

Consiglio Nazionale delle Ricerche

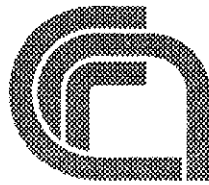
**Trattamento dell'informazione geografica  
in ambiente marino**

*M.V. Masserotti, A. Montomoli, E. Zucchelli*

CNUCE 95-43

CNUCE





Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Trattamento dell'informazione geografica  
in ambiente marino**

*M.V. Masserotti, A. Montomoli, E. Zucchelli*

CNUCE: 95 - 43

**CNUCE**



**INDICE**

<b>1. Introduzione</b>	5
<b>2. Il dato marino</b>	7
2.1 Caratteristiche	7
2.2 Modelli matematici e campagne oceanografiche	8
2.3 Modelli matematici e <i>remote sensing</i>	10
<b>3. Analisi delle esigenze e obiettivi</b>	13
3.1 Visione integrata	13
3.2 Tipi di dati	15
<b>4. Progetto informatico</b>	17
4.1 Elaborazione dei dati grezzi e creazione del <i>database</i>	17
4.2 Georeferenziazione	18
4.3 Costruzione del <i>database</i> geografico	18
4.4 Integrazione con altri tematismi	19
4.5 Visualizzazione e restituzione	20
<b>5. Verso il GIS del mare</b>	21
<b>6. Conclusioni</b>	23
<b>7. Bibliografia</b>	24
<b>Mappe</b>	25
<b>Appendice A</b> (descrizione del database)	29
<b>Appendice B</b> (dizionario dei dati)	30
<b>Appendice C</b> (range di ammissibilità)	33
<b>Appendice D</b> (script AVENUE)	34



## 1. Introduzione

Il rapporto tra l'informatica e le varie tematiche ambientali, come accade per altre discipline, è divenuto sempre più stretto e contribuisce, inoltre, alla creazione di notevole valore aggiunto in entrambi i campi.

Nel caso dell'oceanografia, è evidente la necessità di ricorrere allo strumento informatico, data la mole di informazioni da gestire, poichè lo studio del mare passa necessariamente attraverso la sua osservazione, la sua misurazione e la valutazione dell'ecosistema marino nel suo complesso, che comprende, oltre al mare stesso, tutti gli agenti che vi incidono in modo più o meno diretto.

La comunità scientifica impegnata nello studio del mare ha condotto negli anni numerose campagne oceanografiche di misura, acquisendo una notevole quantità di informazioni per lo studio dell'ambiente marino e costiero.

La necessità di immagazzinare le informazioni in archivi che consentano un facile accesso ai dati ed una loro efficace gestione, ha richiesto l'intervento dell'informatica come supporto logistico, cioè ha portato, innanzi tutto, ad organizzarli in banche dati.

Il primo passo è stato quello di analizzare le peculiarità del dato marino per evidenziare le caratteristiche che, per la sua natura, lo distinguono da un dato tipicamente terrestre, in modo da focalizzare l'attenzione sugli strumenti di analisi ed elaborazione più opportuni.

Quindi, sono stati organizzati i dati di misura dei parametri marini, raccolti durante le campagne di rilevamento *in situ*, inserendoli in un *database* che consenta un agevole recupero delle informazioni.

Nella fase successiva, è stato studiato il problema della gestione in un GIS di dati quadridimensionali e la possibilità di integrare i modelli dinamici per la simulazione di processi marini.

In fine, con l'utilizzo di tecnologie GIS, sono state prodotte carte tematiche del Nord Adriatico e della Laguna di Venezia utili allo studio dei fenomeni marini.





## 2. Il dato marino

L'apporto della componente informatica allo studio del mare non può limitarsi soltanto alla creazione di una banca dati. Interessante, infatti, era stabilire innanzi tutto un dialogo tra oceanografi ed informatici tale che il prodotto risultante da questa collaborazione rappresentasse un salto qualitativo per ambedue le discipline.

Il primo passo necessario per aprire un dialogo è stato quello di stabilire un linguaggio comune. Dal momento che la parola più usata da ambedue le parti è *dato*, si è proceduto ad individuare le informazioni da trattare, ciascuna caratterizzata da un proprio modello concettuale e quindi si è provveduto a disegnare lo schema comune in cui mappare i vari modelli concettuali.

### 2.1 Caratteristiche

Ogni "dato" trattato in ambiente marino, sia esso acquisito da piattaforma, *in situ* o remota, oppure prodotto da un modello, è definito da una serie di attributi e contiene una grandezza fisica, secondo lo schema riportato in Figura 1.

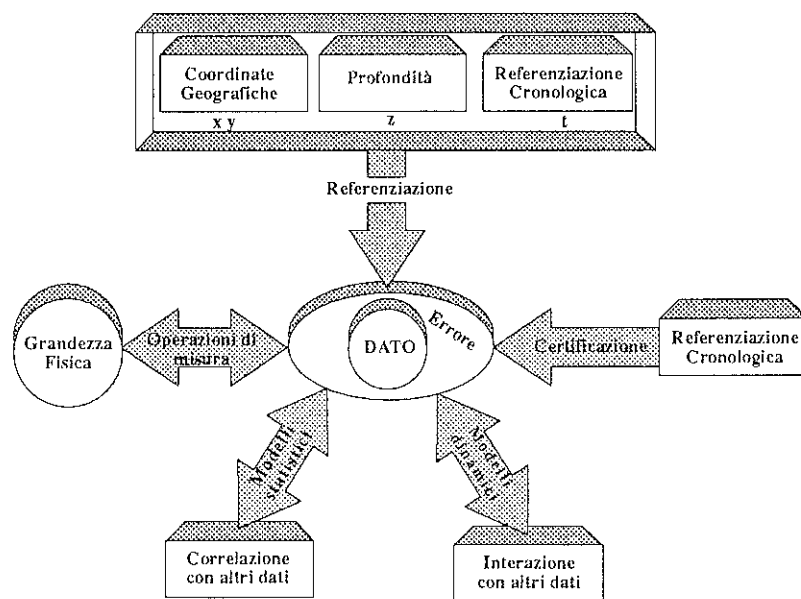


Figura 1 Schema comune dei modelli concettuali del dato marino

Partendo dalla Figura 1 è possibile capire e definire quali sono le componenti del dato marino e come la loro interazione è essa stessa una componente del dato.

Per quanto riguarda la referenziazione spaziale, essa consiste nel misurare le coordinate geografiche  $(x,y)$  del punto in cui viene effettuata la misura, unitamente alla profondità,  $z$ , che localizza la misura nella colonna d'acqua.



Oltre all'identificazione delle coordinate  $x,y,z$ , a causa della dinamicità dell'ambiente in esame, è necessario effettuare anche una referenziazione cronologica ( $t$ ), che consiste nella definizione di un certo istante, nell'insieme continuo del tempo, in cui si è acquisito il dato. Infatti in una stessa posizione geografica le misure di una grandezza in due istanti successivi, anche molto vicini, possono essere profondamente diverse.

Proseguendo con l'esame di quanto disegnato in Figura 1, osserviamo che la definizione della grandezza fisica è correlata con le operazioni di misura e con gli strumenti di acquisizione. Ambedue queste componenti incidono sulla certezza del dato, cioè sulla capacità di quantificarne e documentarne l'errore.

Poiché l'errore è insito nella misura, è necessario che il dato sia corredato dalla relativa documentazione di errore, intesa come tolleranza della misura.

Sarebbe auspicabile, in fine, definire, a livello internazionale, uno standard sulla quantità di errore accettabile ed i parametri con cui va calcolato e quindi documentato, per consentire la circolazione dei dati che è così costoso misurare.

Infatti, mentre in alcuni settori più consolidati, come per esempio nell'acquisizione dei dati da piattaforma remota (satellite, aereo, etc.) ci sono delle procedure consolidate per le varie correzioni necessarie, tipo quelle geometriche o atmosferiche, per la parte strumentale è più difficile arrivare ad una certificazione omogenea, sia perché numerosi e diversi tra loro sono gli strumenti con i quali si effettuano le misure, sia perché, essendo minimo lo scambio di dati marini tra i rilevatori, non è mai stata sentita come imprescindibile l'esigenza di concordare degli standard. Per questo è fondamentale che la certificazione del dato sia quanto più esaustiva possibile e documenti in modo inequivocabile la taratura degli strumenti.

Poiché la grandezza fisica misurata, referenziata nel tempo e nello spazio, vive in un ecosistema, è necessario considerarla nel suo contesto tenendo conto delle condizioni al contorno che interagiscono dinamicamente con essa. Nel trattare qualunque grandezza che riguarda il mare, infatti, non si può prescindere dalle condizioni meteomarine, dalla morfologia dei fondali, dalle attività antropiche e, in generale, da ogni altro fenomeno che possa interagire o modificare il sistema.

La correlazione su base statistica di un fenomeno con un altro fenomeno è uno strumento di indagine indispensabile all'analisi preliminare dei dati e produce informazioni relative al fenomeno in esame ed alla sua evoluzione, passata e futura, con un margine d'errore noto.

La dinamicità dell'ambiente marino è, sicuramente, la caratteristica che, più di ogni altra, influenza la misura di una sua grandezza fisica, e di essa si può tener conto impiegando un modello matematico, che, con opportune funzioni, ne descriva l'evoluzione spazio-temporale.

## 2.2 Modelli matematici e campagne oceanografiche

Per trattare correttamente il dato marino è necessario integrare nel modello concettuale del dato i modelli matematici.

La modellistica in ecologia rappresenta una base comune per razionalizzare il complesso di



fenomenologie che incidono sull'ambiente ed è l'approccio più efficace per comprendere il comportamento di un sistema complesso, quale può essere un bacino marino [3].

In Figura 2 sono mostrati i legami e le interazioni dei modelli dell'ambiente marino, partendo dall'osservazione del fenomeno fino alla simulazione dei possibili interventi umani.

Le campagne oceanografiche di osservazione e misura rappresentano un approccio empirico utile a produrre un modello qualitativo dell'andamento del fenomeno, da cui si può costruire un modello numerico capace di calcolare l'evoluzione spazio-temporale delle principali variabili marine quali il livello, la corrente e la densità.

Numerosi dati di *input* sono necessari per risolvere le equazioni che governano un modello matematico; questi possono essere divisi in due categorie:

a) *condizioni iniziali*, che definiscono lo stato del dominio in esame al momento dell'inizio della simulazione;

b) *condizioni al contorno*, che indicano come si evolvono le condizioni, spaziali e temporali, ai margini del dominio, nel caso nostro un bacino marino.

La qualità dei risultati di ciascun modello è fortemente dipendente dai dati di *input* utilizzati.

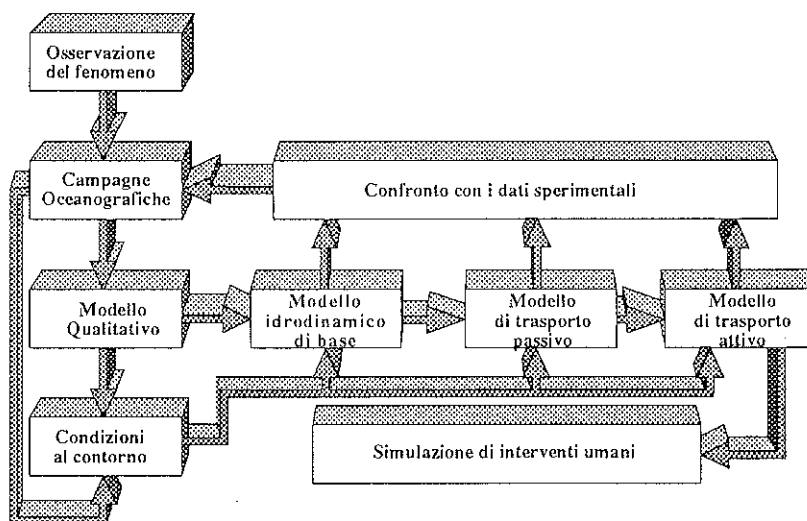


Figura 2 Modelli matematici dell'ambiente marino

Bisogna rilevare che nessun singolo modello, anche il più sofisticato, può riprodurre completamente un ecosistema. Un ecosistema è troppo complesso per essere considerato sotto tutti gli aspetti contemporaneamente.

Il termine modellistica implica inevitabilmente delle semplificazioni e, inoltre, non esistendo un modello globale, emerge che differenti fenomeni richiedono differenti modelli concettualmente diversi.

Il primo passo per un modello ecologico veritiero è il modello idrodinamico, nel quale la corretta rappresentazione della diffusione di certe sostanze è il punto di partenza per introdurre le interazioni biologiche [3].



### 2.3 Modelli matematici e remote sensing

Per capire, studiare e seguire in tutte le loro dimensioni, i fenomeni che modificano l'ambiente sono necessarie osservazioni sinottiche e ripetute nel tempo. Le immagini telerilevate, proprio per il loro numero e distribuzione nell'arco del tempo, costituiscono un utilissimo supporto alla comprensione di come l'habitat naturale reagisca alle manipolazioni antropiche e degli stessi processi naturali.

Le campagne oceanografiche forniscono dati utili, oltre che per i modelli, anche per la calibrazione delle immagini telerilevate che, a loro volta, danno una visione sinottica del fenomeno.

L'impiego di sensori remoti, attivi (scatterometri) e passivi (radiometri), congiuntamente a campagne di rilevazione *in situ* è fondamentale per seguire l'evoluzione spazio-temporale dei fenomeni marini, come, ad esempio, la diffusione delle acque mareali in un bacino lagunare, l'analisi della qualità delle acque, lo spostamento di macchie d'inquinamento, il campo di vento in prossimità della superficie marina.

Le interazioni tra modelli, campagne di misura *in situ* e dati telerilevati conducono alla generazione di un sistema di analisi integrato i cui collegamenti logici sono mostrati in Figura 3 [3].

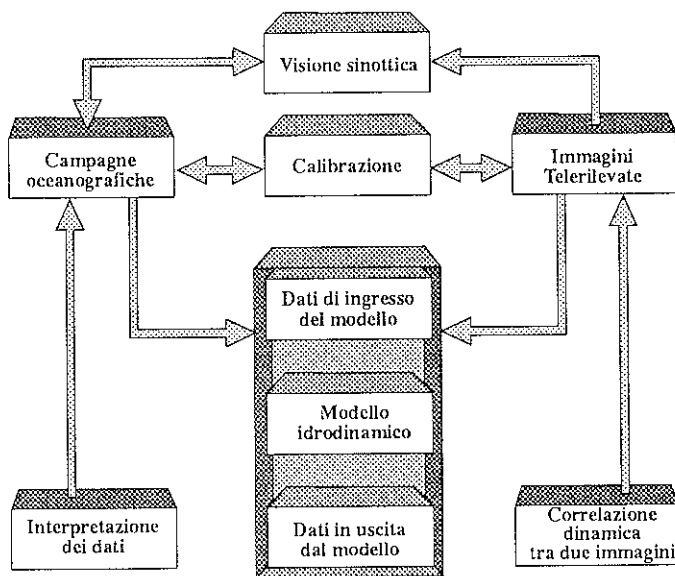


Figura 3 Collegamenti logici tra modellistica e telerilevamento

Le misure radiometriche sono in grado di fornire molteplici informazioni sull'ambiente marino, in relazione alla banda elettromagnetica a cui si riferiscono. Oltre a immagini nella banda del visibile, ~ 0.4 - 0.7 micron, per lo studio dei corpi idrici vengono, infatti, utilizzate immagini monocromatiche all'infrarosso, capaci di evidenziare fenomeni non osservabili altrimenti. La ripresa multispettrale della stessa scena ne mette in risalto le varie caratteristiche fisiche, chimiche e strutturali, e consente di rilevare informazioni qualitative e quantitative sull'area in esame dalla combinazione dei segnali ottenuti nei vari canali monocromatici di filtraggio. Utilizzando, ad esempio, la banda del blu (0.4





- 0.5 micron) e quella del verde (0.52 - 0.6 micron) è possibile penetrare i corpi idrici ed avere informazioni qualitative e quantitative sul plancton presente e sui materiali organici in sospensione. Il rilevamento del fitoplancton è molto importante perché fornisce dati sul primo anello della catena alimentare marina e sul quantitativo di clorofilla presente in mare. Una immediata conseguenza di ciò è la possibilità di prevedere la presenza e/o lo spostamento di fauna ittica in una determinata area di interesse.

Da immagini all'infrarosso è possibile, invece, distinguere i corpi idrici dalla terraferma o rilevare mappe di temperatura della superficie marina (infrarosso termico), utili anch'esse per derivare numerose informazioni correlate [11].

Vale la pena, tuttavia, sottolineare che l'utilizzo di immagini telerilevate per un'analisi quantitativa dei parametri marini è subordinato ad un processo di calibrazione radiometrica, di correzione geometrica ed atmosferica, che costituisce un punto chiave nel campo dell'*image processing* ed è un problema di non facile soluzione [11].



### 3. Analisi delle esigenze e obiettivi

Gli oceanografi sono produttori e consumatori di dati di misura dell'ambiente marino e costiero, in particolare l'ISDGM-CNR, dal 1979 in poi, ha svolto numerose campagne di misura nel Nord Adriatico e nella laguna di Venezia.

Questo studio ha preso le mosse non solo dalla necessità di memorizzare la non indifferente quantità d'informazioni al fine di non disperderla, ma anche, di porre in relazione i dati stessi nello spazio e nel tempo, utilizzando la tecnologia GIS applicata a dati quadridimensionali.

#### 3.1 Visione integrata

Le particolari caratteristiche del dato marino, portano necessariamente sia a correlare i dati tra loro sia a studiarne la loro interazione, quindi è necessario collocarli in un ambiente integrato, così come lo è l'ecosistema marino.

Il problema di raggiungere una visione integrata nello spazio e nel tempo delle varie componenti che caratterizzano il dato marino è facilitato dall'uso della tecnologia GIS (*Geographical Information System*).

Il concetto filosofico che sostiene l'architettura di un GIS risiede nella rappresentazione del "mondo". Il "mondo", infatti, con un'astrazione viene trasformato in oggetti codificati che sono a loro volta rappresentati con elementi geometrici come punti, linee ed aree.[12]

Un GIS non è altro che il risultato dell'applicazione integrata, a questo mondo astratto, di tecnologie che si sono sviluppate separatamente (*Computer Graphics, database, CAD, Remote Sensing, Modeling*, ecc.) ma che in questo contesto manipolano dati georeferenziati [2].

Il dato geografico, in un GIS, descrive perciò gli "oggetti" relativamente alla loro localizzazione e alla loro forma geometrica, ai loro attributi e alla loro correlazione spaziale, stabilendo tra essi un legame che è logico e non solo geometrico (topologia).

Si prenda in considerazione la struttura del dato mostrata in Figura 1, valida in generale, se da essa si tolgono i modelli dinamici e il tempo si ottiene quello che sono attualmente i GIS terrestri.

Nel caso di un ambiente marino, invece, tale approssimazione non è più fattibile perché la diversità dei fenomeni in gioco e la rapidità delle reciproche interazioni non consente di trascurare né i modelli dinamici né la variabile tempo.

Infatti, poiché la dinamica presuppone il movimento da uno stato ad un altro e poiché un evento può occupare un solo punto nell'insieme continuo del tempo, per misurare la dinamica devono essere considerati gli eventi a  $t_1, t_2, \dots, t_n$  [5].

La struttura di un GIS ha come elemento fondamentale un *database* geografico.

Un *database* Geografico (Figura 4) è una struttura di dati che contiene informazioni georeferenziate, cioè memorizzate secondo le coordinate del sistema geografico di riferimento utilizzato per il calcolo delle coordinate, in cui sono realmente situate, nelle reali dimensioni e non in scala.

Esso contiene anche i loro legami topologici, cioè i diversi elementi che concorrono alla defini-



zione delle relazioni spaziali, come la connessione, l'adiacenza o l'inclusione [2].

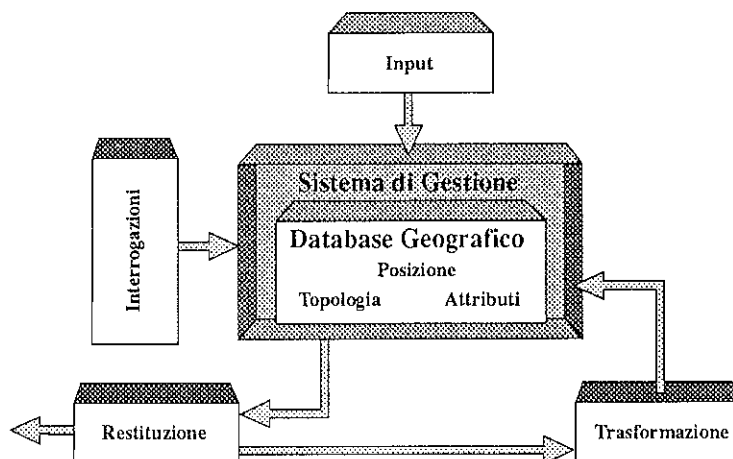


Figura 4 Database geografico

Un GIS è quello strumento tecnologico che ci consente di elaborare i dati contenuti in un database geografico nel quale sono state stabilite delle relazioni spaziali omogenee per ottenere informazioni derivate.

Tali dati derivati permettono:

- recupero delle informazioni;
- generazione di mappe;
- applicazione di modelli.

Un GIS (Figura 5) è suddiviso in moduli *software* che si occupano di:

- gestione e verifica dei dati in ingresso;
- memorizzazione e manipolazione dei dati in un database geografico;
- gestione delle interrogazioni;
- supporto per elaborazioni specialistiche;
- restituzione.

Nel caso di un GIS marino gli elementi geometrici che rappresentano gli oggetti codificati del mondo marino sono oltre a punti, linee ed aree anche i volumi, che dovrebbero rappresentare la massa d'acqua ed i suoi movimenti che sono parte qualificante del mare.

La progettazione di un GIS marino presenta quindi, rispetto ai tradizionali GIS, alcuni elementi di ulteriore complessità dovuti alla presenza della terza dimensione, che è la profondità, alla referenziazione cronologica, ed alla necessità di tener conto dei vincoli dinamici che caratterizzano l'ambiente marino.

Il problema della trattazione dinamica dell'ambiente marino comporta l'esigenza di un'interazione



tra dati e modelli e quindi di elaborazioni specialistiche, per cui in Figura 5 la freccia tratteggiata scompare.

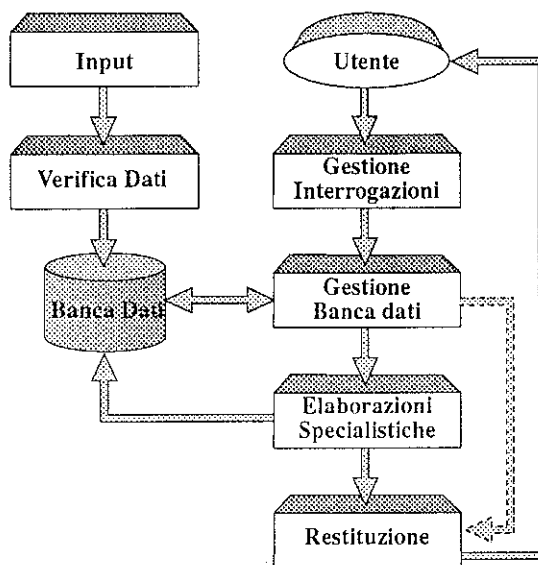


Figura 5 Moduli componenti un GIS

Da un punto di vista strettamente tecnico un “GIS dinamico” deve possedere caratteristiche più sofisticate rispetto a un “GIS statico”, tendenti ad assimilarlo ad un “sistema vivente”. In particolare le relazioni topologiche devono poter mutare *on-line* riflettendo le trasformazioni geometriche delle entità geografiche; gli attributi descrittivi, inoltre, non sono più valori fissi, ma il risultato di funzioni o di modelli, definiti anche dall’utente, capaci di seguire l’evoluzione spazio-temporale della grandezza fisica in esame. Infine, la visualizzazione di dati dinamici implica che anche la simbologia adottata per rappresentare gli attributi ne rispecchi i continui mutamenti.

### 3.2 Tipi di dati

Per studiare il mare è necessario orientarsi verso una visione integrata delle varie componenti del dato marino, usare strumenti tecnologici come il GIS e, quindi, rappresentare la realtà utilizzando le informazioni relative alle varie componenti.

Data la complessità dei processi coinvolti nell’ambiente marino ci si trova a dover gestire dati di varia natura e formato; si possono distinguere, infatti:

- 1) dati che esprimono grandezze fisiche, come i parametri chimici, ottici e biologici;
- 2) dati di riferimento come, ad esempio, quelli cartografici;
- 3) dati telerilevati;
- 4) dati teorici, come quelli prodotti dai modelli evolutivi.

Tutti questi tipi di dati possono avere essenzialmente due formati diversi: il formato vettoriale e





quello *raster* [4].

I dati di tipo 1 e 2 sono solitamente memorizzati in formato vettoriale, sotto forma di punti, linee, aree e attributi descrittivi connessi, mentre i dati da remoto sono rappresentati in formato *raster* come una matrice di celle elementari. Per quelli sperimentali possiamo trovarci di fronte ad ambedue le tipologie [4].

Poiché in un GIS la presenza di formati diversi è tanto più marcata quanto più esso estende le sue applicazioni alle varie aree delle tematiche ambientali, è sicuramente necessario prevedere lo sviluppo di algoritmi di integrazione dei diversi formati per poter usare al meglio il maggior numero di informazioni, senza perdere le potenzialità che ciascun tipo di formato offre.

Sia i dati di *input* necessari per rendere significativo un GIS, sia quelli generati da modelli o derivati dall'uso del GIS stesso, contengono una mole di informazioni tale da rendere necessaria una loro organizzazione allo scopo di garantire un rapido recupero delle stesse.



#### 4. Progetto informatico

Lo schema del sistema che implementiamo (Figura 6) prevede le seguenti fasi:

1. acquisizione dei dati da campagne *in situ*;
2. analisi, strutturazione e filtraggio dei dati;
3. costruzione del *database* relazionale;
4. georeferenziazione;
5. costruzione del *database* geografico;
6. integrazione con altri tematismi;
7. visualizzazione e restituzione.

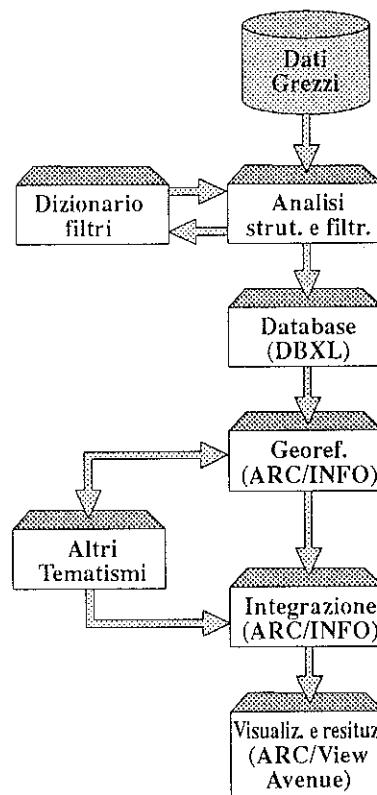


Figura 6 Architettura del sistema informatico

##### 4.1 Elaborazione dei dati grezzi e creazione del database

La mole di dati disponibile ed i diversi supporti sui quali sono memorizzati hanno richiesto un'approfondita analisi preliminare, sia per poter chiaramente identificare e omogeneizzare le informazioni, sia per definire la struttura logica del *database* capace di gestirli.

Ogni campagna è un'entità a sé stante e i tipi e le caratteristiche delle misure possono essere diversi tra una campagna e l'altra ed anche all'interno della stessa campagna.



I campionamenti vengono effettuati nei seguenti modi:

1) *con mezzo navale in movimento* lungo un percorso predeterminato caratterizzato da "stazioni" con nave ferma, nelle quali vengono effettuati profili verticali di vari parametri e campionamenti di acqua a diverse profondità e relative analisi; queste campagne possono avere durata giornaliera oppure di più giorni;

2) *mezzo navale ancorato* per uno o più giorni nel medesimo luogo con l'effettuazione di misure in continuo di superficie e/o fondo e di campionamenti discreti di acqua e relative analisi ad intervalli predeterminati.

Per una descrizione più dettagliata sull'organizzazione dei dati di misura nel *database* si rimanda all'Appendice A.

Si è definito, inoltre, un "dizionario dati" delle grandezze fisiche, riportato in Appendice B, contenente l'elenco delle 96 variabili misurate, con il loro codice, descrizione, unità di misura e formato del campo nel quale viene memorizzata la grandezza fisica nel *database*.

Definiti gli intervalli di ammissibilità delle grandezze misurate, i dati sono filtrati prima di essere caricati nel *database*.

I campi di ammissibilità sono riportati in Appendice C.

Per la creazione del *database* relazionale è stato usato il *software* DBXL che, oltre alle normali funzioni di interrogazione, offre anche la restituzione amichevole di alcune funzioni statistiche sotto forma grafica.

## 4.2 Georeferenziazione

Le misure in situ sono corredate delle coordinate geografiche acquisite con il LORAN (*LONG RANGE Navigation*), strumento di radiolocalizzazione utilizzato per rilevare il punto nave che elabora i segnali provenienti da tre stazioni nel Mediterraneo.

Purtroppo, la precisione con cui può operare questo strumento è piuttosto scarsa, perché è legata alla posizione geografica che si vuole misurare e alle interferenze sul segnale ricevuto. Per contenere l'errore, all'inizio di ogni campagna di misura lo strumento è stato tarato a zero alla Bocca di Lido (Venezia), per cui si può ritenere che l'errore massimo sia contenuto in  $\pm 1/2$  miglio marino ( $\pm 900$  m). Il LORAN fornisce le coordinate geografiche (latitudine e longitudine), che, nel nostro caso, sono state convertite in coordinate U.T.M. (*Universal Transverse Mercator*) utilizzando gli strumenti disponibili a tale scopo del *software* GIS ARC/INFO, per consentire la sovrapposizione con le immagini da satellite.

## 4.3 Costruzione del *database* geografico

Il *database* geografico in ARC/INFO è essenzialmente un *database* pseudorelazionale che contiene la posizione geografica, le relazioni topologiche e gli attributi descrittivi [2]. Questi ultimi sono



memorizzati in un *database* relazionale classico, che può risiedere anche esternamente, mentre la componente spaziale, organizzata in *data set* geografici, è gestita direttamente dal processore del sistema, ARC.

Utilizzando tale strumento sono stati generati tematismi di tipo vettoriale (*coverages*) per ogni campagna di misura, corredandoli con la componente descrittiva, costituita, tra l'altro, dalle misure delle grandezze fisiche.

Questo tipo di organizzazione e l'utilizzo di una tecnologia GIS, come ARC/INFO, consente di effettuare sia interrogazioni di tipo geografico che di tipo descrittivo. E' possibile, ad esempio, selezionare a video un'area geografica ed estrarre le informazioni ad essa associate, oppure effettuare la selezione direttamente sulla tabella degli attributi relativa all'entità geografica considerata.

#### 4.4 Integrazione con altri tematismi

Per la corretta interpretazione del dato marino, secondo quanto esposto nel paragrafo 2.1, è necessario valutarlo nel contesto delle condizioni al contorno da cui è influenzato.

A questo scopo si rende necessario acquisire quante più informazioni è possibile, come, ad esempio, carte digitalizzate delle coste, delle aste dei fiumi e della loro portata, della batimetria, ecc.

L'integrazione tra tutti questi strati informativi, creata in ambiente ARC/INFO, è stata realizzata con il *software* ARCVIEW, un'interfaccia grafica, che consente oltre ad interrogazioni di tipo spaziale, anche alcune di tipo statistico. La scelta di questo tipo di *software* è stata determinata dalla necessità che utenti non necessariamente esperti in informatica possano "amichevolemente" utilizzare l'applicazione.

ARCVIEW è usato, nel nostro caso, per descrivere i rapporti tra i valori delle grandezze misurate con lo spazio e/o il tempo.

Per effettuare interrogazioni di tipo temporale, essendo il tempo considerato come un attributo numerico, possono essere usati tutti gli operatori matematici e logici previsti per gli attributi di questo tipo.

Ad esempio, è possibile selezionare le campagne di misura realizzate prima o dopo una certa data, o quelle compiute entro un certo periodo di tempo.

Le interrogazioni di tipo spaziale sono quelle tipiche di un ambiente GIS e coinvolgono, pertanto, sia le coordinate dell'entità geografica, sia gli attributi ad essa correlati. Per esempio, è possibile selezionare i fiumi con una lunghezza maggiore di 10 Km e con una portata superiore ad un certo valore, o, ancora, individuare le stazioni in mare in cui le misure di salinità e di temperatura sono comprese in intervalli definiti.

Il *software* ARCVIEW consente, inoltre, di effettuare un minimo di analisi statistica sulle misure relative a ciascun attributo (valore massimo, minimo, medio, varianza, deviazione standard, etc.) e di visualizzare grafici di grandezze fisiche correlate tra loro, ad esempio, salinità in funzione della temperatura e/o della profondità.





#### 4.5 Visualizzazione e restituzione

Utilizzando il linguaggio di programmazione di tipo *object oriented*, AVENUE, in ambiente ARCVIEW, è stata realizzata un'interfaccia utente per la generazione e la restituzione automatica di strati informativi di dati provenienti dalle campagne di misura *in situ* e dall'elaborazione di alcuni modelli idrodinamici.

Tale interfaccia si fonda sulla architettura logica *client-server*, con protocollo RPC (*Remote Procedure Call*), che consente al *client* ARCVIEW di inviare delle richieste al *server* ARC/INFO. In particolare, un file in formato ASCII contenente i dati delle misure di campagna viene inviato al *server* che, sulla base di informazioni aggiuntive inserite interattivamente dall'utente, genera una struttura vettoriale (*coverage*) oppure una struttura *raster (grid)* relative al tematismo geografico o al parametro marino d'interesse. Queste strutture vengono, quindi, restituite al *client* che, utilizzando uno *script* AVENUE, provvede a visualizzarle automaticamente a video, consentendo all'utente di effettuarvi interrogazioni di vario genere.

L'applicazione della procedura realizzata risulta particolarmente efficace nel caso di dati ottenuti da simulazioni con modelli matematici, poiché questi, essendo organizzati sotto forma di matrice, sono facilmente gestiti da strutture *raster (grid)* che permettono, tra l'altro, una elaborazione rapida dei dati in esse contenuti.

In Appendice D è riportato il codice sorgente dello *script* AVENUE per la generazione automatica di una mappa *raster (grid)*.



### 5. Verso il GIS del mare

L'applicazione di tecnologie GIS nella simulazione di processi ambientali, in particolare dell'ambiente marino, deve necessariamente tener presente due importanti requisiti che attualmente costituiscono anche i maggiori limiti dei *software* GIS oggi a disposizione:

- 1) una maggiore integrazione con modelli di simulazione di fenomeni ambientali;
- 2) l'inserimento della referenziazione cronologica e di un opportuno database (*temporal database* -[6]) in grado di gestire un linguaggio di interrogazione spazio-temporale

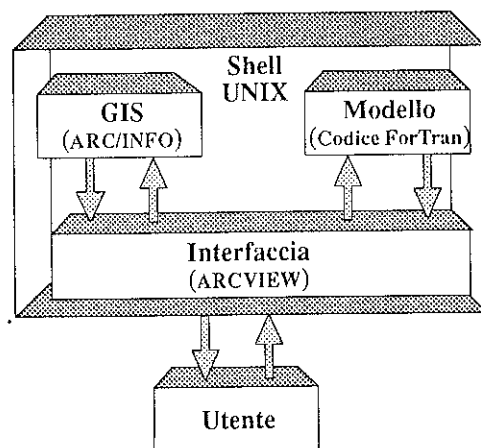


Figura 7 Integrazione tra modelli e GIS: secondo livello

I GIS attuali soddisfano necessità come il preprocessamento dei dati per renderli accessibili all'analisi, l'analisi e la modellazione, il postprocessamento dei risultati [9]. Tuttavia molti problemi relativi alle scienze ambientali implicano, per la loro complessità e dinamicità, l'aggiunta sia della quarta dimensione che di modelli di simulazione non semplicemente empirici ma basati su fondamenti fisici.

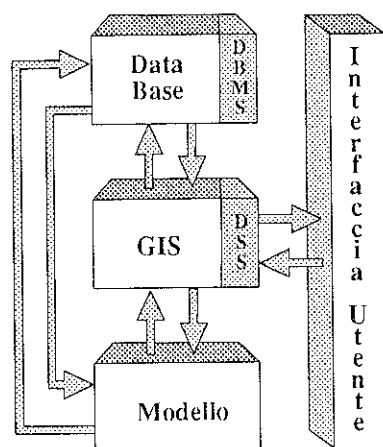


Figura 8 Integrazione tra modelli e GIS: terzo livello



Si pensi, ad esempio, ad un modello idrodinamico di previsione dello spostamento delle masse d'acqua oceaniche nello spazio tridimensionale e nel tempo, sotto l'influenza di vari agenti forzanti come le correnti, i flussi mareali, gli apporti fluviali, gli effetti meteorologici (vento e pressione). Un modello del genere, così come altri con funzionalità diverse, andrebbe completamente integrato in un GIS in modo da realizzare un sistema di analisi e previsione effettivamente completo.

E' possibile individuare tre diversi livelli, sempre più stretti, di integrazione tra modelli e GIS [10]:

1. interscambio di dati tra due applicativi diversi, ognuno con la propria interfaccia;
2. applicativi separati con un'unica interfaccia utente (Figura 7);
3. ambiente applicativo integrato come in Figura 8.

Il nostro caso di studio, superato il primo livello, sta ora affrontando il secondo.

Il progetto prevede che il *software* ARCVIEW, versione 2.1, sia l'interfaccia comune tra modelli di simulazione scritti in linguaggio FORTRAN ed il GIS ARC/INFO versione 7. Tutti i pacchetti *software* sono installati direttamente su *workstation* Digital con processore alfa e sistema operativo Unix.



## 6. Conclusioni

Il *trend* attuale punta alla realizzazione di un sistema informativo ambientale integrato che riunisca in una struttura di tipo *problem-oriented* le potenzialità dei GIS e dei modelli fisici specifici. Inoltre, la necessità di gestire la dinamica come informazione geografica per poter realizzare un GIS marino implica l'uso di informazioni quadridimensionali, cioè referenziate nello spazio e nel tempo (Figura 9).

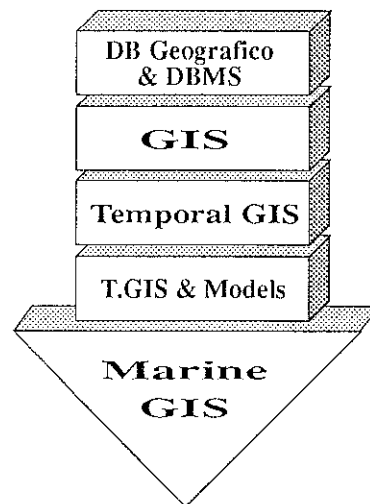


Figura 9 Evoluzione delle tecnologie informatiche verso il GIS marino.

Su questo tema si sta di fatto indirizzando la ricerca a livello internazionale seguendo due tipi di approccio diversi: il primo, condotto dagli esperti di tecnologia GIS, tendente a integrare la componente temporale nell'architettura del sistema informativo geografico [7]; il secondo, studiato dagli esperti di *database*, basato sulla convinzione che i *database* attualmente contenuti nei GIS non sono concettualmente in grado di gestire il tempo, tendente ad integrare la componente spaziale nei database temporali con l'utilizzo di tecniche di gestione di basi di dati [8].

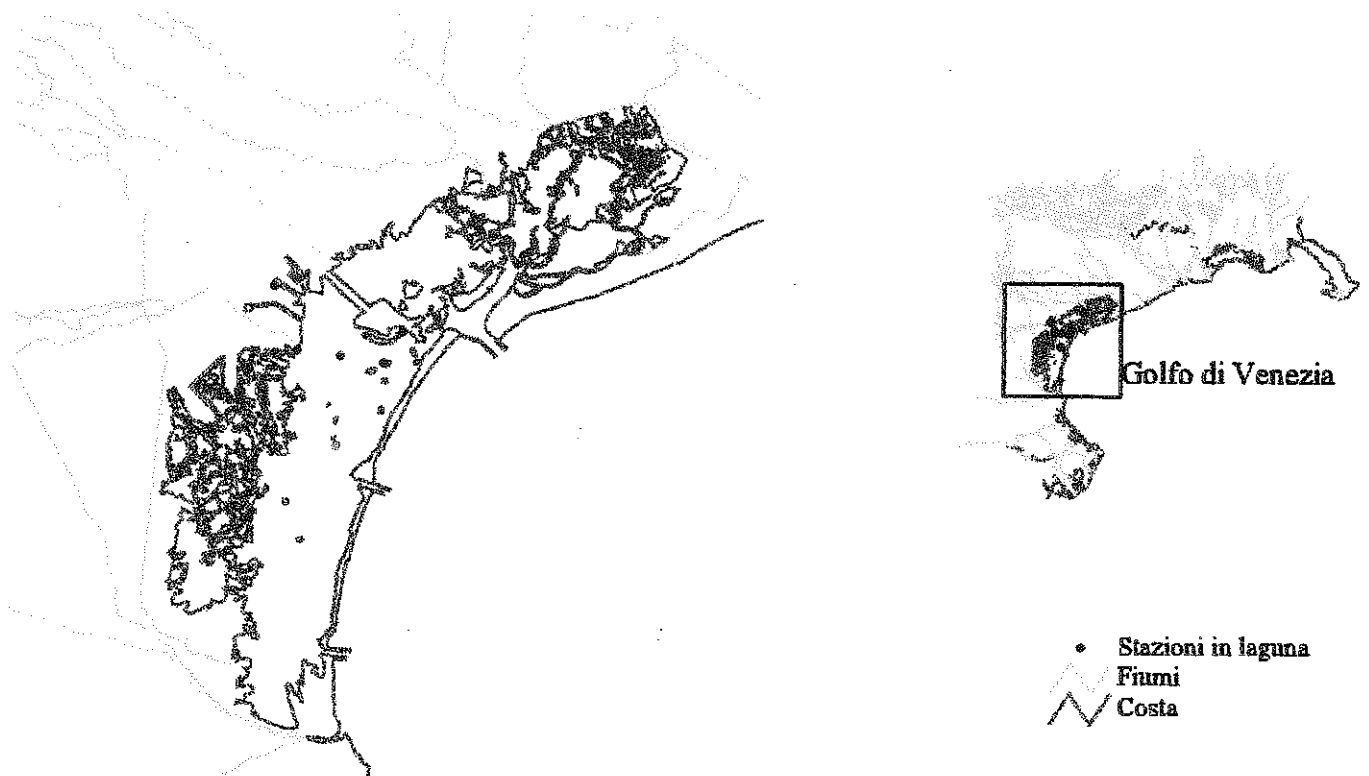




## 9. Bibliografia

- [1] P. Melanotte Rizzoli e A. Bergamasco (1981), *Modellistica ecologica dell'ambiente marino*, Ingegneria Ambientale, n.6
- [2] P.A. Burrough (1989), *Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment*, Claredon Press - Oxford
- [3] L. Alberotanza e A. Bergamasco (1988), *Eutrofizzazione. Osservazione dallo Spazio ed Applicazioni nei Modelli Ecologici*, Inquinamento, anno XXX, n.3
- [4] L. Fortunati, R. Della Maggiore e P. Mogorovich (1990), *Integrazione Grafica di Dati Raster e Vector su Supporto Cartaceo*, IV Convegno Nazionale Associazione Italiana di Telerilevamento
- [5] Langran G., 1992, *Time in Geographic Information Systems* (London :Taylor & Francis)
- [6] Snodgrass R. T., 1992 *Temporal Databases*. In Theories and Models of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space, edited by A. U. Frank, I. Campari and U. Formentini (New York: Springer-Verlag) pp. 22-64
- [7] Mason D. C., O'Connail M.A. and Bell S.B.M., *Handling four-dimensional geo-referenced data in enviromental GIS*, 1994, in International Journal GIS vol. 8, n. 2, pp. 191-215
- [8] C.Claramunt and M. Thèriault, *Managing Time in GIS: An Event-Oriented Approach*, 1995, in Recent Advances in Temporal Databases (Springer)
- [9] M.F. Goodchild, *The state of GIS for Environemental Problem-Solving*, 1993, in Environmental Modeling with GIS (Oxford University Press)
- [10] K.Fedra, *GIS and Environmental Modeling*, 1993, in Environmental Modeling with GIS (Oxford University Press)
- [11] G. Corsini *et al.*, *Analisi della qualità delle acque marine da dati telerilevati: un'applicazione alla costa ligure*, 1993, in Rivista Italiana di Telerilevamento, n.1
- [12] P. Mogorovich





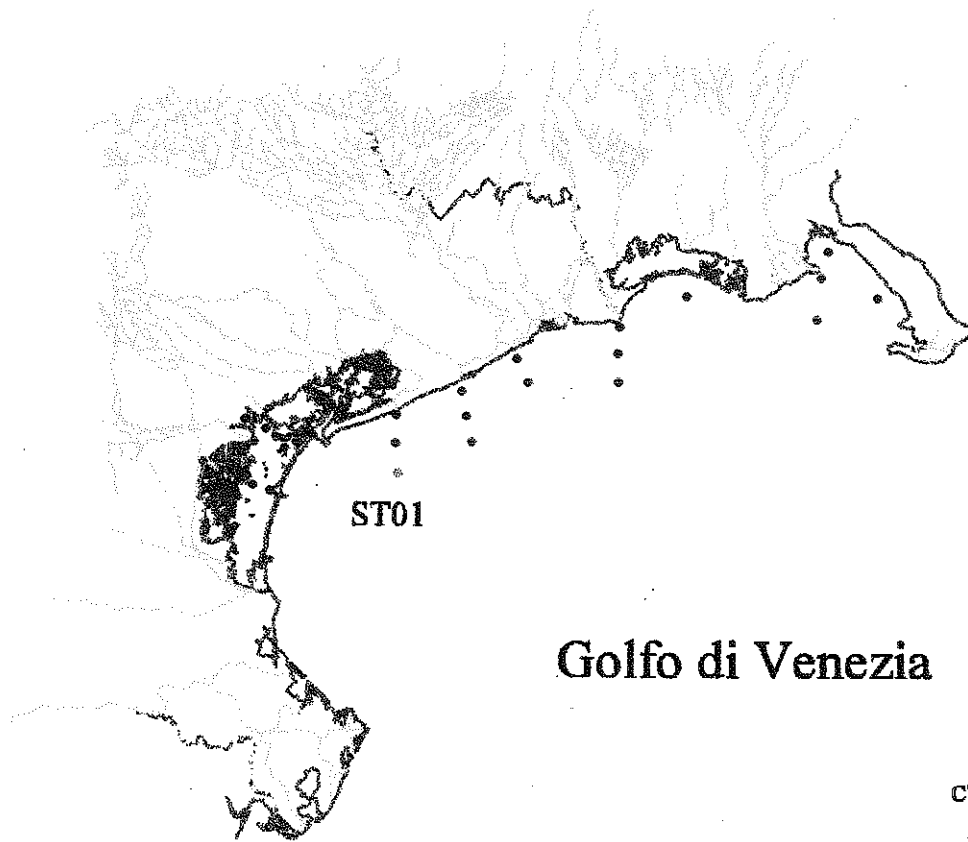
Estratto della tabella degli attributi

Stazione	Stazione	Data	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
TA01	FINA	19870928	6.690	0.170	-99.000	31.180	20.100	20.200	19.900	-99.000	
TA01	FINA	19870928	8.230	0.100	-99.000	30.900	20.000	20.950	31.720	-99.000	
TA01	FINA	19870928	2.450	0.670	-99.000	30.990	19.790	19.960	29.440	-99.000	
TA01	FINA	19870928	5.230	0.120	-99.000	30.200	19.760	19.740	32.910	-99.000	
TA01	FINA	19870928	0.780	0.240	-99.000	29.790	19.600	19.570	30.000	-99.000	
TA01	FINA	19870928	0.630	0.200	-99.000	29.040	19.290	19.190	29.790	-99.000	
TA01	FINA	19870928	0.270	0.390	-99.000	26.070	18.610	18.350	24.550	-99.000	
TA01	FINA	19870928	0.460	0.200	-99.000	25.840	18.640	18.670	21.110	-99.000	
TA01	FINA	19870928	29.000	0.170	-99.000	24.550	19.000	18.940	25.930	-99.000	
TA02	FINA	19870928	99.200	-99.000	-99.000	24.180	18.280	18.320	24.740	-99.000	
TA02	FINA	19870928	99.000	-99.000	-99.000	22.450	17.980	18.150	18.220	-99.000	

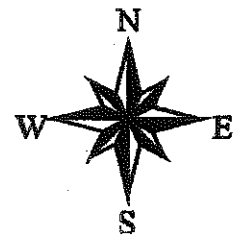
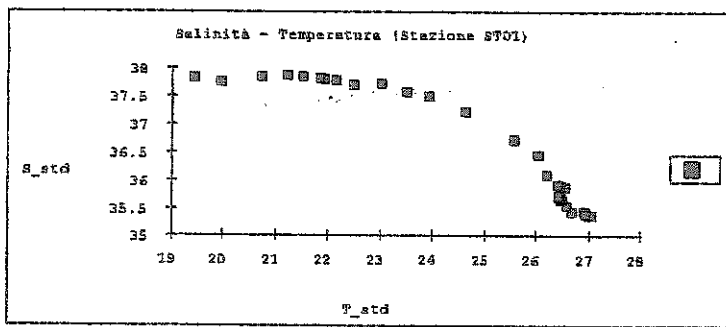


Localizzazione delle stazioni fisse di rilevamento nella Laguna Veneta.



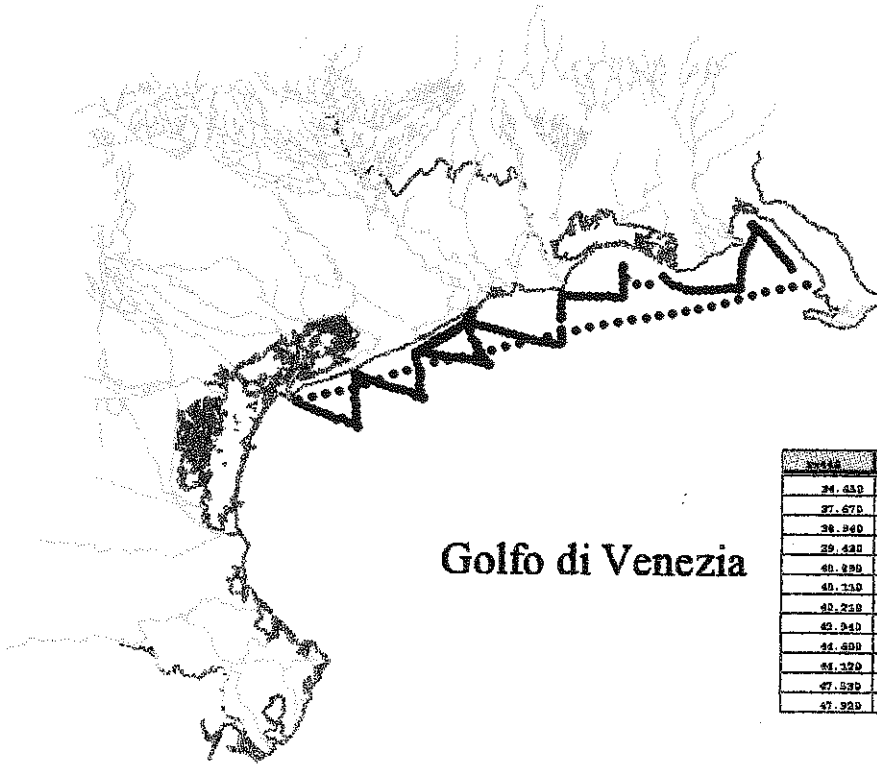


CTD  
 • Stazioni di rilevamento  
 Fiumi  
 Costa



Andamento della salinità in funzione della temperatura rilevato nella stazione "ST01"



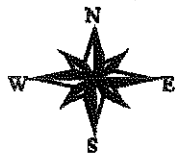


Golfo di Venezia

Estratto della Tavola degli attributi

Stazione	Lat. N	Long. E	Alt. (m)	Prof. (m)	Velocità (km/h)	Temperatura (°C)
24.430	51.070	25.450	21.840	24.800	2.420	8.400
27.670	50.850	25.350	22.970	24.810	2.020	8.390
38.840	50.920	25.320	24.250	24.910	2.490	8.400
39.420	51.120	25.490	24.340	25.110	2.460	8.390
40.880	50.720	25.740	24.420	25.110	1.110	8.390
40.110	50.480	25.670	24.320	25.110	2.180	8.400
40.210	50.220	25.580	22.950	24.960	2.420	8.390
40.240	49.310	25.110	22.720	24.850	2.260	8.270
41.400	-99.000	25.160	22.470	24.620	1.170	8.380
44.120	-99.000	25.120	22.310	24.770	1.200	8.350
47.530	-99.000	24.270	22.220	24.250	1.650	8.210
47.920	-99.000	24.790	22.480	24.280	1.970	8.380

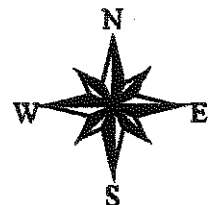
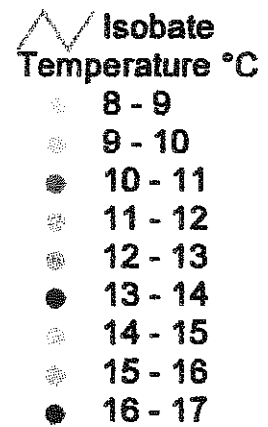
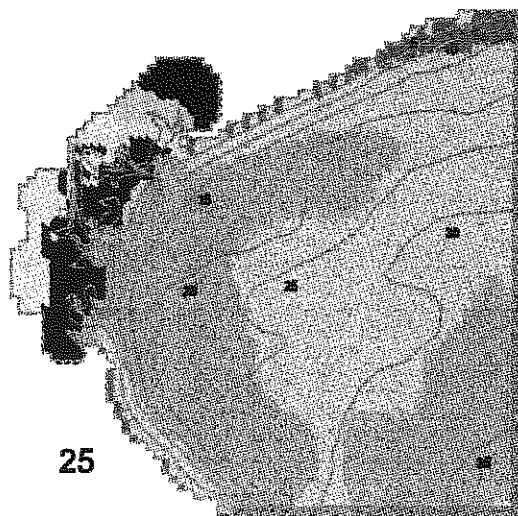
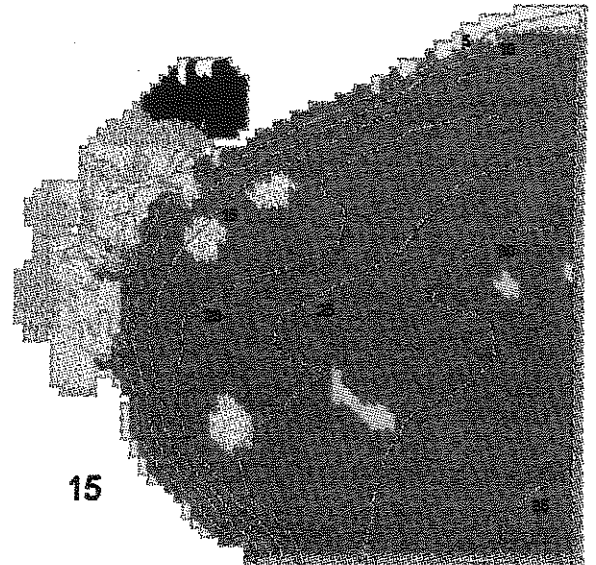
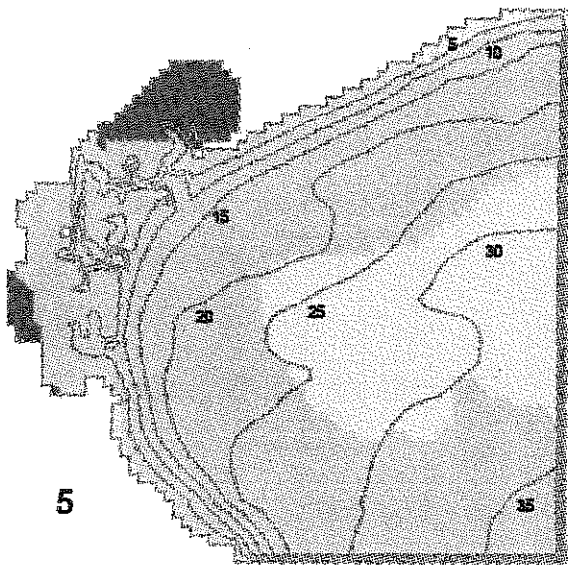
- Punti di rilevamento dati
- ~ Fiumi
- Costa



Visualizzazione geografica delle stazioni di misura lungo il percorso della nave.







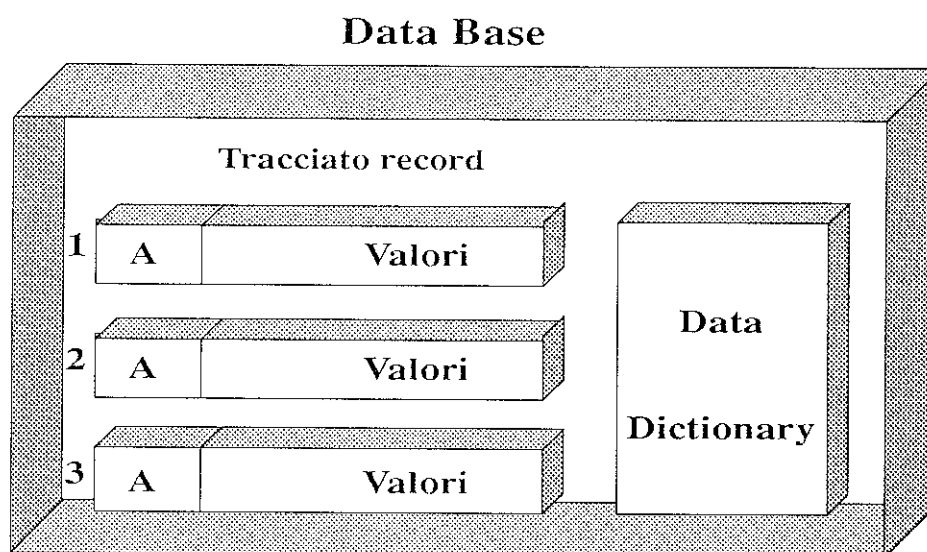
Mappe della temperatura superficiale media giornaliera della Laguna veneta e del Golfo di Venezia, ottenute da dati prodotti da un modello matematico.



### Descrizione del *database*

Ogni "campagna", nel database, è identificata da un "nome" da 8 caratteri; i primi 4 sono il "codice" o "chiave" della campagna, i secondi 4 sono il mese e l'anno di rilevazione. Ad esempio il nome FI010686 identifica una campagna in alto Adriatico effettuata nel giugno del 1986; il nome FS050388 identifica una campagna effettuata in postazione fissa a Fusina nel marzo 1988.

Tutti i dati relativi ad una campagna sono contenuti in file che hanno un nome di 8 caratteri, più 3 di estensione che indica il tipo di dati in essi contenuti.



- A** Contiene sempre le stesse variabili che consentono il collegamento con gli altri record di tracciato diverso:
- codice Campagna di misura
  - Georeferenziazione (x,y)
  - Data
  - Ora

**Valori** ogni valore contiene una grandezza fisica

**Data Dictionary** Contiene l'elenco delle *n* variabili che a loro volta contengono le grandezze fisiche, così definite

- codice variabile, che è lo stesso codice con il quale viene memorizzata in fase di misura;
- significato, descrizione della grandezza fisica;
- unità di misura;
- formato del campo.







Cod. Variab.	Significato	Unità di misura	Form. Campo
C_CTD	conducibilità dal CTD2	msiemens/cm	F 7.3
T_CTD	temperatura dal CTD2	gradi	F 7.3
EOS_P	profondità del sensore EOS	metri	F 10.5
EOS_I	inclinazione del sensore EOS	gradi	F 10.5
GN_UP	guadagno EOS sensore UP	numero	I 1
443UP	irradianza incidente misurata col radiometro a 443 nm in profili verticali	U.R.	F 10.5
520UP	come sopra a 520 nm	U.R.	F 10.5
550UP	come sopra a 550 nm	U.R.	F 10.5
670UP	come sopra a 670 nm	U.R.	F 10.5
950UP	come sopra a 950 nm	U.R.	F 10.5
BL_UP	riferimento di zero del sensore up	U.R.	F 10.5
GN_LW	guadagno del sensore inferiore del radiometro che misura la irradianza riflessa	numero	I 1
443LW	irradianza riflessa a 443 nm misurata con il sensore inferiore	U.R.	F 10.5
520LW	come sopra a 520 nm	U.R.	F 10.5
550LW	come sopra a 550 nm	U.R.	F 10.5
670LW	come sopra a 670 nm	U.R.	F 10.5
950LW	come sopra a 950 nm	U.R.	F 10.5
BL_LW	riferimento di zero del sensore sotto	U.R.	F 10.5
P_FON	profondità del fondale in stazione	metri	F 7.2
S_MAR	stato del mare	numero	I 2
COPCI	copertura del cielo	decimi	I 2
DIRVE	direzione del vento	gradi	I 3
VELVE	velocità del vento	nodi	F 6.2
T_A/A	temperatura aria asciutta	gradi	F 6.2
T_A/U	temperatura aria umida	gradi	F 6.2
SECNF	profondità di estensione della luce (disco Secchi)	metri	F 6.2
SEC_B	profondità di estensione con filtro blu	metri	F 6.2
SEC_V	come sopra con filtro verde	metri	F 6.2
SEC_R	come sopra con filtro rosso	metri	F 6.2
SCAMU	codice del colore sulla scala di Munsell	codice/AN	C 8
CODMU	codice numerico del colore della scala di Munsell	numero	I 3
NCAMP	numero progressivo di campionamento	numero	I 3
PCAMP	profondità di campionamento	metri	F 7.2
CLORA	quantità di clorofilla a	mgr./l	F 7.4





Cod. Variab.	Significato	Unità di misura	Form. Campo
SESTO	quantita' di sedimento sospeso	mgr./l	F 7.4
DOMCA	capacita' di assorbimento della luce della sostanza organica disciolta	m <sup>-1</sup>	F 7.4
DOMS	pendenza della retta con la quale si determina la capacita' di assorbimento a varie lunghezze d'onda		F 7.4
SLDSO	quantita' di solidi sospesi	mgr./l	F 7.4
N_TKN	quantita' di azoto disciolto misurata con il metodo TKN	mgr./l	F 7.4
NH4+	quantita' di ammoniaca disciolta	mgr./l	F 7.4
NO2-	quantita' di nitriti disciolta	mgr./l	F 7.4
NO3-	quantita' di nitrati disciolta	mgr./l	F 7.4
P_TOT	quantita' di fosforo disciolta	mgr./l	F 7.4
PO43-	quantita' di ortofosfati disciolta	mgr./l	F 7.4
F-	quantita' di fluoruri disciolta	mgr./l	F 7.4
S=	quantita' di solfuri disciolta	mgr./l	F 7.4
CN-	quantita' di cianuri disciolta	mgr./l	F 7.4
HG	quantita' di mercurio disciolta	mgr./l	F 7.4
FENOL	quantita' di fenoli disciolta	mgr./l	F 7.4
SOL_A	quantita' di solventi aromatici disciolta	mgr./l	F 7.4
SOL_C	quantita' di clorurati disciolta	mgr./l	F 7.4
MBAS	quantita' di tensioattivi disciolta	mgr./l	F 7.4
COD	domanda chimica di ossigeno	mgr./l	F 7.4
BOD5	domanda biochimica di ossigeno	mgr./l	F 7.4
IOD	domanda immediata di ossigeno	mgr./l	F 9.4
TOC	carbonio organico totale	mgr./l	F 9.4
OLII	quantita' di olii estratta	mgr./l	F 7.4
Cl-	quantita' di cloruri disciolta	mgr./l	F 7.4
SO4=	quantita' di solfati disciolta	mgr./l	F 7.4
O2PPM	quantita' di ossigeno bivalente disciolta	mgr./l	F 7.4
O2_%	quantita' (%) di ossigeno bivalente disciolta	mgr./l	F 7.4
REDOX	potenziale di ossido riduzione	mW	I 4
P_FLT	profondita' nei profili verticali del fluorimetro-trasmisometro del campionamento	metri	F 7.3
F_FLT	fluorescenza misurata con il fluorimetro-trasmisometro	R.U.	F 7.3
TRASM	trasmissione misurata come sopra	%	F 7.3



Appendice C

Valore dei ranges di ammissibilità applicati sui dati.

Variabile	da	a
EX446	0	200
EX520	0	200
EX570	0	200
EX670	0	200
P_STD	0	40
C_STD	0	65
C_STD	0	40
T_STD	0	35
T_IRR	0	35
T_BT	0	35
TURB	0	200
FCLOR	0	100
PH	6	9
F_DOM	0	100
C_CTD	0	65
T_CTD	0	35
EOS_P	0	40
EOS_I	sempre a -99	
UP_GN	1	3
UP_443	0	1000
UP_520	0	1000
UP_550	0	1000
UP_670	0	1000
UP_950	0	1000
UP_BL	0	10
LW_GN	1	3
LW_443	0	1000
LW_520	0	1000
LW_550	0	1000
LW_670	0	1000
LW_950	0	1000
LW_BL	0	10
P_FON	0	40
S_MAR	0	10
COP_C	0	10
FONEB	0	9
DIRVE	0	360
VELVE	0	20
T_A_A	-20	40
T_A_U	-20	40
SECNF	0	50
SEC_B	0	50
SEC_R	0	50
SEC_V	0	50
SCAMU	codice alfanumerico	
NCAMP	qualunque	
CODMU	1	44
P_CAMP	0	40
P_FLT	0	40
TRASM	0	100
F_FLT	0	1000



## Appendice D

### Script AVENUE

Di seguito è riportato il codice sorgente, in linguaggio *object-oriented* AVENUE del software ARCVIEW2.1, relativo alla costruzione automatica di mappe digitali di temperatura della superficie marina a partire da dati prodotti da un modello matematico.

Le mappe digitali sono realizzate in formato *raster* sotto forma di *Grid* ARC/INFO 7, impiegando il protocollo ONC/RPC (*Open Network Computer / Remote Procedure Call*) per la costruzione di un ambiente di calcolo integrato con logica *client-server*.

‘Questo script utilizza il protocollo RPC (*Remote Procedure Call*) per consentire  
‘al *client* ARCVIEW di collegarsi a un server ARC/INFO e fargli costruire una GRID a  
‘partire da un file di dati.

‘Attivazione del server RPC su ARC/INFO:  
`system.execute("arc "" &ty [iacopen aiconnect_file]")`

‘Connessione al server tramite il connect file: è un file costituito da una linea contenente  
‘hostname, server id, version number  
`connectfile = FileDialog.Show("aiconnect_file", "Select AI connection file:", "File di connessione")`  
`if (connectfile = nil) then`  
    `system.execute("&type [iacclose]" "quit")`  
    `exit`  
`end`

‘Lettura del connect file  
`c_File = LineFile.Make(connectfile, #FILE_PERM_READ)`  
`infoList = c_File.ReadElt.AsList`  
`c_File.Close`

‘Controllo sulla validità del file  
`if (infoList.count <> 3) then`  
    `MsgBox.Error("ARCIINFO connection file non valido.", "")`  
    `exit`  
`end`

‘Recupero di informazioni sul server dal file  
`hostname = infoList.Get(0)`  
`id = infoList.Get(1)`  
`version = infoList.Get(2)`

‘Utilizzo delle informazioni per la connessione al server e creazione del client RPC  
`Client = RPCClient.Make(hostname, ("0x" + ID).AsNumber, version.AsNumber)`



'Controllo e report su eventuali errori

```
if( Client.HasError ) then
  MsgBox.Info( Client.GetErrorMsg, "Errore" )
  system.execute("&type [iacclose]" "quit")
  exit
end
```

'Controllo sul tempo massimo di collegamento

```
if( Client.GetTimeout < 15) then
  Client.SetTimeout(15)
end
```

```
MsgBox.Info("Sei collegato al server" ++hostname++id++version, "")
```

'Ingresso dati: viene inserito il nome del file contenente i dati prodotti dal modello

```
in_ascii_file = FileDialog.Show(""," All Files (*.*)" ," File dati di ingresso")
```

```
if( nil = in_ascii_file) then
  exit
end
```

'Uscita dati: viene chiesto il nome da dare alla GRID creata con i dati del modello

```
outGrid = FileDialog.Put("outgrid".AsFileName, "*", "Nome della GRID da creare dal file ASCII?")
```

```
if( outGrid = Nil) then
  system.execute("&type [iacclose]" "quit")
  exit
end
```

'Richiesta al server ARC/INFO

```
aiCommand = "ASCIIGRID" ++
  in_ascii_file.GetFullName ++
  outGrid.GetFullName
```

```
msgbox.Report(aiCommand, "Richiesta inoltrata al server ARC/INFO:")
```

'Restituzione del job-id della procedura 1

```
JobID = Client.Execute(1, aiCommand, String)
```

'Controllo se il server ha terminato l'esecuzione del comando

```
occupato = true
while (occupato)
```





```
if ( Client.Execute(2, JobID, String).Extract(0) = "DONE" ) then
  occupato = false
else
  System.Execute("sleep 5")
end
end
```

*Client.Close*

'Attivazione della View

*theView = av.GetActiveDoc*

*srcString = outGrid.GetFullName*

*newSource = SrcName.Make(srcString)*

*if (newSource = nil) then*

*msgbox.Error("Invalid source string", "")*

*end*

'Creazione di un nuovo tema

*newTheme = Theme.Make(newSource)*

*theView.AddTheme(newTheme)*

*newTheme.SetActive(true)*

*newTheme.SetVisible(true)*

'Chiusura del server e uscita da ARC/INFO

*system.Execute("&type [iacclose]" "quit")*

