J. Carmone, Y. Wind. *Subjective Evaluation Models and Conjoint Measurements*. Behavioral Science, Vol. 17, n 3, pp. 288-299, 1972
- [33] C. Basta. *Pianificazione Territoriale e Rischio tecnologico: un'approccio Fuzzy alla Valutazione di Compatibilità Ambientale*. Tesi di Laurea IUAV, Venezia, 2003.
- [34] Von Altrock C.. *Fuzzy logic and neurofuzzy applications explained*. Prentice Hall, New York, 1995.
- [35] Yager R. R. *Fuzzy set and possibility theory recent developments*. Pergamon Press, Elmsford, 1982.
- [36] T. Prato. *Assessing ecosystem sustainability and management using fuzzy logic*. Ecologica Economics, 2006.
- [37] Bellaman R. E., Zadeh L. A.. *Decision making in a fuzzy environment*. Management Science, 1970.
- [38] Chen S. J., Hwang C. L.. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer, 1992.
- [39] Bass S. M., Kwakernaak H.. *Rating and ranking of multiple aspect alternative using fuzzy sets*. Automatica, 1977.
- [40] Dubois D., Prade H.. *Criteria and ranking of alternatives in the frame of fuzzy set theory*. TIMES Studies in Management Science, 1984.
- [41] Dubois D., Prade H.. *An introduction to fuzzy systems*. Clinica Chimica Acta 270 3 – 29, 1998.
- [42] P. Bonissone. *A Fuzzy Sets Based Linguistic Approach: Theory and Applications*. Proce.e.dings of the 1980 Winter Simulation Conference T.I. Oren, C.M. Shub, P.F. Roth (eds.).
- [43] P. Rostirolla. *Tecniche di aiuto alle decisioni per la VIA: un'analisi comparata su di un caso di studio*. CNR/PFT2, La valutazione dell'impatto ambientale nei trasporti, Roma, 1995.

- [44] Moreno M., Marin V., Paoli C., Vassallo P., Vezzulli L., Fabiano M. *Indicatori per la valutazione dello stato ambientale delle acque e dei sedimenti dei porticcioli turistici*. LINEE GUIDA per la predisposizione di sistemi di gestione ambientale secondo i requisiti del Regolamento EMAS II di strutture turistiche importanti (Porticcioli Turistici e Campi da Golf) integrati con i sistemi di gestione ambientale e con i processi di Agenda 21 Locale degli Enti Locali, www.lifepharos.it 110 pp. 2006
- [45] Vassallo P., Marin V., Moreno M., Paoli C., Vezzulli L., Fabiano M. *Modello per l'analisi della vulnerabilità e criticità potenziali nei porticcioli turistici*. LINEE GUIDA per la predisposizione di sistemi di gestione ambientale secondo i requisiti del Regolamento EMAS II di strutture turistiche importanti (Porticcioli Turistici e Campi da Golf) integrati con i sistemi di gestione ambientale e con i processi di Agenda 21 Locale degli Enti Locali, www.lifepharos.it 15 pp. 2006.
- [46] Marin V., Moreno M., Paoli C., Vassallo P., Vezzulli L., Fabiano M. *Interazione tra porticcioli turistici e fascia costiera: modelli di analisi*. LINEE GUIDA per la predisposizione di sistemi di gestione ambientale secondo i requisiti del Regolamento EMAS II di strutture turistiche importanti (Porticcioli Turistici e Campi da Golf) integrati con i sistemi di gestione ambientale e con i processi di Agenda 21 Locale degli Enti Locali, www.lifepharos.it 20 pp. 2006.
- [47] Cay S. Hortstmann, Gary Cornell. *Core Java 1 Volume I - Tecniche di Base*. SUN Microsystem Press, 2005.
- [48] Cay S. Hortstmann, Gary Cornell. *Core Java 2 Volume II - Tecniche Avanzate*. SUN Microsystem Press, 2005.

Ringraziamenti a:

Carlo perché è un esempio di rettitudine, a Silvia perché mi ha insegnato la forza d'animo, agli Amici perché mi danno la spensieratezza, a Paolo & Co. per il tempo e la pazienza, a Giovanna, Cesare, Luigi, Beatrice e Francesca, per l'affetto di una seconda famiglia, ed ai miei Genitori, che mi danno tutto il resto.

Strutture portuali

.0.1 Definizioni

Le definizioni sotto riportate sono relative alle principali espressioni contenute nella Tesi, senza la pretesa di costituire, nell'insieme, un esaustivo glossario tecnico di settore. Sono state omesse, per evidenti motivi, le definizioni relative a espressioni d'uso corrente nel settore (per esempio: altezza d'onda, porto).

- banchina: opera interna del porto destinata, insieme con i pontili, all'attracco delle imbarcazioni. La banchina normalmente delimita il perimetro interno del bacino portuale e sostiene il retrostante terrapieno per la formazione dei piazzali.
- briccola: struttura vincolata al fondale usata per segnale o per ormeggiarvi imbarcazioni. Costituita di solito da pali o gruppi di pali infissi nel fondale.
- canale d'accesso al porto: canale esterno al porto, eventualmente escavato, con fondali congruenti con il pescaggio massimo delle imbarcazioni ospiti del porto
- canali di manovra: canali interni al porto che consentono il movimento delle imbarcazioni e il loro accesso ai rispettivi posti barca
- cat-way o finger: vedi finger
- cerchio d'evoluzione: spazio interno al bacino portuale destinato alle manovre d'inversione di marcia o variazione di rotta delle imbarcazioni
- finger o cat-way: piccolo pontile di ormeggio posto trasversalmente al pontile, e quindi parallelamente all'imbarcazione ormeggiata, il cui scopo è quello di facilitarne l'ormeggio e l'accessibilità.

- frangiflutti galleggiante: struttura galleggiante in grado di ostacolare la propagazione del moto ondoso.
- imboccatura del porto: sezione di ingresso allo specchio acqueo protetto.
- minifinger o asta d'ormeggio: finger di dimensioni ridotte, normalmente non percorribile a piedi, avente il solo scopo di assicurare l'ormeggio laterale dell'imbarcazione.
- pendino o trappa: vedi trappa
- l.m.m: livello medio marino locale
- pontile: struttura interna al porto, fissa o galleggiante, destinata, insieme con le banchine, all'accosto o all'ormeggio delle imbarcazioni
- posto barca: porzione dello specchio acqueo, adiacente ad una banchina o ad un pontile, destinata all'ormeggio di una imbarcazione
- specchio acqueo: superficie di bacino protetto, comprendente posti barca, canali e spazi di manovra, cerchi di evoluzione, zone particolari riservate al rifornimento di combustibili, all'ormeggio di mezzi di soccorso e di sorveglianza, alle imbarcazioni dedicate alla pesca, ecc.
- trappa o pendino: sistema di ormeggio delle imbarcazioni costituito da una catena posta sul fondale, davanti alla prua delle imbarcazioni e fissata a corpi morti, alla quale vengono assicurati i cavi (non galleggianti) per l'ormeggio di punta delle singole imbarcazioni.

JMarinas

Il software compilato ed il codice sorgente è scaricabile all'indirizzo:

www.sourceforge.net/projects/jfmarinas.

Seguono alcune immagine della versione corrente e le parti di interesse scientifico del codice sorgente.

.0.2 Screen shots

Seguono alcuni screen-shot di JMarinas in esecuzione.

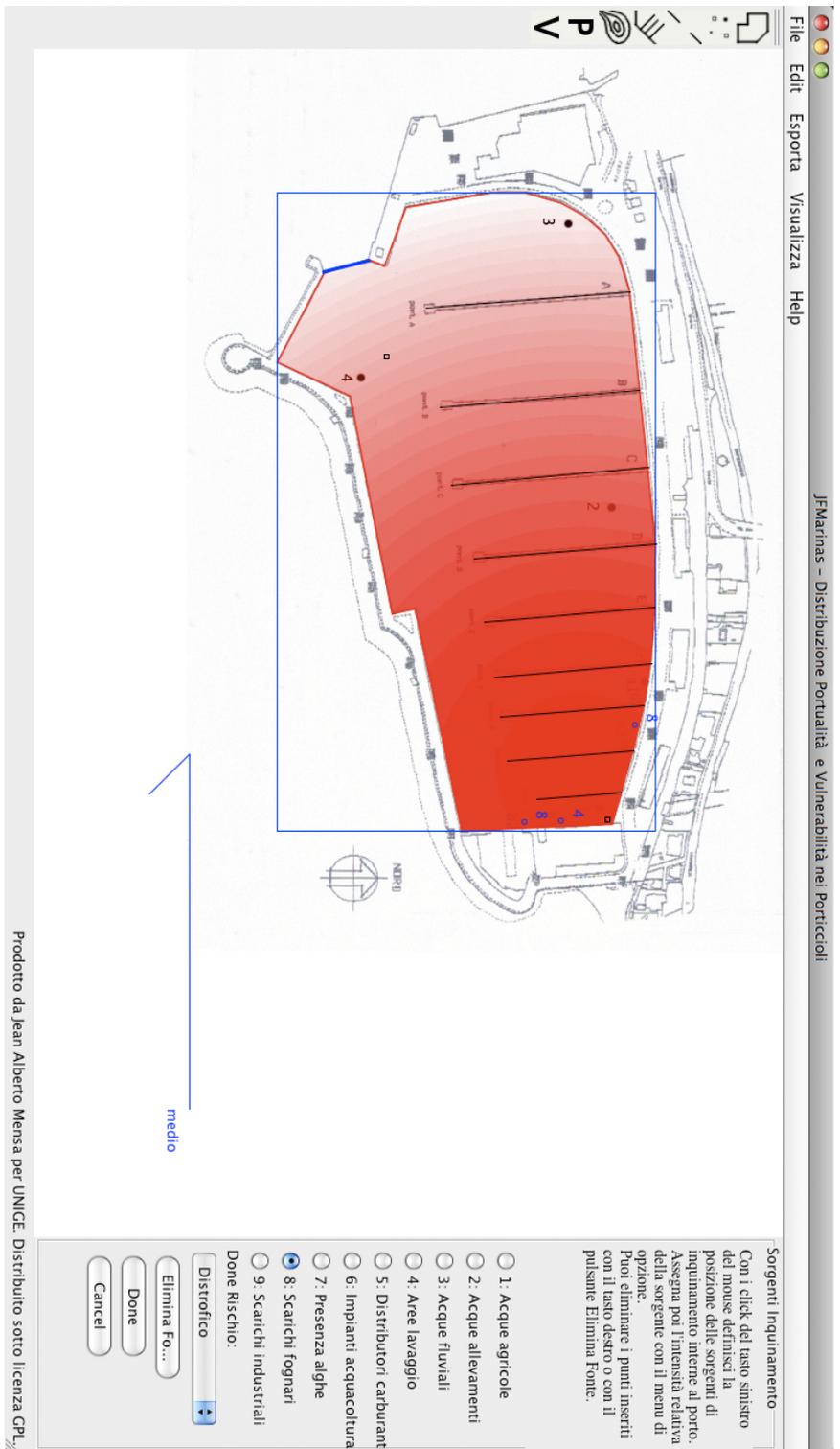


Figura 1 – Screenshot del prodotto del calcolo dell'influenza delle sorgenti inquinanti per il porto di Portosole.

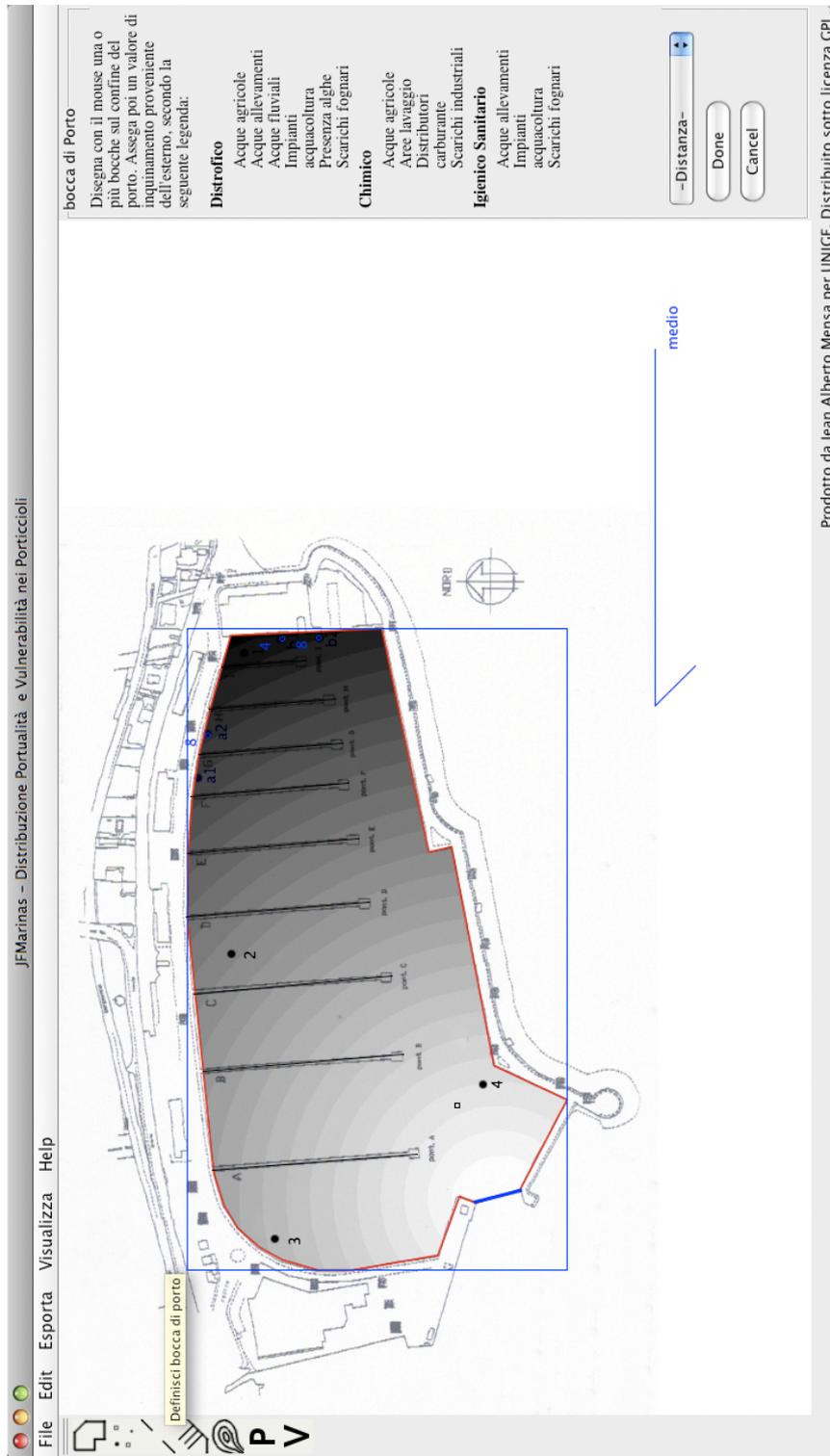


Figura 2 – Screenshot del prodotto del calcolo della prossimità alla bocca di porto per il porto di Portosole.

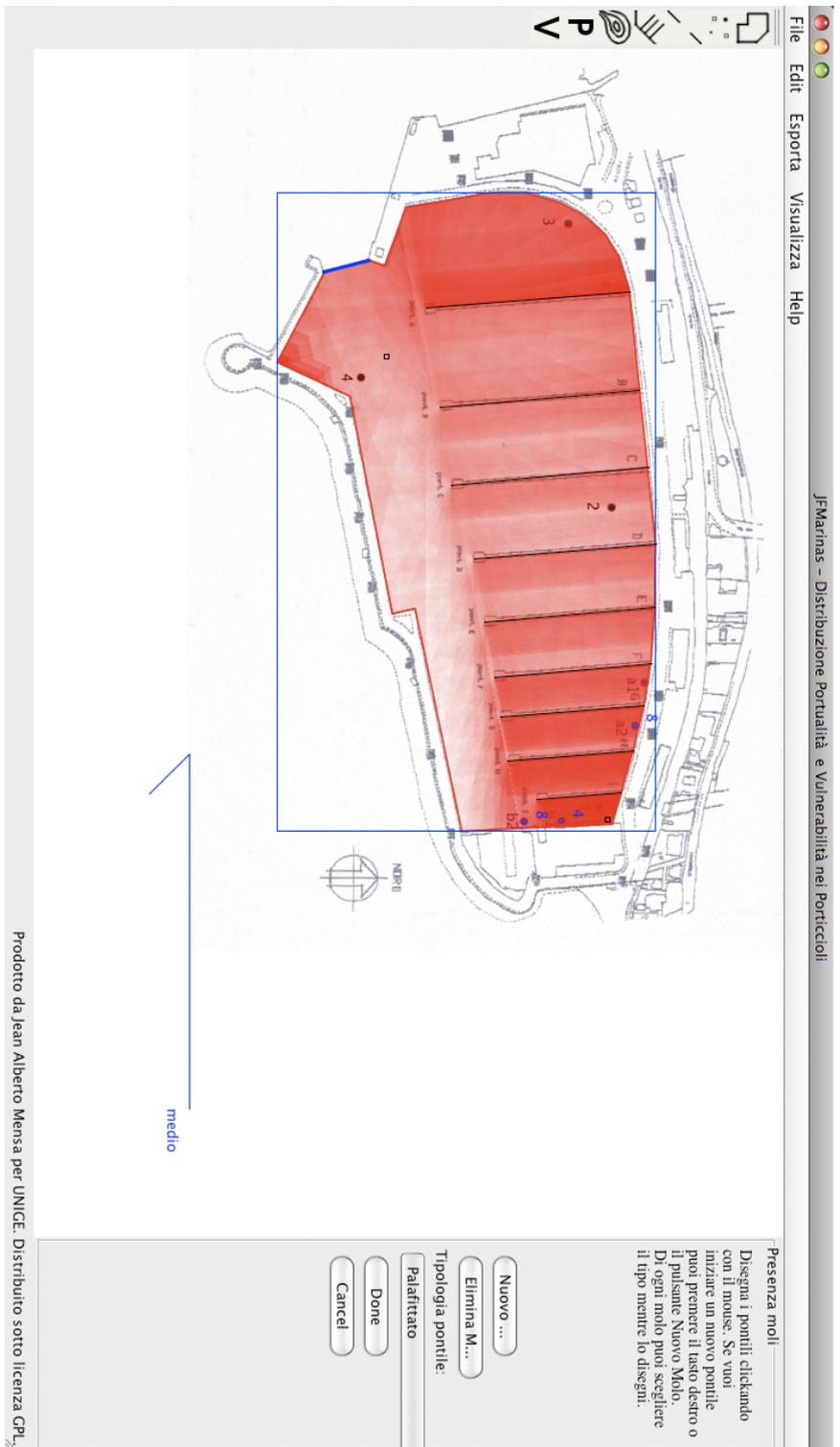


Figura 3 – Screenshot del prodotto del calcolo della tortuosità per il porto di Portosole.

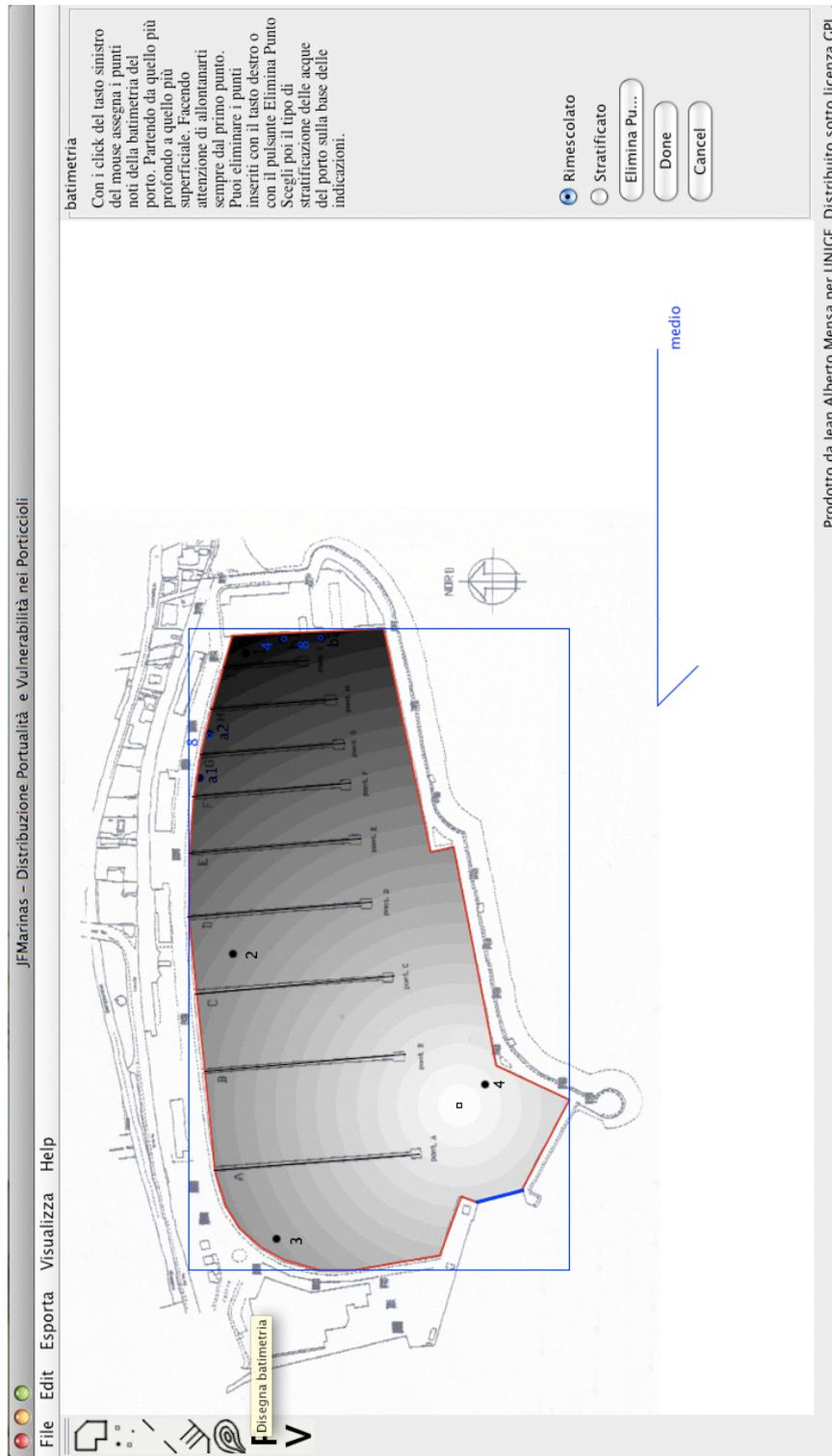


Figura 4 – Screenshot del prodotto del calcolo della bathimetria per il porto di Portosole.



Figura 5 – Screenshot del prodotto finale dell'elaborazione numerica con il prodotto dell'indice di portualità per il porto di Portosole.