

Contributo all'osservazione del mare
dell'Arcipelago Toscano da satellite

CONTRIBUTO ALL'OSSERVAZIONE DEL MARE DELL'ARCIPELAGO TOSCANO DA SATELLITE



Firenze, ottobre 2004

Contributo all'osservazione del mare dell'Arcipelago Toscano da satellite

A cura di

Mario Bucci, Fabrizio Serena, ARPAT - Area per la Tutela dell'ambiente marino, lagunare, lacustre, costiero e dell'ittiofauna, "Area Mare"

Pier Franco Pellegrini, Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni (DET)

Hanno collaborato

per ARPAT:

Lucio De Maio, Fabio Gambassi, Glauco Magnelli, Antonio Melley

per il Laboratorio di Telecomunicazioni del Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni (DET) – Università degli Studi di Firenze:

Cosimo Francini, Massimo Marconi, Luciano Nencioni, Gabriele Poli, Maurizio Tommasini

per la Stazione di Ricezione Satelliti PIN – Polo Universitario di Prato:

Lorenzo Bicci, Andrea Boccellari, Monica Innocenti

© ARPAT 2004

Coordinamento editoriale: Silvia Angiolucci, ARPAT

Redazione: Silvia Angiolucci, Gabriele Rossi, ARPAT

Realizzazione editoriale: Litografia I.P., Firenze, ottobre 2004

Copertina: ALTA s.r.l.

Stampato su carta non trattata con cloro

INDICE

Premessa	7
Introduzione	9
1 Scopo dell'attività	11
1.1 Contributo a costi contenuti	11
1.2 Analisi di segnali per ottimizzare e raffinare le informazioni	11
1.3 Sperimentazione con verifica sul campo	12
2 Il sistema completo realizzato	15
3 La Stazione di Ricezione Satelliti PIN - Polo Universitario di Prato e i formati geografici trattati	19
4 Il Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino	26
5 Collegamento tra il Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino e la Stazione di Ricezione Satelliti PIN di Prato	28
6 Risorse aggiuntive al Laboratorio di Telecomunicazioni - DET dell'Università degli Studi di Firenze	32
7 Collegamento con Portoferraio per i dati sull'Arcipelago Toscano	33
8 I satelliti ricevuti	34
8.1 Satelliti NOAA	34
8.2 Il satellite SeaStar e il sensore SeaWiFS	44
9 Struttura e procedure per lo scambio di dati ricevuti da satellite	49
9.1 Acquisizione dei dati NOAA da parte di ARPAT - Area Mare a Piombino	49
9.2 Accesso da ARPAWORK, via LAN interna, al computer ARPASAT	52
9.3 Acquisizione da ARPAWORK di dati contenuti nel computer remoto MAREWORK della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato	54
9.4 Acquisizione da MAREWORK di dati contenuti nel computer remoto ARPAWORK della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato	54
10 Organizzazione dell'archivio immagini di prodotti ottenuti	55
11 Integrazione dei dati da satellite con i rilievi operati dal battello oceanografico Poseidon di ARPAT	59
11.1 Database dati verità a mare lungo le coste toscane (misure ARPAT) disponibile alla Stazione Ricezione Satelliti PIN di Prato	61

12 Calcolo della Temperatura Superficiale del Mare (SST)	66
12.1 Algoritmo di calibrazione per il programma di calcolo della Temperatura Superficiale del Mare	67
12.2 Passaggi dei satelliti della serie NOAA che distano al massimo due ore dal rilevamento in mare svolto da ARPAT	69
13 Calibrazione su area regionale (Arcipelago Toscano) dell'algoritmo SeaWiFS per il calcolo della concentrazione di clorofilla-<i>a</i> (OC2v4)	72
13.1 Confronto tra i valori di clorofilla- <i>a</i> ottenuti dall'algoritmo SeaWiFS e le misure su mare effettuate da ARPAT	72
13.2 Calibrazione dell'algoritmo SeaWiFS per il calcolo della clorofilla con metodo di minimo errore quadratico medio (LMSE)	75
14 Preelaborazione e Sistema di Elaborazione Distribuita	82
14.1 Previsioni dei passaggi satellitari	82
14.2 Dati preelaborati	84
14.3 Elaborazione distribuita	88
14.4 Georeferenziazione automatica delle immagini telerilevate	88
14.5 Modello dell'orbita	92
14.6 Georeferenziazione (o navigazione) automatica	95
15 Esempi di prodotti ottenibili	100
16 Esempi di SST: due immagini al mese per il 2002	106
17 Alcune tecniche di elaborazione indagate	110
17.1 Interpolazione sub-pixel	110
17.2 Analisi in prossimità della costa	110
17.3 Identificazione automatica delle nuvole	116
17.4 Metodo dei momenti per l'individuazione del moto di fronti termici (SST)	122
18 Medie mensili della Temperatura Superficiale del Mare (SST) in Toscana	132
18.1 Le immagini con le temperature medie	132
18.2 Descrizione delle zone geografiche scelte	132
19 Operazioni previste	153
Appendice - Archivio dati da satellite dal 25.03.1995 al 30.11.2002	157
Bibliografia e siti web di riferimento	163
Abbreviazioni e sigle	177
Riferimenti utili	179

PREMESSA

Con i normali strumenti di controllo ambientale (monitoraggi automatici, controlli, ispezioni, sopralluoghi ecc.), non è sempre possibile raggiungere una copertura spaziale e temporale che possa valutare tutti i rischi e le pressioni a cui sono continuamente sottoposti il territorio e le matrici ambientali. Questa affermazione, che non significa la non validità di queste attività tradizionali né tanto meno l'impossibilità di operare scelte e programmare basandosi solo su questi elementi di conoscenza, è tanto più vera quando ci si rivolge verso gli ambienti marini, costieri e di mare aperto. Infatti, se fino al limite della costa la disponibilità di strumenti, le fonti informative e le possibilità operative sono certamente di elevata capacità, diffusione e potenzialità, appena si rivolge l'attenzione al sistema "mare" tutto sembra inadeguato o, comunque, insufficiente per una reale comprensione dei fenomeni.

Se pensiamo, infatti, alla presenza ed alla concentrazione di possibili fonti di inquinamento, puntuale o diffuso, lungo tutta la fascia costiera toscana, soprattutto nella zona settentrionale, e le sommiamo con l'impatto provocato dal traffico marittimo, dal diportismo, dalla pesca e dalle altre attività che interessano ampie superfici marine, ci rendiamo ben conto dello sforzo necessario per garantire un controllo sufficiente.

A queste difficoltà, però, possono venire in aiuto l'uso di tecnologie innovative e l'adozione di nuovi modelli di monitoraggio, che consentano di tenere sotto osservazione consistenti porzioni di territorio in un tempo ragionevole, assicurando una buona frequenza di aggiornamento. In particolare, quindi, il telerilevamento da satellite applicato all'ambiente marino può offrire questi vantaggi, andando a rilevare caratteristiche delle acque e delle componenti ottiche (sostanza organica, particellato, biomassa fitoplanctonica ecc.) in zone non altrimenti raggiungibili e fornendo informazioni circa i fenomeni a scala di bacino. Naturalmente, questo tipo di monitoraggio non può prescindere dai controlli puntuali che ARPAT, tramite le sue strutture operative dedicate (il "Poseidon" e gli operatori dell'Area Mare), effettua durante tutto l'anno, soprattutto nella fascia delle acque costiere. Infatti, mentre i parametri rilevati dai sensori satellitari forniscono solo alcune delle informazioni riferite, sostanzialmente, allo strato superficiale del mare, quelli indagati durante i campionamenti manuali possono essere molto più diversificati (dai sali inorganici alle microalghe, dalla salinità all'ossigeno disciolto, dai batteri

fecali allo zooplancton ecc.) e riferiti a diverse matrici (acqua, sedimenti e biocenosi).

Per poter utilizzare queste tecnologie, però, è necessario disporre di esperienze e competenze professionali che non è normalmente possibile ritrovare all'interno di un'Agenzia ambientale, ma che vanno ricercate laddove vengono sviluppate e continuamente aggiornate, cioè presso gli istituti di ricerca e le Università. Per questo ARPAT ha, da tempo, sviluppato una collaborazione con due organismi ampiamente titolati e ben radicati nella realtà toscana, come il Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni dell'Università di Firenze e il PIN s.c.r.l. di Prato. Infatti, è solo grazie alla disponibilità e alla capacità dei ricercatori di queste strutture, opportunamente coordinati e diretti dal prof. Pier Franco Pellegrini, che è stato possibile realizzare un modello sperimentale di monitoraggio satellitare del mare, istituendo, fra l'altro, uno specifico laboratorio presso la sede ARPAT di Piombino.

La collaborazione tra questi soggetti ha anche reso possibile l'inserimento dell'Agenzia in alcuni progetti di rilievo nazionale, finanziati dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e ha dimostrato, ancora una volta, la fondamentale importanza della sinergia con il mondo della ricerca.

Alessandro Lippi
Direttore generale ARPAT

INTRODUZIONE

Il sistema qui presentato costituisce uno strumento di attività per il rilevamento di dati su mare con il contributo di osservazioni da satellite. Le attività sono state condotte dalla sede di Piombino dell'Area per la Tutela dell'ambiente marino, lagunare, lacustre, costiero e dell'ittiofauna (Area Mare) di ARPAT, dall'Università di Firenze (Laboratorio Telecomunicazioni del Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni), e dal PIN (Stazione di Ricezione Satelliti) - Polo Universitario di Prato. Tale collaborazione ha portato allo studio e alla elaborazione di un "Progetto pilota di monitoraggio dell'Ambiente Marino tramite Telerilevamento da Satellite", e alla realizzazione di un sistema completo (vedi Capitolo 2) che consente la ricezione diretta di satelliti (vedi Capitolo 8) presso la Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, con trasmissione dei dati alla sede di ARPAT - Area Mare a Piombino, e un ulteriore collegamento col Laboratorio di Telecomunicazioni a Firenze. Dati e immagini possono essere trasmessi anche alla postazione presso la sede dell'Ente Parco dell'Arcipelago Toscano a Portoferraio (Isola d'Elba); la trasmissione, di norma, viene eseguita da ARPAT - Area Mare di Piombino, con particolare riferimento ai dati sull'Arcipelago Toscano stesso, tenendo conto di alcune specifiche caratteristiche quali:

- possibilità di ricezione in diretta;
- operazioni in continua;
- costi contenuti alla sola gestione del Sistema di ricezione "No cost".

L'elaborazione dei dati da satellite può essere eseguita o con una pre-elaborazione presso la Stazione di Ricezione Satelliti con trasmissione di prodotti finiti (dati, mappe di temperatura ecc.) oppure in modo distribuito, essendo il Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare dotato dei programmi necessari allo scopo (vedi Capitoli 12, 14, 17). I parametri fisici su mare ottenuti da satellite e rappresentati su mappe con ampie aree di superficie sono stati convalidati da dati oggettivi puntiformi, rilevati dal battello oceanografico Poseidon di ARPAT in vari punti del mare toscano. Con questi dati la Stazione di Ricezione Satelliti PIN a Prato svolge le calibrazioni necessarie sugli algoritmi usati per l'elaborazione di mappe satellitari; questo consente di migliorare ed adattare costantemente alle peculiarità delle coste toscane il modello di calcolo usato (vedi Capitolo 14). Le mappe dei prodotti di interesse scientifico su mare sono in genere presentate in diversi formati geografici (vedi Capitolo 3): "Isola d'Elba", "Arcipelago Toscano", "Toscana" e "Mari d'Italia"; occasionalmente su aree del Mediterraneo più grandi (vedi Capitolo 15). Le mappe sono georeferenziate in proiezione di Mercatore (DATUM WGS84). I sensori satellitari considerati sono: l'AVHRR (*Advanced Very High Resolution*

Radiometer, radiometro nelle frequenze IR e nel visibile) a bordo dei satelliti della serie NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), e il SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*, radiometro nelle frequenze del visibile, tra 402 nm e 885 nm) a bordo del satellite SeaStar (vedi paragrafo 8.2). Sono previsti in futuro l'uso e la sperimentazione con i radiometri del satellite ENVISAT (lanciato nel marzo 2002) particolarmente sofisticato per il rilevamento del colore del mare (risoluzione spaziale circa 1000 m in modalità standard e circa 250 m in modalità alta risoluzione) [Envisat 02]. Tramite i dati inviati da questi sensori è possibile rilevare diverse grandezze: temperatura superficiale del mare (SST, *Sea Surface Temperature*), fonti termiche, correnti, presenza di sedimenti in sospensione, materia gialla, torbidità, percentuale di clorofilla. Le osservazioni sistematiche da satellite sulle caratteristiche ambientali del mare sono operazioni in generale assai dispendiose, soprattutto perché i dati ottenuti da satellite ed elaborati sono spesso venduti a costi alti. Data la sempre maggior raffinatezza dei sensori posti a bordo dei satelliti NOAA (radiometri nelle frequenze IR e nel visibile) e la possibilità di integrare i dati di tali sensori con quelli delle sonde verticali ATOVS, è stato intrapreso uno studio per l'acquisizione di parametri ambientali sul mare utilizzando i dati provenienti dai satelliti NOAA ricevibili direttamente da stazioni primarie, di tipo numerico, gestibili a basso costo. In questo lavoro sono presentate le tecniche messe a punto dal nostro gruppo per estrarre il massimo numero delle informazioni ottenibili dai dati ricevuti dalla Stazione di Ricezione Satelliti di Prato. In particolare:

- impiego di tecniche di interpolazione, anche tenendo conto del lobo del sensore di bordo, per ottenere risoluzioni spaziali sub-pixel (200-400 m);
- utilizzo di tecniche di georeferenziazione precisa, basate sui dati orbitali e 1 o 2 punti verità, sulle linee di costa;
- ottenimento di diversi parametri fisici e ambientali: temperatura del mare, correnti, inquinamento da fiumi, clorofilla-*a* ecc;
- validazione e calibrazione dei risultati sulla base delle misure a mare effettuate da ARPAT con battello oceanografico e boe;
- impiego di tecniche di interpolazione segmentata in prossimità delle coste;
- impiego di tecniche di rilevamento di zone di mare a più alta temperatura.

Le operazioni, messe a punto, comportano analisi in tempo reale dei dati di temperatura superficiale del mare (SST) e realizzazione di mappe georeferenziate in modo preciso e corrette per l'effetto atmosferico. Si può tener conto delle correzioni atmosferiche, valutando eventualmente il vapore acqueo precipitabile, dagli stessi dati ricevuti dai satelliti NOAA e relativi a sensori TOVS e ATOVS (*Advance TIROS-N Operational Vertical Sounder*) (vedi paragrafo 8.1).

Questi ultimi sono sensori multispettrali nel campo dell'infrarosso e delle microonde [Pellegrini-3 01].

1 SCOPO DELL'ATTIVITÀ

Obiettivo base è quello di mettere a punto metodi e strumenti finalizzati alla valorizzazione e salvaguardia della fascia costiera della Toscana e delle Aree Marine dell'Arcipelago Toscano, con sperimentazione di un sistema di monitoraggio del mare a mezzo di immagini multispettrali da satellite. Tale monitoraggio, realizzato in via sperimentale fino a maggio 2003, è operativo in continuo.

Le ricerche hanno riguardato la fattibilità e l'impiego di diversi sensori satellitari per l'osservazione di parametri su mare sia in aree particolari come l'Arcipelago Toscano che il Tirreno più in generale. Una notevole quantità di dati è ottenuta, in tempo reale, dalla ricezione diretta dei segnali (AVHRR, *Advanced Very High Resolution Radiometer*) dei Satelliti NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA 12, 14, 15, 16 e 17) alla Stazione di Ricezione Satelliti del PIN presso il Polo Universitario di Prato. Altri sono ottenuti per via telematica dagli Enti mondiali responsabili degli esperimenti imbarcati (NOAA, NASA, ESA).

Le caratteristiche base di questa attività sperimentale sono riportate nei paragrafi seguenti.

1.1 Contributo a costi contenuti

Il progetto utilizza, tra i sensori operativi a bordo di satelliti orbitanti, quelli che risultano più appropriati mediando tra le caratteristiche di copertura, risoluzione e l'accessibilità in tempo reale senza costi di acquisto (satelliti ricevibili direttamente).

I satelliti polari della serie NOAA rappresentano un buon compromesso tra le condizioni sopra citate e sono, inoltre, direttamente ricevibili presso la Stazione di Ricezione Satelliti (Polo Universitario di Prato).

1.2 Analisi di segnali per ottimizzare e raffinare le informazioni

Si riesce a raggiungere un livello di risoluzione a terra delle immagini rilevate dal satellite migliore di quella intrinseca del sensore stesso, tramite opportune tecniche di interpolazione e ricampionamento proprie dell'elaborazione digitale delle immagini.

Tale risoluzione spaziale (subpixel), è ottenuta con interpolazione e/o convoluzione inversa della ripresa basata sulla conoscenza del lobo del sensore. Con queste tecniche la risoluzione raggiungibile può essere spinta fino a circa 200 m.

1.3 Sperimentazione con verifica sul campo

Dal punto di vista realizzativo è stato progettato e assemblato l'hardware aggiuntivo per la Stazione di Ricezione Satelliti di Prato (vedi Capitolo 3), dedicato all'analisi del mare e in linea con gli apparati di Ricezione Satelliti e Preelaborazione. Parimenti è stato allestito l'hardware per il Laboratorio Telerilevamento di ARPAT- Area Mare di Piombino.

E' stato sviluppato un apposito software (un centinaio di programmi) per la messa a punto di algoritmi di elaborazione dati, sia al sito della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato che presso ARPAT - Area Mare, oltrech  presso il Laboratorio Telecomunicazioni dell'Universit  di Firenze.

Questa attivit  è stata sviluppata, in parte, nell'ambito del "Progetto pilota di monitoraggio dell'ambiente marino tramite telerilevamento dati da satellite", in collaborazione tra il Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni (DET) dell'Universit  di Firenze e ARPAT - Area Mare.

Le installazioni realizzate e le osservazioni fatte e da effettuare in tempo reale, sono anche di supporto per le ricerche "Metodologie integrate di indagine in aree di pregio ambientale mirate alla valorizzazione e gestione delle risorse", progetto MIR - Cluster 10 Ambiente Marino, Progetto n. 6, alle quali ARPAT partecipa, collaborando con l'Universit  di Palermo - Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali (DIA), e con altre unit  dello stesso Cluster 10 del MIUR. Questo progetto si propone di attuare una migliore conoscenza del sistema costiero e di alcune aree marine di particolare pregio ambientale, al fine di poter mettere a punto dei piani di valorizzazione e di gestione atti a scongiurare rischi di alterazioni irrimediabili nell'equilibrio ambientale. Tale studio   attuato attraverso l'integrazione di tecniche di monitoraggio che si completano in un quadro multidisciplinare, fornendo anche, tramite opportuni modelli interpretativi, se pur in alcune aree di studio limitate, degli indici e degli scenari attraverso i quali poter valutare gli effetti di eventuali interventi di sfruttamento e sviluppo.

Sono state anche impostate le operazioni necessarie per disporre, presso la Stazione di Ricezione Sensori Satelliti attiva al PIN, dei dati trasmessi dal sensore SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*), dai quali possono essere estratti parametri legati al colore del mare: pigmenti, assorbimento della clorofilla, correlazione della clorofilla, sedimenti, vegetazione superficiale, torbidit , e, per il futuro, i dati MERIS del satellite ENVISAT.

I dati del SeaWiFS, uniti con i dati rilevati dal battello oceanografico Poseidon di ARPAT, servono a indagare sulla variabilit  della clorofilla e della produzione primaria del fitoplancton marino.

E' stata organizzata la duplicazione delle procedure di elaborazione presso ARPAT - Area Mare a Piombino cos  da permettere l'ottenimento in loco dei prodotti a

partire dai file grezzi registrati a Firenze e Prato.

I prodotti di interesse sono messi a punto operando in stretta collaborazione tra le due unità di ricerca: per questo fine sono stati realizzati degli archivi, sia presso l'Area Mare a Piombino che presso la Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, per le analisi multitemporali necessarie alla determinazione del sorgere di situazioni anormali concernenti il mare.

Questa parte di lavoro si basa sulla workstation implementata al Dipartimento (DET) programmata appositamente per questa attività.

Il progetto consente di rendere disponibili ad ARPAT - Area Mare a Piombino anche dati aggiuntivi utili allo studio dei dati rilevati sul mare, come i parametri relativi alla copertura nuvolosa ed alle sue variazioni. A questo fine sono trasmesse anche immagini complete georeferenziate (proiezione Mercatore) dell'Italia ottenute dai passaggi NOAA, utili all'interpretazione corretta degli altri dati telerilevati.

Le operazioni attuali di monitoraggio in continuo hanno consentito sia di verificare sul campo la funzionalità del sistema durante un periodo previsto di 12 mesi che un'analisi approfondita dello stato e della dinamica delle condizioni ambientali del mare in aree particolarmente importanti, come quelle protette e a rischio ambientale.

In tale fase viene aggiornato un database che consente di valutare l'evoluzione temporale dei parametri osservati ed estratti da satellite sul mare (Fig. 1.1).

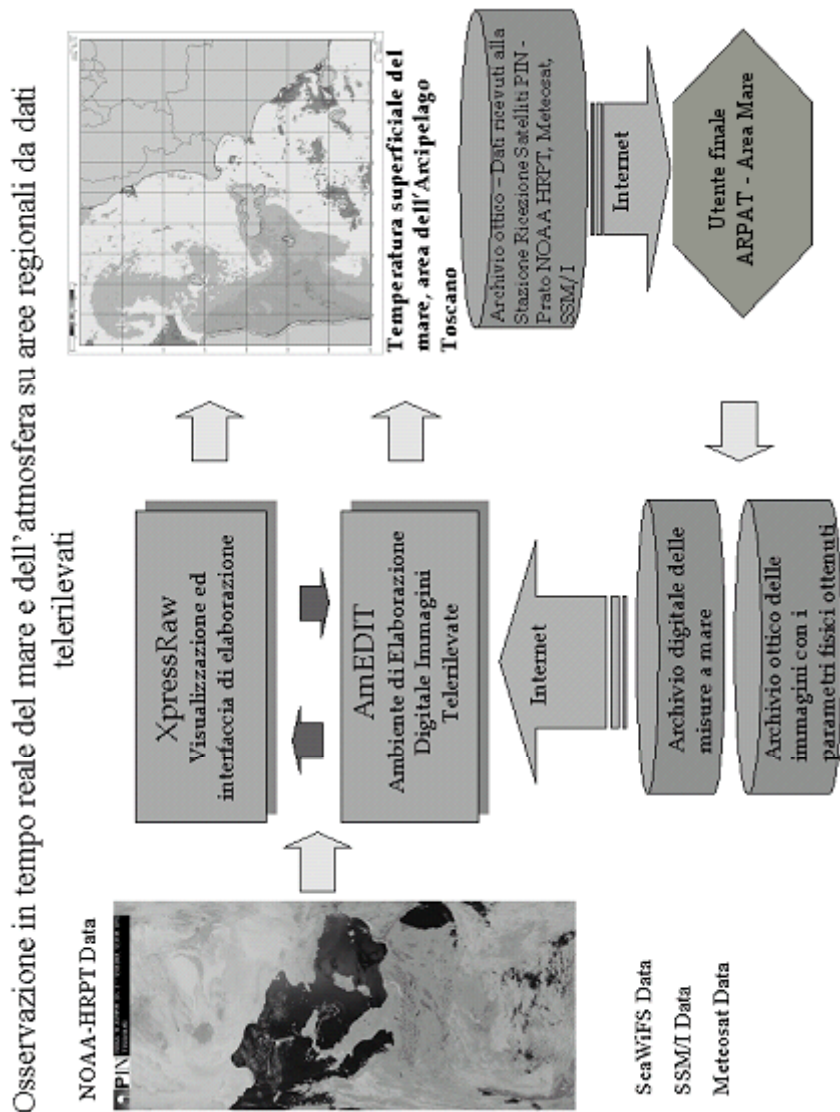


Fig. 1.1 Descrizione del progetto di osservazione in continuo dell'Arcipelago Toscano e del Mar di Toscana da satellite. I dati da satellite ricevuti direttamente o indirettamente alla Stazione di Ricezione Satelliti del PIN-Prato sono elaborati e resi disponibili al Laboratorio ARPAT - Area Mare di Piombino. I risultati delle elaborazioni e delle misure a mare sono inserite in archivi digitali e utilizzati in algoritmi di calibrazione.

2 IL SISTEMA COMPLETO REALIZZATO

Come già accennato, l'attività svolta, in stretta collaborazione, tra il Laboratorio di Telecomunicazioni del Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni dell'Università di Firenze, la Stazione di Ricezione Satelliti del PIN-Prato e ARPAT, ha consentito di attivare presso ARPAT - Area Mare a Piombino un sistema per la ricezione, la visione e l'archiviazione di mappe georeferenziate di parametri fisici interessanti il Mar Tirreno. Il sistema si collega via rete con Firenze e Prato (vedi Capitolo 5).

Il sistema prevede anche la trasmissione di dati grezzi ed ulteriore elaborazione in loco.

La struttura globale messa a punto è indicata in Fig. 2.1, nella quale sono evidenziati gli elaboratori ai quali si attestano i collegamenti, incluso il collegamento tra ARPAT - Area Mare a Piombino e l'Ente Parco Arcipelago Toscano a Portoferraio.

Queste installazioni rientrano nell'attività svolta in seno alla Convenzione di Ricerca "Progetto pilota di monitoraggio dell'ambiente marino tramite telerilevamento dati da satellite". Le stazioni sono destinate a ricevere, elaborare e produrre dati di telerilevamento su mare, inclusa la trasmissione di immagini verso ARPAT - Area Mare e l'elaborazione distribuita.

L'attività fra i tre centri di ricerca toscani prevede:

1. interscambio algoritmi di elaborazione dati/immagini;
2. studio di grandezze ottenibili;
3. invio di immagini telerilevate su aree geografiche diverse;
4. invio di dati verità;
5. organizzazione di archivi di immagini georeferenziate e dati verità (utilizzabili per la realizzazione di un GIS, *Geographical Information Systems*);
6. acquisizione e prove dei dati SeaWiFS.

Ogni sito (a Piombino, Prato, Firenze) dispone di altre apparecchiature e risorse per l'elaborazione, come indicato in dettaglio successivamente.

La struttura del sistema completo di collegamento tra la Stazione di Ricezione Satelliti, il Laboratorio di Telecomunicazioni e il Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino è descritto in Fig. 2.2.

La Sezione Mare della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato dispone di due computer: a) un server (MARESAT) che alloggia una sezione dedicata alla Convenzione di Ricerca sopra citata, con accesso tramite password in dotazione ad ARPAT - Area Mare Piombino, e una directory condivisa (FI-PBS) per lo scambio

di dati; b) un computer (MAREWORK) con directory condivisa, con chiave, (FI-PBW) (vedi Capitolo 3).

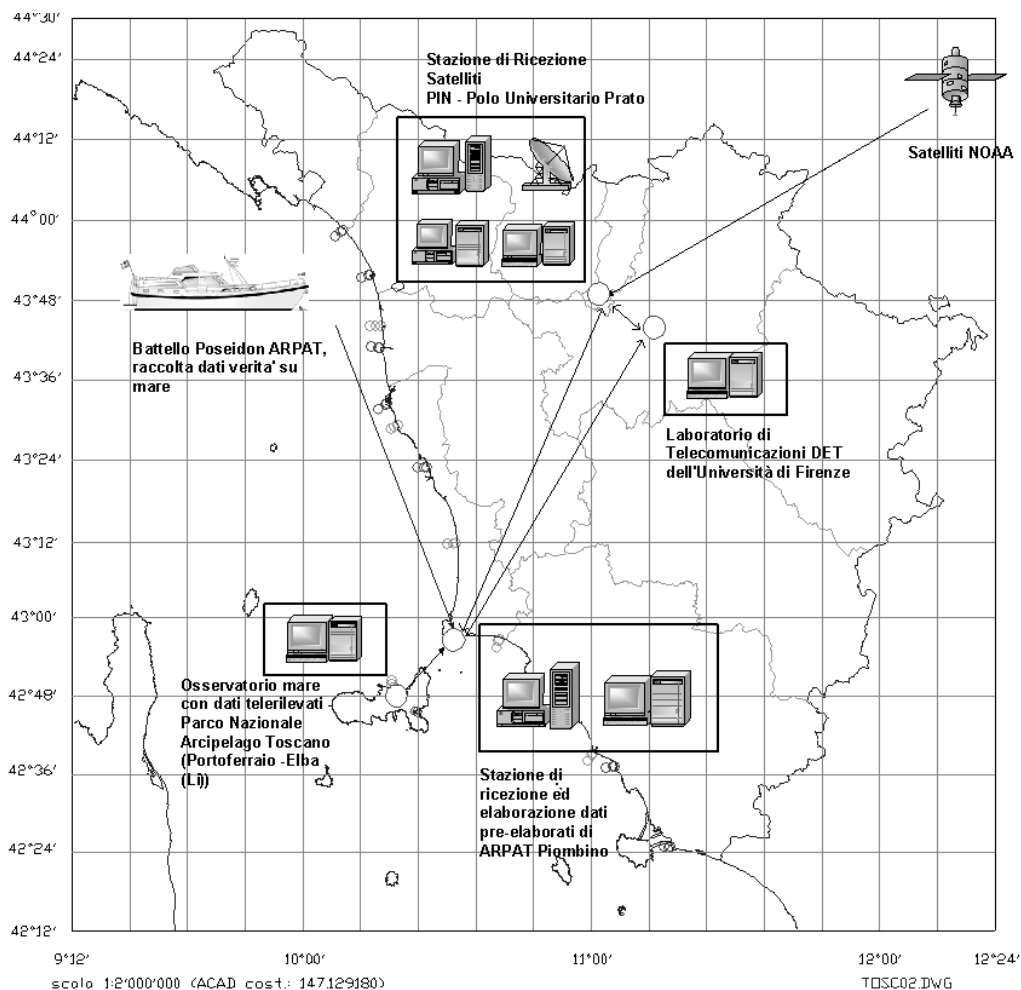


Fig. 2.1 Struttura della connessione e del flusso dati fra i tre centri di ricerca toscani (Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT- Area Mare a Piombino, Stazione di Ricezione Satelliti del PIN di Prato, Laboratorio di Telecomunicazioni DET di Firenze) coinvolti nel progetto pilota di monitoraggio dell'ambiente marino tramite telerilevamento dati da satellite. E' visualizzata inoltre anche la stazione di osservazione mare allestita presso la direzione dell'Ente Parco Arcipelago Toscano a Portoferraio

Parimenti il Laboratorio di Telerilevamento APAT - Area Mare a Piombino dispone di due computer: c) un Client (ARPASAT) che si collega alla già citata sezione dedicata alla Convenzione di Ricerca, con accesso tramite password, e una directory condivisa (FI-PBS, copia di quella del computer MARESAT di Prato per lo scambio di dati); d) un computer (ARPAWORK) con directory (FI-PBW, copia di quella del computer MAREWORK di Prato per lo scambio di dati) (vedi Capitolo 4). Le chiavi di accesso sono state parametrizzate (*PBPass.doc*) e rese disponibili al personale coinvolto nell'attività.

I collegamenti effettuati permettono l'interscambio dei dati ricevuti da due fonti di osservazione: quella satellitare alla Stazione di Ricezione Satelliti, e quella diretta, tramite strumenti posti a bordo del battello oceanografico Poseidon di ARPAT o provenienti dalle analisi effettuate nei laboratori preposti al monitoraggio delle acque toscane. Il flusso dei dati ricevuti alla Stazione Ricezione Satelliti prevede la preelaborazione dei dati HRPT (*High Resolution Picture Transmission*) trasmessi dal satellite NOAA, con parziale elaborazione al DET (estrazione, calibrazione, e geolocalizzazione) e la messa a disposizione ad ARPAT. Il canale di comunicazione tra il DET e la Stazione di Ricezione Satelliti la LAN (*Local Area Network*) della Facoltà di Ingegneria, mentre sono attivi più tipi di connessione tra la Stazione di Ricezione Satelliti ed il Laboratorio ARPAT - Area Mare (vedi Capitolo 5).

La localizzazione geografica dei laboratori coinvolti nell'attività è stata ottenuta con strumentazione GPS. I dati ottenuti sono riportati in Tab. 2.1.

Denominazione	WGS 84		ROMA40		ED50	
	lat.	lon.	lat.	Lon.	lat.	lon.
Laboratorio ARPAT - Area Mare a Piombino	42°58'.330	10°32'.815	42°58'.290	10°32'.795	42°58'.390	10°32'.835
Lab. Telecomunicazioni - DET, Università di Firenze	43°47'.900	11°15'.170	43°47'.860	11°15'.150	43°47'.960	11°15'.190
Staz. Ricezione Satelliti - PIN, Prato	43°53'.134	11°05'.942	43°53'.094	11°05'.922	43°53'.194	11°05'.962
Laboratorio Parco Nazionale Arcipelago Toscano, Portoferraio	42°48'.846	10°19'.889	42°48'.806	10°19'.869	42°48'.906	10°19'.909

Tab. 2.1 *Localizzazione geografica delle strutture coinvolte nell'attività di ricerca in coordinate WGS 84, ROMA40 e ED50*

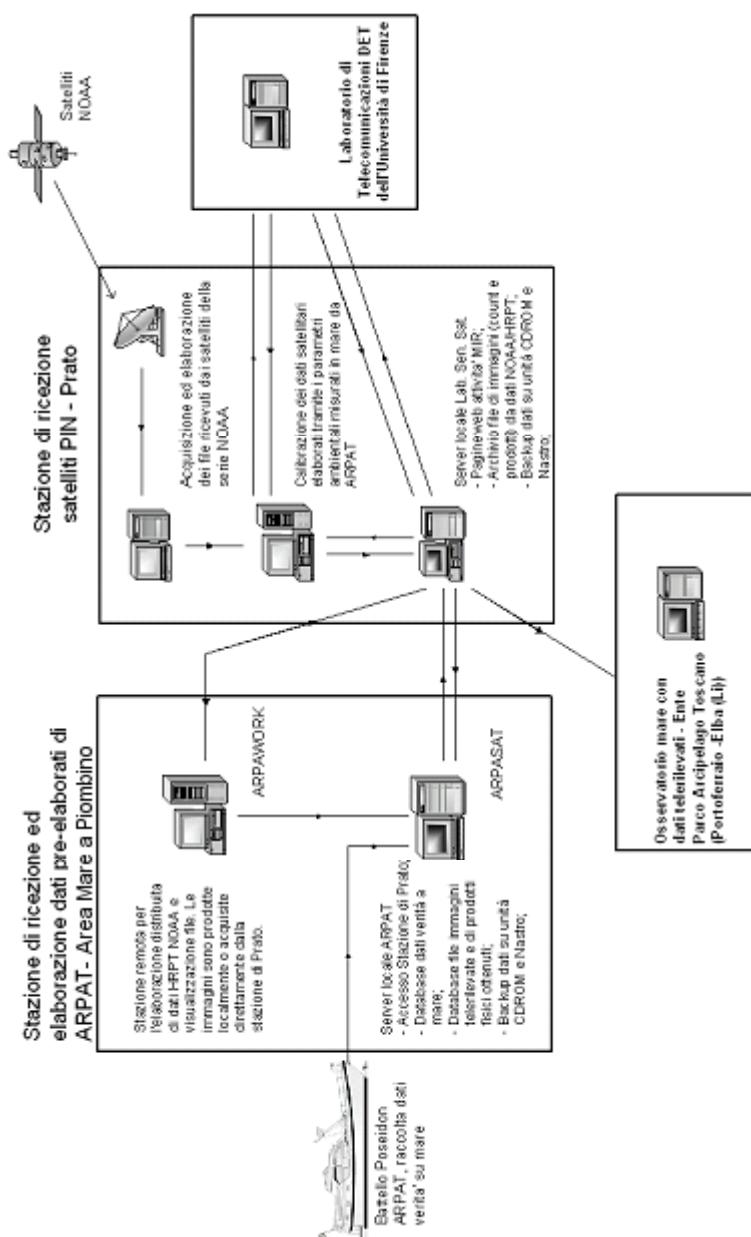


Fig. 2.2 Sistema di monitoraggio e di scambio dati tra la Stazione Ricezione Satelliti del PIN-Prato, la Stazione di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino, l'Ente Parco Arcipelago Toscano - Portoferraio

3 LA STAZIONE DI RICEZIONE SATELLITI PIN - POLO UNIVERSITARIO DI PRATO E I FORMATI GEOGRAFICI TRATTATI

Alla Stazione di Ricezione Satelliti, per l'attività di osservazione del mare, è stato installato un unico *rack* (Fig. 3.2) che contiene due calcolatori. Il primo, denominato MARESAT, è dedicato alle attività server di gestione delle comunicazioni tra i laboratori e di archiviazione dei dati grezzi o elaborati prodotti dalla Stazione. Il secondo, denominato MAREWORK, è dedicato alle attività di elaborazione e pre-elaborazione dei dati grezzi ricevuti e alla visualizzazione e verifica delle immagini prodotte (Fig. 3.1).

Le varie unità della Stazione di Prato sono collegate attraverso una rete locale a 10-100 Mb/s in configurazione a stella (Fig. 3.1), il concentratore, realizzato da uno *switch* programmabile, permette di realizzare flussi privilegiati a 100 Mb/s, tra server e Stazione di acquisizione NOAA (Fig. 3.2), la cui antenna è visibile in Fig. 3.3 (parabola di diametro 1.8 m, protetta da radome). L'accesso alla Stazione di Ricezione Satelliti è di norma effettuato via Internet. Il sistema di ARPAT - Area Mare a Piombino utilizza una linea ISDN per l'accesso in rete tramite provider locale (vedi Capitolo 4).

Oltre alle due unità di calcolo, la postazione di lavoro dedicata alla presente attività comprende una stampante a getto di inchiostro Epson Stylus Photo 1520 in grado di stampare fino al formato A3, utilizzabile per stampe che richiedono una particolare resa cartografica.

La scelta delle aree marine su cui effettuare le osservazioni in continuo, ha portato alla definizione di alcuni formati geografici, individuati da quattro estremi geografici e dalla scala alla latitudine di riferimento, che adotta come superficie terrestre l'ellissoide WGS84.

Sono stati adottati quattro formati geografici denominati "MarItalia 02" (Fig. 3.4), "Toscana 02" (Fig. 3.5), "Arcipelago 02" (Fig. 3.6) ed "Elba 02" (Fig. 3.7) a cui si sono aggiunti altri 3 formati utilizzati per il monitoraggio di zone di mare circostanti la Sicilia. Il formato "Arcipelago 02" permette un'osservazione con risoluzione fino a 140 m circa; con il formato "Toscana 02" si ottiene una risoluzione di 280 m circa; con "MarItalia 02" si raggiunge una risoluzione di 700 m circa mentre per il formato "Elba 02" è di 70 m. Sono possibili anche altri formati geografici per casi specifici (es. formato "Mediterraneo 02" - vedi Capitolo 15).

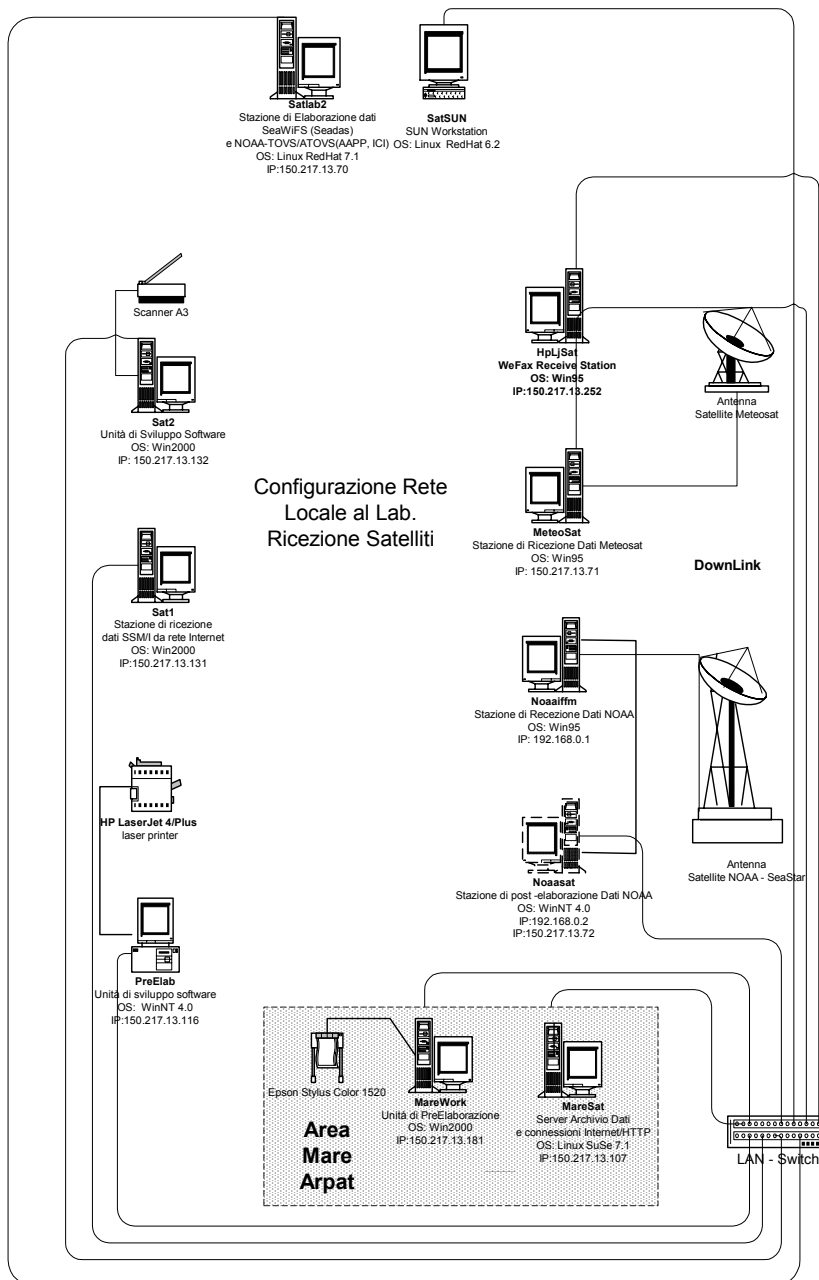


Fig. 3.1 Struttura della Stazione di Ricezione Satelliti del PIN a Prato



MAREITALIA

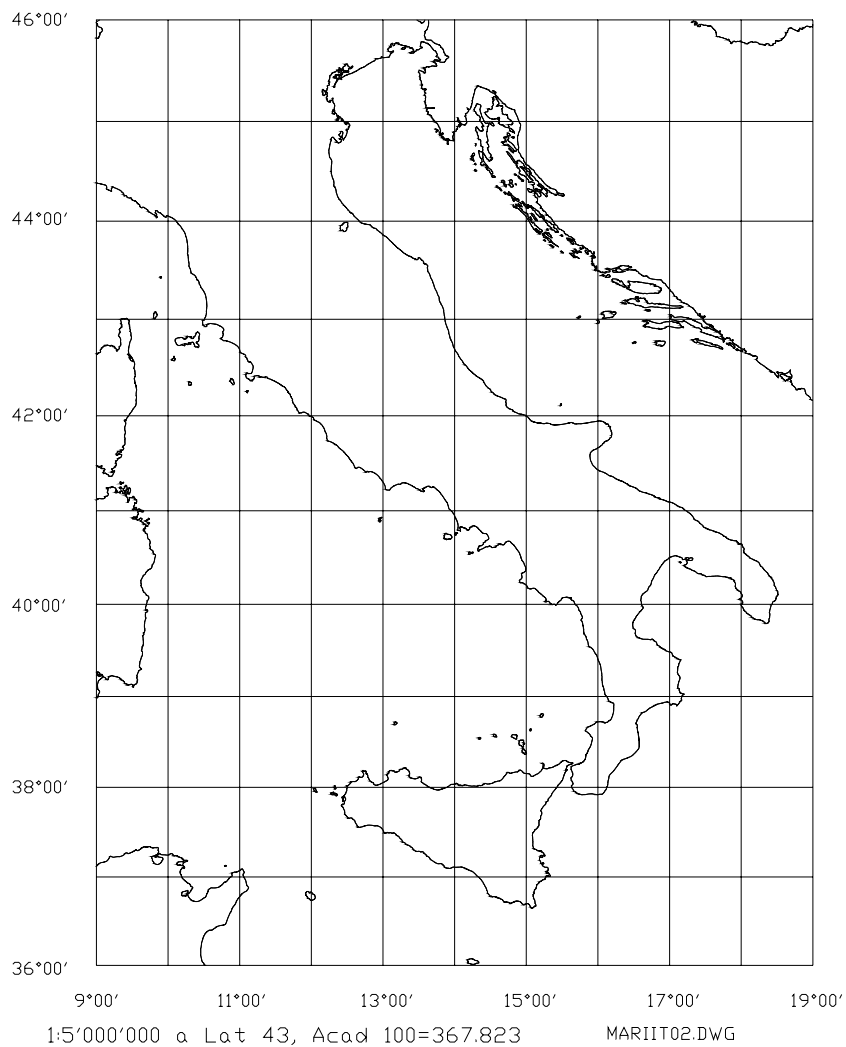


Fig. 3.4 Area dei mari d'Italia osservati, non rappresentata in scala (le dimensioni dell'immagine originale sono 16.3x21.6 cm [larghezza×altezza], in scala 1:5.000.000)

TOSCANA

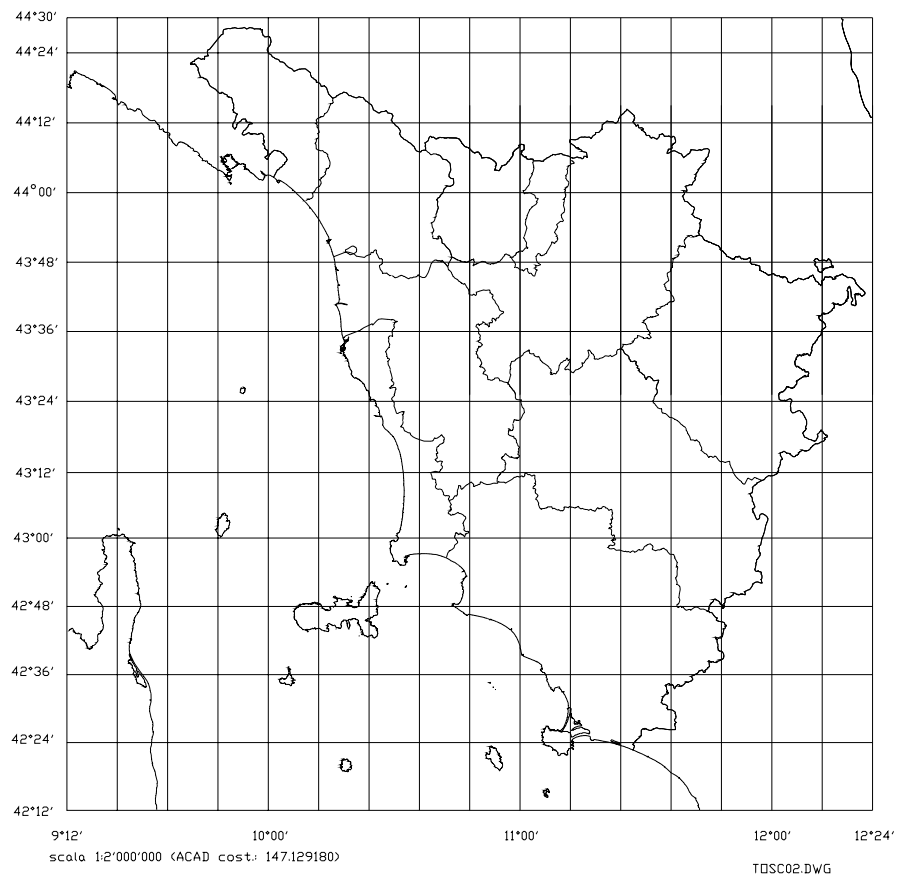


Fig. 3.5 Area dei mari della Toscana rappresentata in scala 1:2.000.000 (le dimensioni sono 13.05x12.85 cm [larghezza×altezza])

ARCIPELAGO

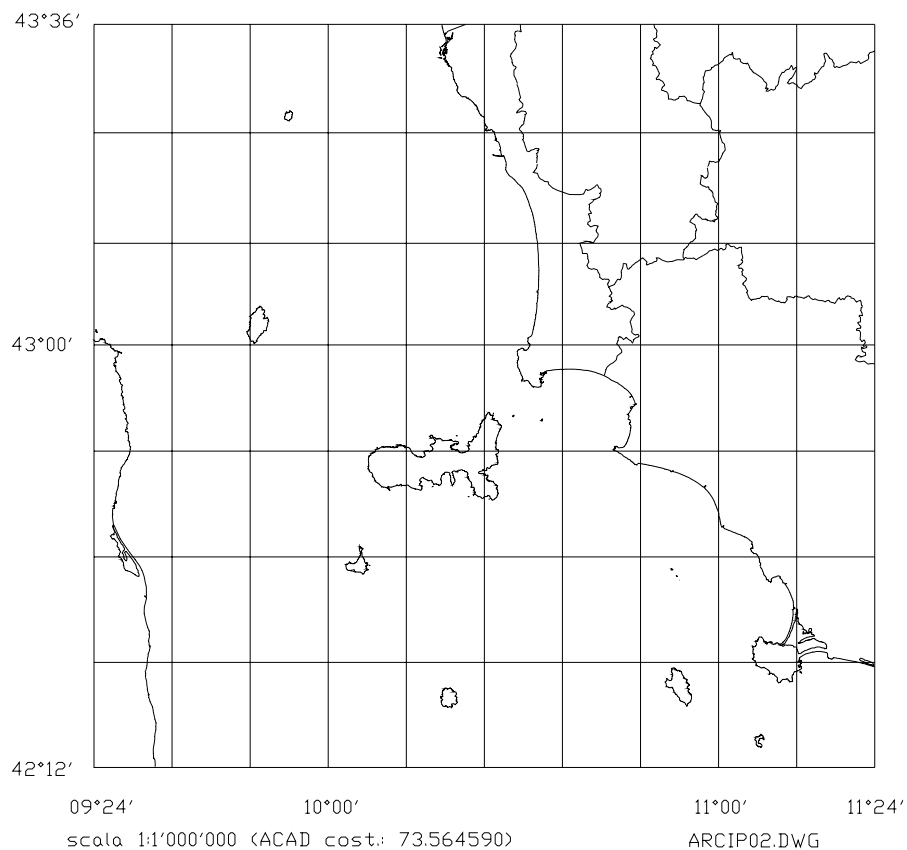
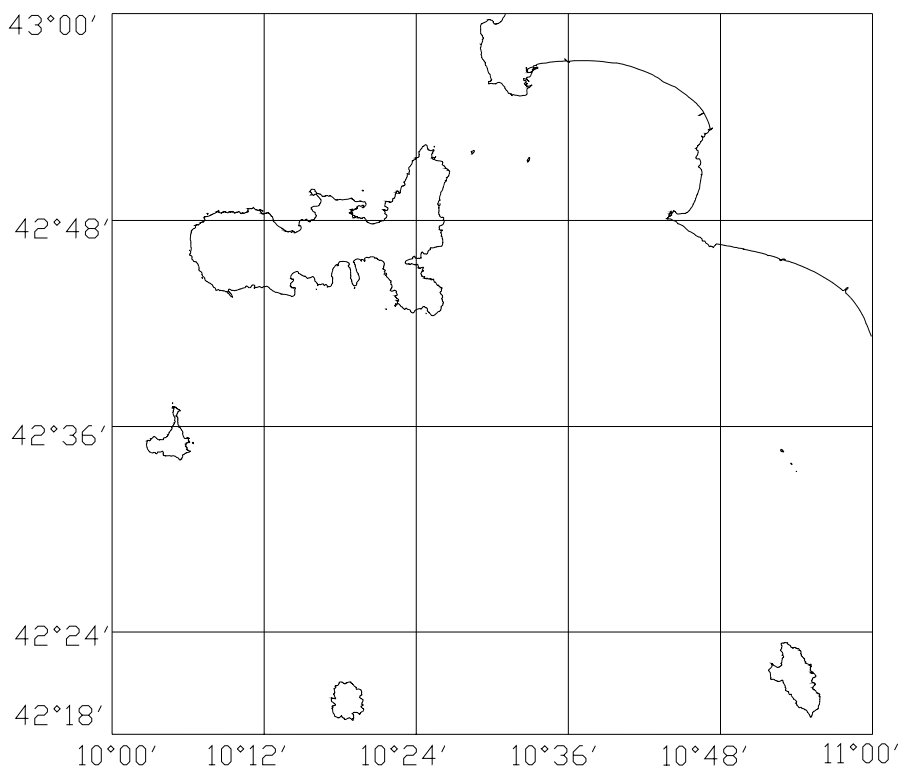


Fig. 3.6 Area dei mari circostanti l'Arcipelago Toscano, non rappresentata in scala (le dimensioni dell'immagine originale sono 16.3x15.53 cm [larghezza×altezza], in scala 1:1.000.000)

ELBA



scala 1:500'000 (ACAD cost.: 36.7822) ELBA02.DWG

Fig. 3.7 Area dei mari circostanti l'Isola d'Elba, non rappresentata in scala (le dimensioni dell'immagine originale sono 16.3x15.5 cm [larghezza×altezza], in scala 1:500.000)

4 IL LABORATORIO DI TELERILEVAMENTO DI ARPAT - AREA MARE A PIOMBINO

Nel Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino, è installata una stazione composta da due *rack*. Il primo (a destra in Fig. 4.1 e Fig. 4.2) contiene l'unità server denominata ARPASAT e dotata di sistema operativo Linux, il secondo (a sinistra in Fig. 4.1 e Fig. 4.2) contiene l'unità di lavoro denominata ARPWORK e dotata di sistema operativo Microsoft Windows 2000 Professional. Il server ARPASAT gestisce i collegamenti con la Stazione Ricezione Satelliti di Prato ed ha compiti di gestione dell'archivio dati e di backup (essendo dotato per quest'ultima attività di una unità nastro con capacità di 8GB). L'unità di lavoro ha compiti di elaborazione sia dei dati grezzi che dei dati pre-elaborati ricevuti dalla Stazione di Ricezione Satelliti del PIN - Polo Universitario di Prato. Il Laboratorio di Telerilevamento ARPAT - Area Mare è anche dotato di software appositamente realizzato per l'elaborazione distribuita e per la visualizzazione delle immagini prodotte in loco o ricevute.

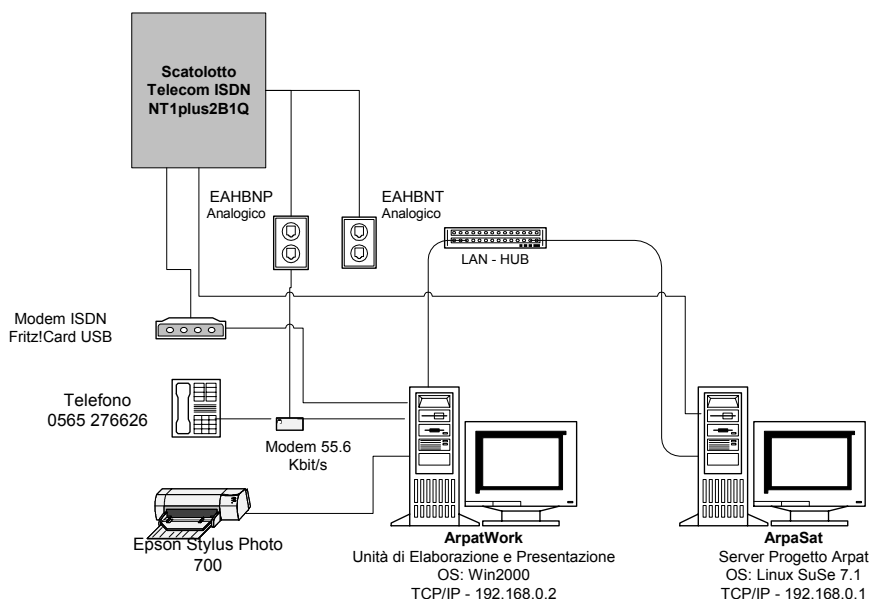


Fig. 4.1 *Struttura delle connessioni tra i computer del Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino.*

Il terminale ARPASAT possiede un IP statico (192.168.0.1) all'interno della LAN di ARPAT - Area Mare; al contrario quando accede al sito WEB della Stazione Ricezione Satelliti - PIN di Prato sfrutta un IP dinamico ed una connessione digitale ISDN a 64 kbit/s (128 kbit/s nominali, che corrispondono all'impiego di entrambe le linee telefoniche) forniti entrambi da un provider commerciale.

Analogamente, il terminale ARPAWORK dispone di un IP statico (192.168.0.2) per la rete locale e di un IP dinamico per l'accesso al sito WEB della Stazione Ricezione Satelliti - PIN di Prato, che impiega una connessione digitale ISDN a 128 kbit/s, oppure un modem analogico a 55.6 kbit/s.

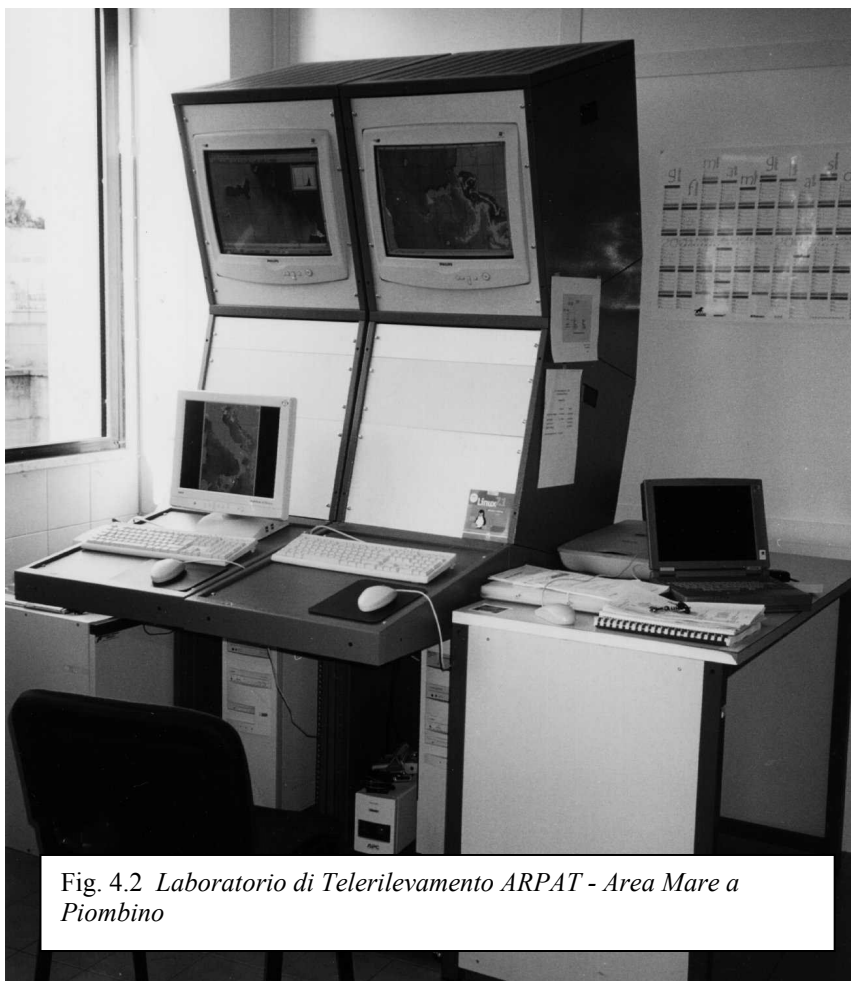


Fig. 4.2 *Laboratorio di Telerilevamento ARPAT - Area Mare a Piombino*

5 COLLEGAMENTO TRA IL LABORATORIO DI TELERILEVAMENTO DI ARPAT-AREA MARE A PIOMBINO E LA STAZIONE DI RICEZIONE SATELLITI PIN DI PRATO

Le attività svolte per il rilevamento di dati su mare prevedono, come precedentemente accennato, lo scambio di dati (parametri ambientali marini quali, ad esempio, la salinità, la percentuale di clorofilla, la temperatura) tra la Stazione di Ricezione Satelliti PIN di Prato e il Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino (Fig. 2.1), volto ad accrescere la capacità di monitoraggio da parte di ARPAT del patrimonio costiero toscano, e a migliorare e adeguare sempre di più alle particolarità geografiche della costa toscana il modello di calcolo della temperatura superficiale del mare della Stazione di Ricezione Satelliti.

Il collegamento da Piombino avviene tramite i due terminali dedicati allo scambio dati e all'elaborazione illustrati in precedenza (vedi Capitolo 4). Essi attraverso Internet possono collegarsi ai due calcolatori (vedi Capitolo 3) e al sito WEB della Stazione Ricezione Satelliti di Prato dedicati a questo progetto.

La struttura dei collegamenti tra i diversi laboratori (vedi Fig. 2.2) è stata sviluppata e realizzata presso il Laboratorio di Telecomunicazioni DET dell'Università di Firenze.

La procedura per lo scambio dei dati telerilevati prevede due possibili livelli: il primo consente l'accesso ai dati forniti dalla Stazione per la loro lettura ed acquisizione; il secondo prevede un'interazione diretta tra le due unità suddette. Per realizzare tutto ciò sono stati creati un sito Internet <http://maresat.ing.unifi.it/arpad> (scambio di 1° livello), accessibile tramite password, realizzato sul server MARESAT (vedi Capitolo 9), e un insieme di directory dedicate (scambio di 2° livello), anch'esse accessibili con password, presenti su tutte le unità server e workgroup dei due laboratori, sulle quali è permesso l'accesso sia in scrittura che in lettura. In entrambi i casi è stato reso possibile l'inserimento dei dati di competenza da entrambe le sedi.

Il sito WEB è stato organizzato in due parti: nella prima sono riportate informazioni riguardanti i collegamenti tra i centri di ricerca di Prato e Piombino, la struttura dell'archivio dati di Prato e i formati geografici disponibili. La seconda parte propone l'elenco dei prodotti disponibili, ottenuti per i sensori AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo dei satelliti NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), e SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*), a bordo del satellite SeaStar: mappe di temperatura superficiale del mare (SST, *Sea Surface Temperature*) relative ai formati geografici "Arcipelago", "Toscana" e "Mari Italia", oltre che immagini "QuickLook" relative al canale 3 del

sensore AVHRR e ai file dei count e della concentrazione di clorofilla *a*.

All'interno del sito si trova anche l'archivio storico a cui si può arrivare tramite il link *Struttura Archivio Dati* [<http://maresat.ing.unifi.it/arpat/strudati.htm>] nel quale sono contenuti i risultati delle elaborazioni (vedi Capitolo 14) (SST nei vari formati geografici, QuickLook (Fig. 14.2) di tutti i passaggi ricevuti, i file preelaborati, contenuti in archivi compressi (*nome_file.zip*), nei vari formati geografici disponibili, con i dati necessari per l'elaborazione distribuita delle immagini nel Laboratorio Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino.

Il collegamento di 2° livello permette lo scambio diretto dei dati tra le varie unità di ricerca. E' stata definita una struttura di cartelle e sottocartelle all'intero delle quali sono stati organizzati i prodotti delle elaborazioni dei dati satellitari e le misure a mare effettuate da ARPAT - Area Mare.

In Fig. 5.1 è riportato lo schema delle directory presenti nei calcolatori MAREWORK e MARESAT, che si trovano nella Stazione di Ricezione Satelliti PIN a Prato; le cartelle che sono accessibili dal Laboratorio Telerilevamento di Piombino sono visualizzate in grigio.

In Fig. 5.2 è riportato lo schema delle directory presenti nei calcolatori ARPAWORK e ARPASAT, che si trovano nel Laboratorio Telerilevamento di ARPAT - Area Mare; anche in questo caso le cartelle accessibili dalla Stazione di Ricezione Satelliti PIN sono visualizzate in grigio.

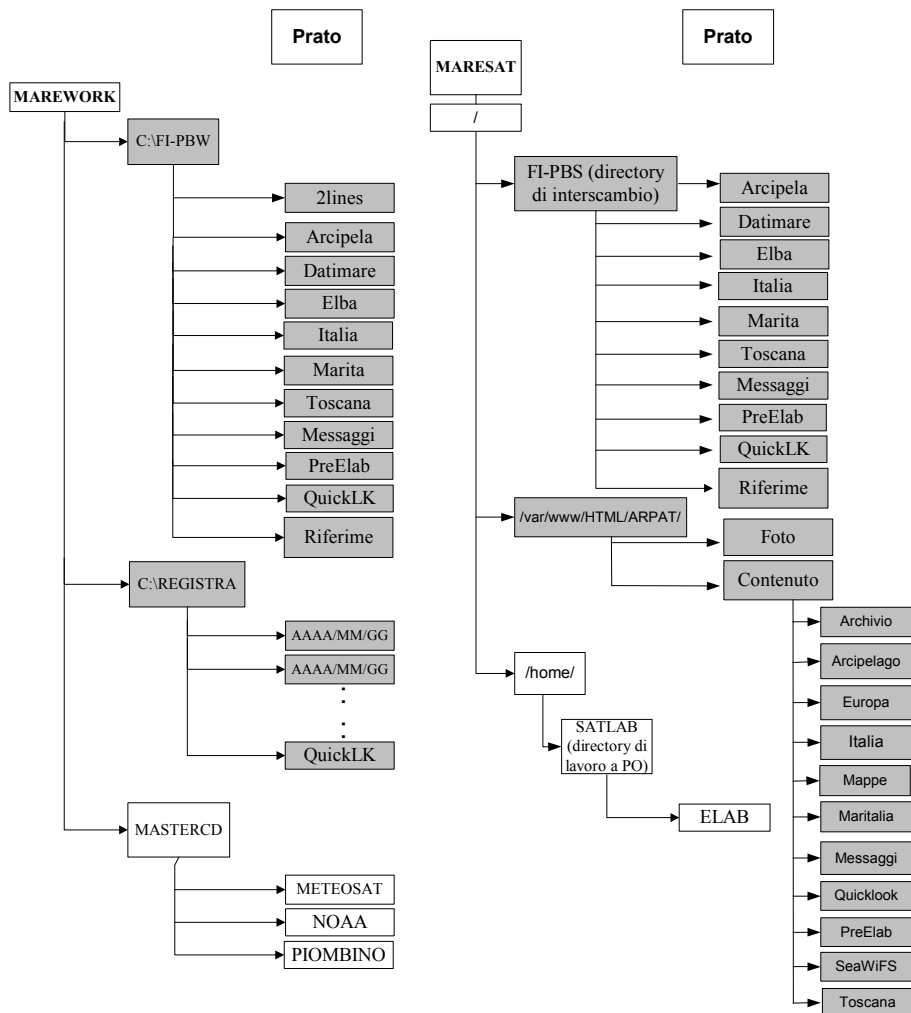


Fig. 5.1 Schema delle directory presenti nei calcolatori MAREWORK e MARESAT, che si trovano nella Stazione Ricezione Satelliti PIN a Prato. Le directory in grigio sono accessibili via Internet anche dal Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare di Piombino

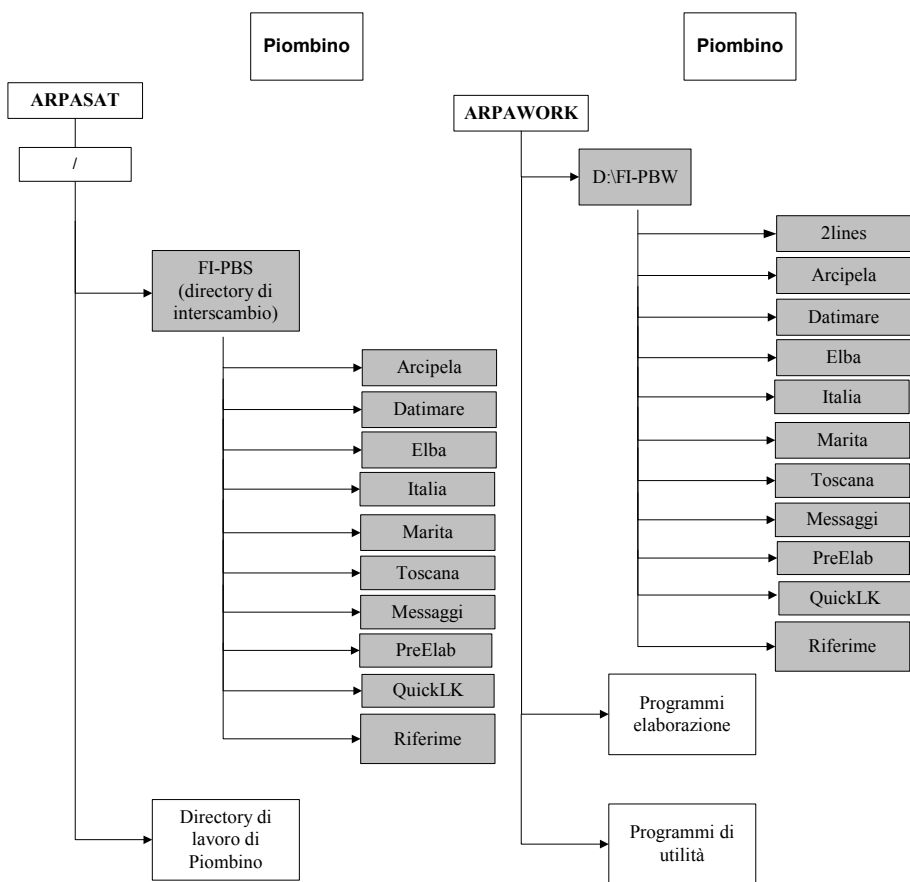


Fig. 5.2 Schema delle directory presenti nei calcolatori ARPAWORK e ARPASAT, che si trovano nel Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare di Piombino. Le directory in grigio sono accessibili via Internet dalla Stazione Ricezione Satelliti PIN a Prato

6 RISORSE AGGIUNTIVE AL LABORATORIO DI TELECOMUNICAZIONI - DET DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

Per lo svolgimento di alcune elaborazioni e la messa a punto delle tecniche di elaborazione dei dati telerilevati, vengono utilizzate anche risorse aggiuntive disponibili presso il Laboratorio di Telecomunicazioni - DET dell'Università degli Studi di Firenze. Gli algoritmi prodotti vengono distribuiti presso le altre due unità (Prato e Piombino) per l'applicazione intensiva sui dati da investigare. In Fig. 6.1 è riportato lo schema con indicazione degli apparati connessi con la rete locale presente presso tale Laboratorio.

In particolare la sede del DET è utilizzata per lavori di fusione dati da sensori satellitari diversi, alleggerendo il carico di lavoro complessivamente svolto a Prato e a Piombino.

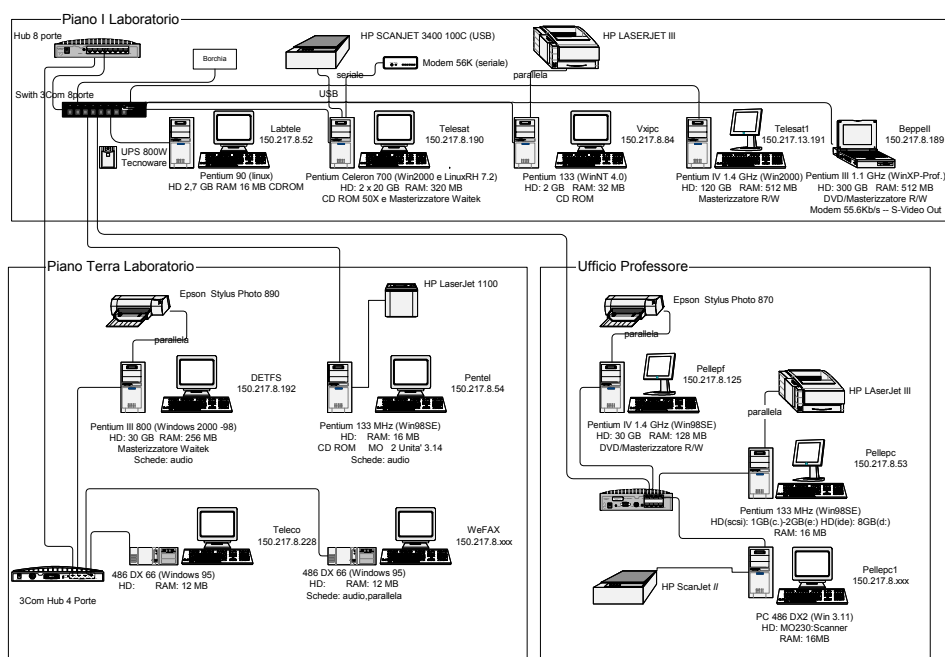


Fig. 6.1 Struttura delle connessioni tra i computer presenti nel Laboratorio di Telecomunicazioni (LabTele) del DET dell'Università degli Studi di Firenze

7 COLLEGAMENTO CON PORTOFERRAIO PER I DATI SULL'ARCIPELAGO TOSCANO

Il sistema di monitoraggio include l'implementazione di un sistema di elaborazione all'Isola d'Elba, presso la Direzione del Parco Nazionale Arcipelago Toscano (PNAT) a Portoferraio. Da tale postazione (Fig. 7.1), operativa dal mese di giugno 2002, è quindi possibile il monitoraggio in tempo reale di parametri riguardanti il Mare dell'Arcipelago Toscano. Il sistema realizzato prevede che le mappe visibili da questa unità siano quelle prodotte dalle procedure di elaborazione distribuita installate presso ARPAT - Area Mare a Piombino. L'unità installata è basata sul sistema operativo Windows 2000 ed usufruisce di un collegamento via Internet di tipo ADSL con IP statico. Attualmente sono disponibili mappe di temperatura superficiale del mare (SST), inserite da parte di ARPAT - Area Mare, nel sito web dedicato al PNAT di Portoferraio (vedi Capitolo 9). Le mappe marine presenti in formato "Arcipelago" hanno una risoluzione di circa 140 metri. Quest'ultima viene in realtà ottenuta con algoritmi di interpolazione, anche di tipo originale in prossimità della costa (vedi Capitolo 17). Se richiesto, con tecniche di interpolazione più spinte, il formato "Elba" (Fig. 3.7) permette una risoluzione spaziale di circa 70 m.



Fig. 7.1 Postazione di monitoraggio ambientale marino, in tempo reale, del PNAT a Portoferraio

8 I SATELLITI RICEVUTI

I satelliti ricevuti direttamente in tempo reale sono quelli della serie NOAA. Sono considerati tuttavia altri satelliti con a bordo sensori passivi nelle bande dell'ottico, dell'infrarosso e nelle microonde. Tra questi i sensori SeaWiFS e SSM/I; recentemente sono stati effettuati test anche sul sensore MERIS (situato a bordo del satellite ENVISAT). Altri test sono in programma per il sensore MODIS, a bordo dei satelliti TERRA e AQUA.

8.1 Satelliti NOAA

I satelliti del programma NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) sono satelliti ad orbita polare eliosincrona che derivano direttamente dai satelliti della serie DMSP (*Defence Meteorological Satellite Program*) sviluppati per il Servizio Meteorologico Militare Americano. Il primo di essi è stato il satellite TIROS (*Television and InfraRed Observation Satellite*) lanciato nel 1978, i successivi sono stati denominati con la doppia sigla NOAA-lettera, prima del lancio, NOAA-numero, a lancio avvenuto (da NOAA-6, 1979 fino a NOAA-17, 2002). I satelliti della serie NOAA tuttora operativi (dicembre 2002) sono:

NOAA-12, lanciato nel maggio 1991

NOAA-14, lanciato nel dicembre 1994

NOAA-15 (NOAA-K), lanciato nel maggio 1998

NOAA-16 (NOAA-L), lanciato nel settembre 2000

NOAA-17 (NOAA-M), lanciato nel luglio 2002

Nella Tab. 8.1 sono riportate le caratteristiche delle orbite dei vari satelliti.

Dati orbitali	NOAA12	NOAA14	NOAA15	NOAA16	NOAA17
Altezza media del satellite	827 km	847 km	811 km	853 km	833 km
Inclinazione dell'orbita	98.6°	99.1°	98.6°	98.8°	98.7°
Periodo medio dell'orbita	101 min	102 min	101.2 min	102.1 min	101.2 min

Tab. 8.1 *Caratteristiche delle orbite dei satelliti NOAA tuttora operativi.*

La strumentazione di bordo dei satelliti NOAA-15, 16 e 17 consiste nei seguenti dispositivi:

Sensore AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)

AVHRR/3: è un radiometro a scansione che riprende le immagini della superficie terrestre e delle nubi; è dotato di sei canali spettrali: tre nello spettro del visibile e del vicino infrarosso e tre nello spettro dell'infrarosso termico.

Sensori ATOVS (Advance TIROS-N Operational Vertical Sounder)

AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A): è un radiometro a microonde, dotato di 15 canali spettrali, per la misura del profilo della temperatura atmosferica e della quantità di acqua presente nell'atmosfera; questo strumento è composto da due moduli separati: AMSU-A1 (per la misura del profilo di temperatura, dotato di 12 canali in banda V, e un canale in banda W), AMSU-A2 (per la rilevazione di acqua nell'atmosfera, dotato di un canale in banda K e di un canale in banda Ka);

AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B): è un radiometro a microonde dotato di 5 canali spettrali che ricevono e misurano la radiazione proveniente da diversi strati dell'atmosfera ottenendo da essi dati generali sul profilo di umidità; insieme allo strumento AMSU-A forma un dispositivo a microonde dotato di 20 canali spettrali;

HIRS/3 (High resolution Infrared Radiation Sounder): è uno scandaglio atmosferico ad infrarossi che esegue misure di radianza su 20 bande spettrali; i dati di questo sensore consentono di ottenere il profilo della temperatura dell'atmosfera fino ad una quota di 40 km.

Altri sensori

SEM-2 (Space Environment Monitor): è uno spettrometro multicanale che misura il flusso di particelle cariche provenienti dal Sole (vento solare) che attraversano la zona circostante il satellite; lo strumento misura anche il flusso di altre particelle energetiche come elettroni accelerati, protoni e particelle alfa. Tali misure sono molto importanti poiché queste particelle possono modificare sensibilmente il contenuto energetico della magnetosfera, della ionosfera e degli strati alti dell'atmosfera;

SBUV/2 (Solar Backscatter Ultra Violet spectral radiometer): è un radiometro che misura la radiazione solare e l'emissività della superficie terrestre nello spettro dell'ultravioletto vicino (160 - 400 nm, con una risoluzione spettrale di 1 nm); i dati raccolti da questo strumento possono essere utilizzati per la determinazione della distribuzione verticale di ozono, della struttura e della dinamica dell'ozono, dei processi fotochimici e dell'influenza dei gas traccianti nello strato atmosferico dell'ozono, dell'attività solare a lungo termine nella banda dell'ultravioletto;

DCS/2 (Data Collection System): è uno strumento che consente l'acquisizione di informazioni ambientali aggiuntive ricevendo dati di temperatura, pressione, vento su mare ecc. da più di 2000 piattaforme dislocate sulla superficie terrestre; tali dati vengono poi registrati a bordo del satellite su appositi registratori;

SARSAT (*Search And Rescue SATellite*): è un dispositivo che intercetta il segnale di soccorso di un mezzo in pericolo (nave, aereo ecc.), trasmesso su una portante a 406 MHz, e lo rinvia ad opportune stazioni di terra per favorire le operazioni di salvataggio; inoltre, il moto relativo fra il trasmettitore del veicolo a terra e il satellite in orbita, fa sì che il segnale di soccorso giunga al satellite affetto da un scarto doppler utile per ottenere la direzione di provenienza.

L'equipaggiamento di base, per la ricezione e demodulazione dei segnali HRPT (*High Resolution Picture Transmission*) provenienti dai satelliti NOAA, è suddiviso in due gruppi: uno montato esternamente alla Stazione di Ricezione, l'altro internamente (Fig. 8.1). In particolare:

Equipaggiamento esterno:

Antenna parabolica (Ø 1.8 m)

Piedistallo in acciaio controllato in azimuth ed elevazione dall'unità interna

Radome (Ø 2.1 m)

Feeder (dipolo e LNA) e filtro passa banda

Primo Down Converter (S-band → UHF) in un case impermeabile

Cavo coassiale dall'antenna all'equipaggiamento interno

Equipaggiamento interno:

Unità di controllo di antenna con interfaccia RS232

Secondo Down Converter (UHF → VHF)

Ricevitore per HRPT

Bit Synchronizer

Intelligent Frame Formatter (IFFM) configurato per una ricezione HRPT e interfaccia

GPB al sistema ospite

Ricevitore di orologio atomico.

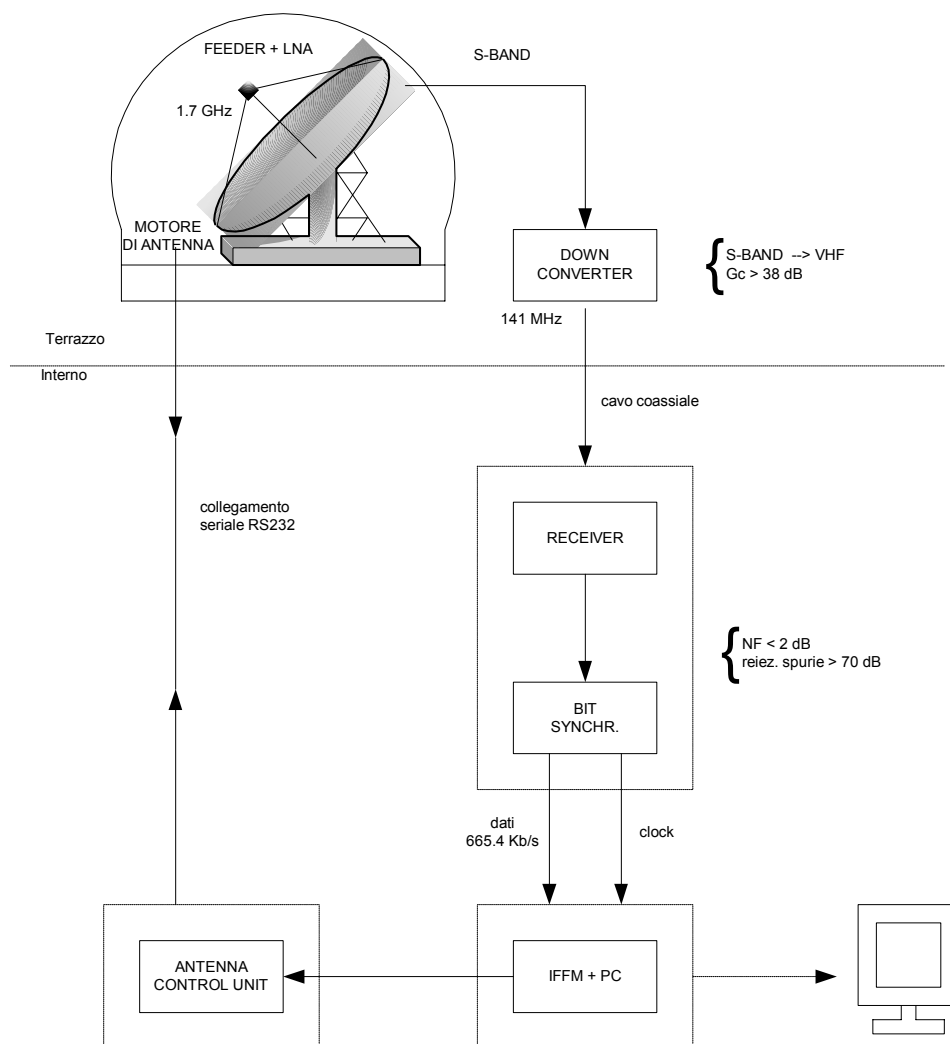


Fig. 8.1 Schema a blocchi degli apparati impiegati per la ricezione dei satelliti NOAA

Come già detto, il sensore dei satelliti della serie NOAA usato per la nostra ricerca è l'AVHRR/3, radiometro a scansione che riprende le immagini della terra e delle nubi con sei canali spettrali (Fig. 8.2): i primi due canali utilizzano un rivelatore al silicio, gli altri un rivelatore fatto di metalli raffreddati a 105 K. Il radiometro è dotato di uno specchio piatto con un piccolo campo visivo ($1.3 \text{ mrad} \times 1.3 \text{ mrad}$) che esegue, perpendicolarmente rispetto alla direzione orbitale, la scansione della superficie terrestre ruotando continuamente di 360° ; la velocità di rotazione viene

scelta in modo tale che le strisce di scansione siano leggermente sovrapposte l'una alla successiva. I dati analogici raccolti dal sensore vengono digitalizzati con 39936 campioni al secondo per ogni canale, ogni passo di campionamento corrisponde ad una rotazione dello specchio di 0.95 mrad. Tutti i sei canali spettrali sono regolati in modo tale da misurare l'energia dell'emissione dallo stesso punto della terra nello stesso istante, la calibrazione viene eseguita in modo tale che l'ampiezza dei segnali provenienti dai canali spettrali sia proporzionale alla radianza della porzione di superficie osservata. Il sistema trasmette a terra contemporaneamente i dati di soli cinque canali spettrali: i canali 3A e 3B non possono operare contemporaneamente, quindi i dati provenienti da essi non vengono trasmessi a terra nello stesso istante.

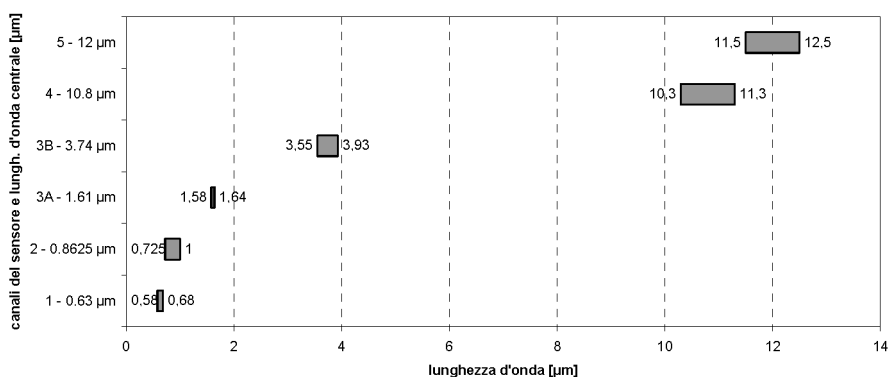


Fig. 8.2 Grafico riassuntivo della dislocazione in frequenza delle bande spettrali del sensore AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo dei satelliti NOAA-15, 16 e 17

Canale	Banda spettrale	Utilizzo
1	0.58 - 0.68 µm	Ottenimento di immagini diurne
2	0.725 - 1.0 µm	Immagini di nubi
3A	1.58 - 1.64 µm	Temperatura superficiale della terra e del mare
3B	3.55 - 3.93 µm	Temperatura superficiale della terra e del mare
4	10.3 - 11.3 µm	Temperatura superficiale della terra e del mare, umidità del suolo
5	11.5 - 12.5 µm	Temperatura superficiale della terra e del mare, umidità del suolo

Tab. 8.2 Bande e caratteristiche delle bande spettrali del radiometro AVHRR/3 presente a bordo dei satelliti NOAA 15, 16 e 17

Oltre ai satelliti NOAA, la collaborazione tra ARPAT e la Stazione di Telerilevamento Satelliti del PIN di Prato include lo sviluppo di programmi per l'elaborazione dei dati del sensore satellitare SeaWiFS (vedi Capitolo 8.2). Un ulteriore sviluppo può includere anche prove col sensore MERIS.

E' inoltre attiva, da oltre due anni, una procedura per l'acquisizione, dalla rete Internet, dei dati trasmessi dal sensore SSM/I a bordo dei satelliti statunitensi DMSP F13, F14 ed F15, che operano nel campo delle microonde.

Mediante ogni satellite polare NOAA transita 4-6 volte al giorno alla vista della Stazione di Ricezione (con uno *swath* di circa 3000 km), per un tempo di visibilità di circa 12-15 minuti ogni volta e con frequenza giornaliera come mostrato in Fig. 8.3.

Nelle Fig. 8.4 e 8.5 sono riportate le statistiche sui dati NOAA grezzi classificati con scarsa nuvolosità sul Mar di Toscana tra quelli ricevuti negli anni 2001-2002. Questi ultimi sono circa 360 nel 2001 e 1095 nel 2002; mentre la totalità dei passaggi registrati è di 1145 nel 2001 e di 5814 nel 2002, inclusi quelli nuvolosi e quelli in cui non è compresa la regione geografica d'interesse.

In Fig. 8.6 sono riportati i valori temporali, espressi in UTC, dell'inizio acquisizione dei passaggi del NOAA-16. Come si evince dalla figura l'intervallo dei passaggi diurni è compreso tra le 11:00 e le 14:00 UTC, mentre quello dei passaggi notturni è tra le 00:00 e le 03:00 UTC. Questa circostanza è dovuta al fatto che l'orbita del satellite è eliosincrona; l'eliosincronicità dell'orbita garantisce infatti il passaggio del satellite nella stessa zona geografica nel medesimo intervallo di tempo.

Una scheda riassuntiva della quantità di dati archiviati tra il 1998 e il 2001 è invece riportata in Tab. 8.3.

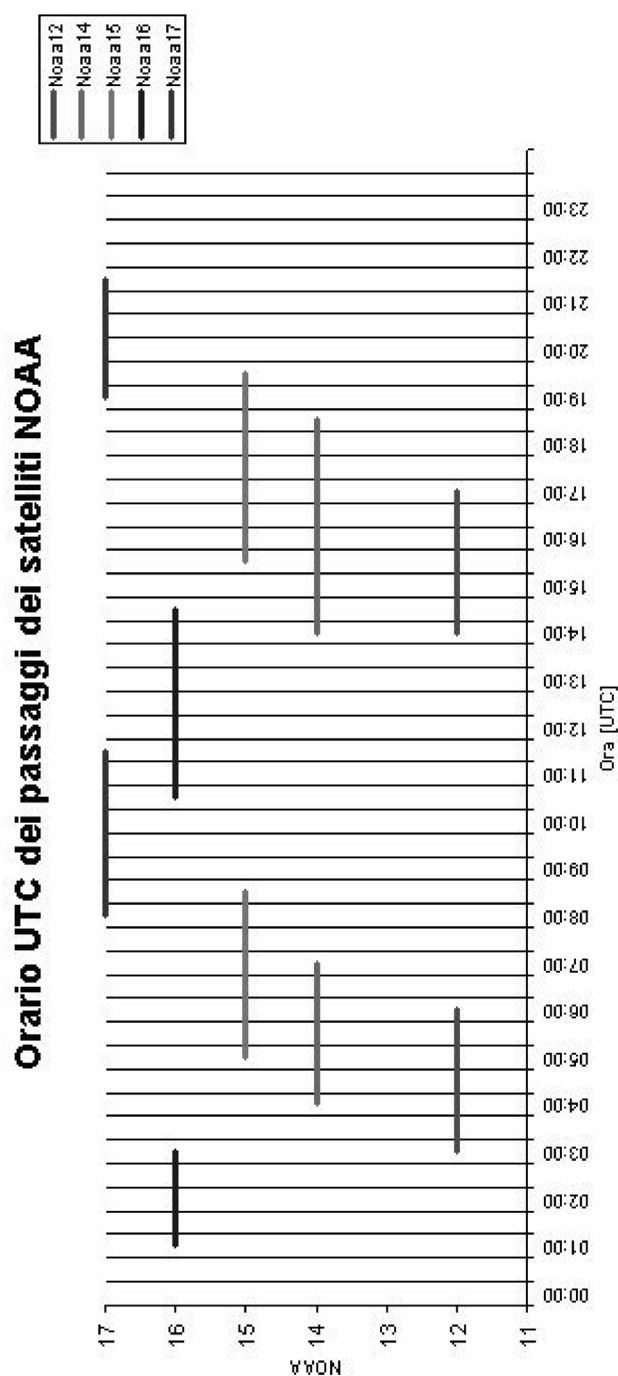


Fig. 8.3 *Frequenza giornaliera dei passaggi dei satelliti della serie NOAA*

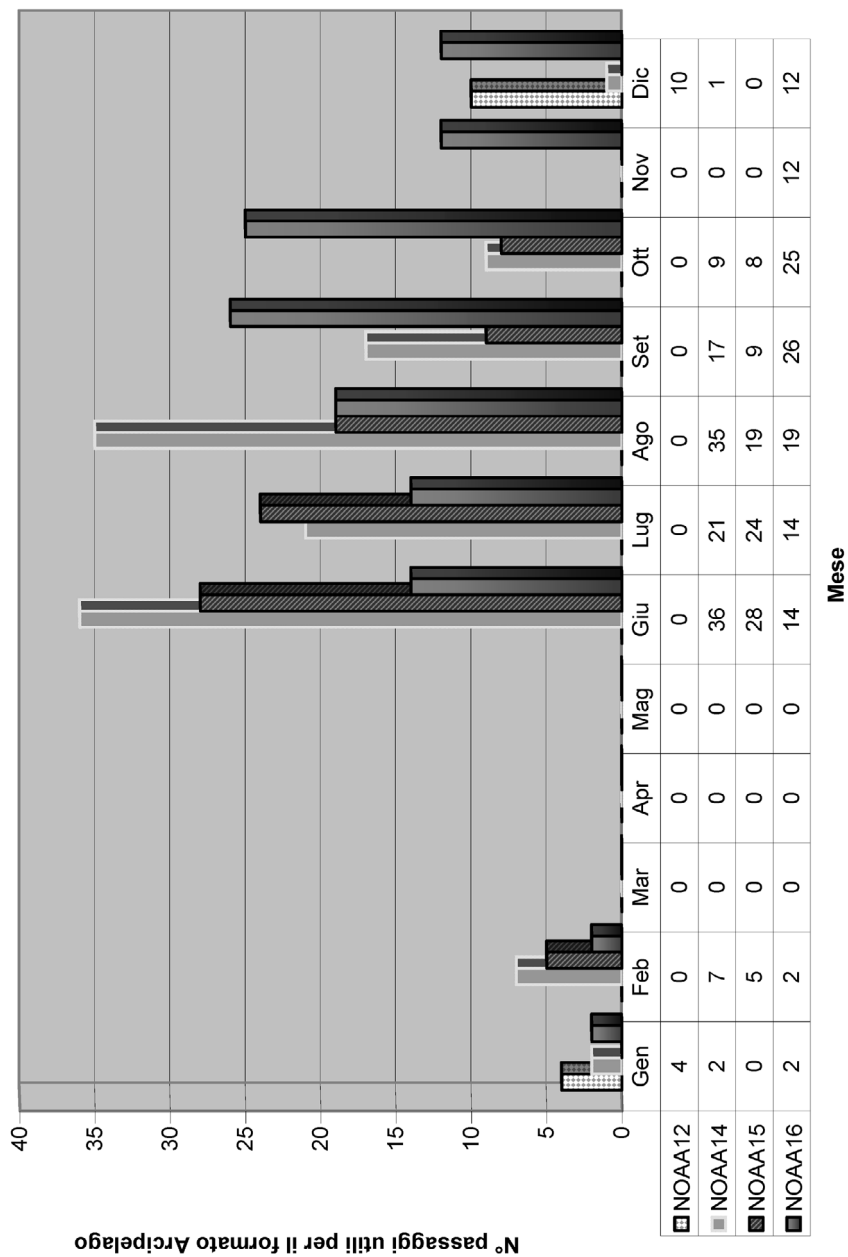


Fig. 8.4 Numero di passaggi NOAA, con scarsa nuvolosità sul Mar di Toscana, ricevuti nell'anno 2001 alla Stazione di Ricezione Satelliti del PIN - Polo Universitario di Prato

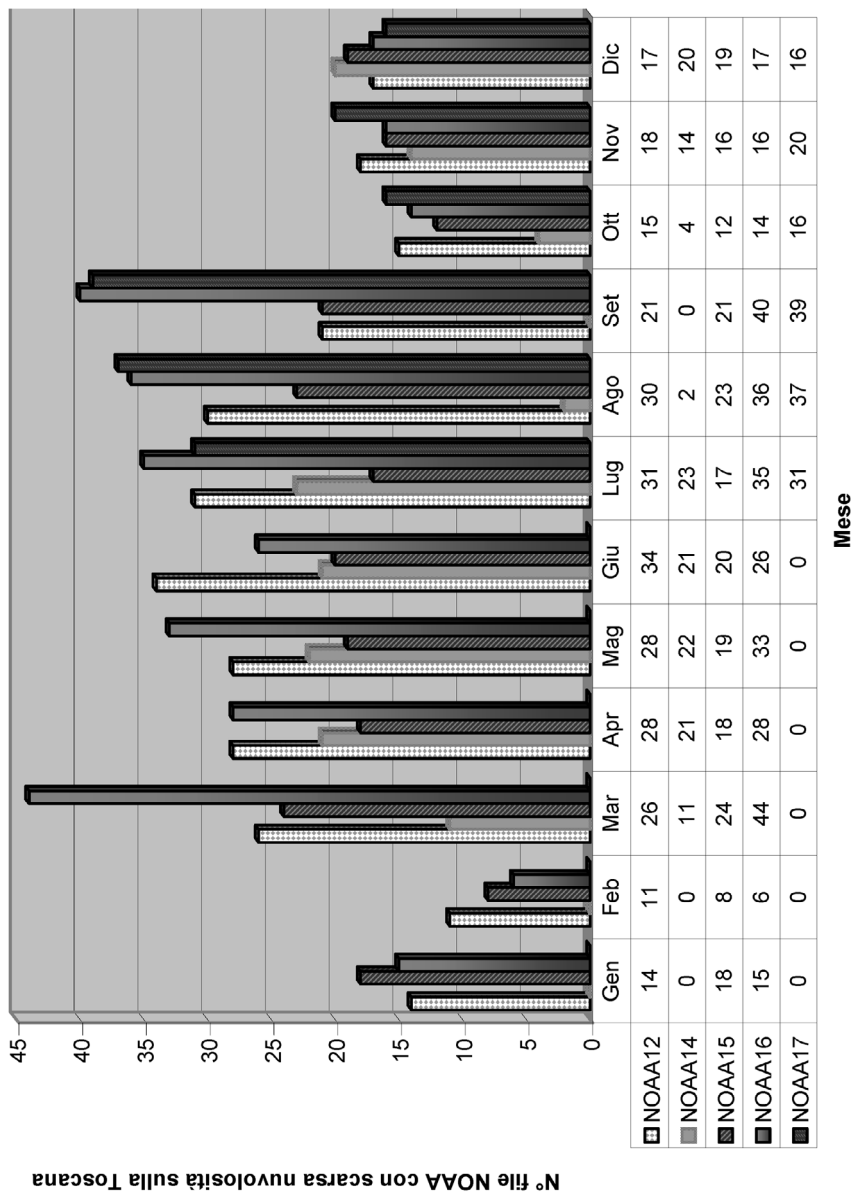


Fig. 8.5 Numero di passaggi NOAA, con scarsa nuvolosità sul Mar di Toscana, ricevuti nell'anno 2002 alla Stazione di Ricezione Satelliti del PIN - Polo Universitario di Prato

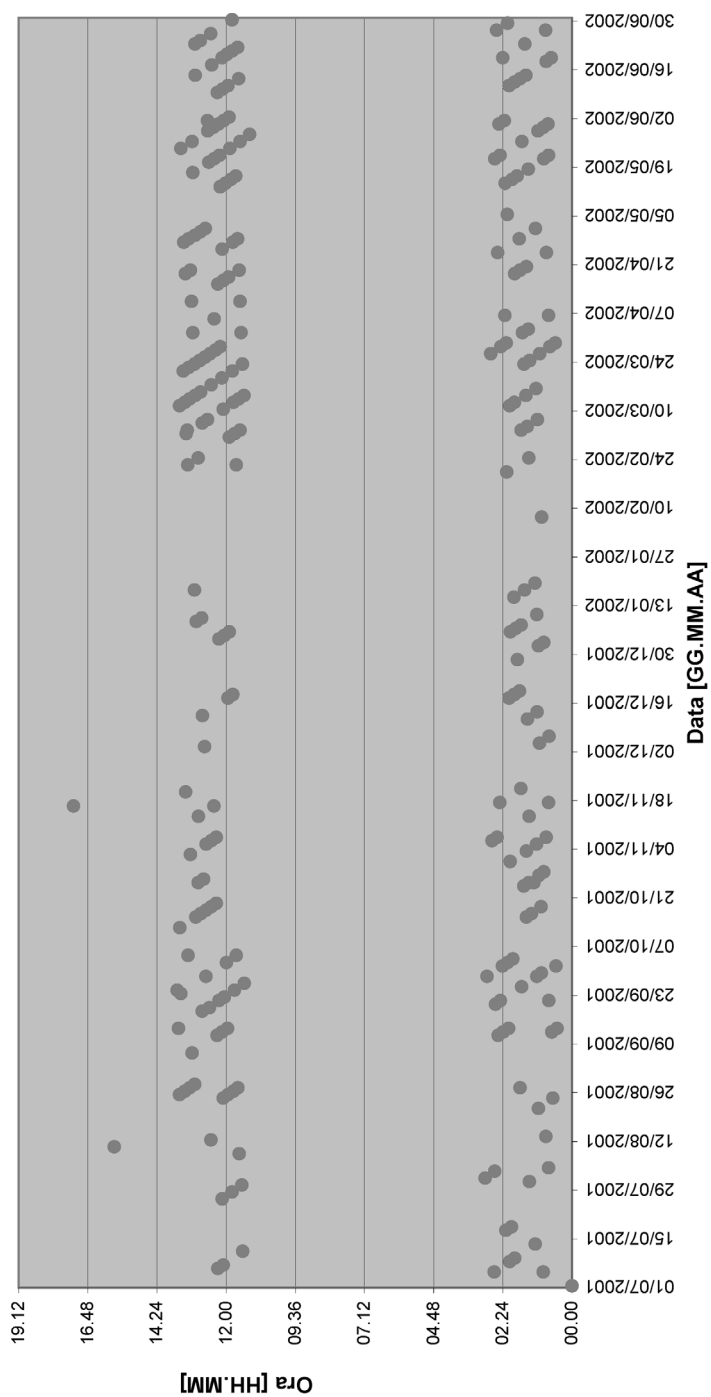


Fig. 8.6 Statistiche sui dati del satellite NOAA16 acquisiti tra il 01.07.2001 e il 30.06.2002

	Anno	2001		2000	
Satellite	Sensore	N° file grezzi	N° file .HDF	N° file grezzi	N° file .HDF
NOAA12	AVHRR/3	113	/	/	/
NOAA14	AVHRR/3	306	/	200	/
NOAA15	AVHRR/3	303	/	250	/
NOAA16	AVHRR/3	423	/		/
DMSPF13	SSM/I	/	350	/	320
DMSPF14	SSM/I	/	350	/	320
	Anno	1999		1998	
Satellite	Sensore	N° file grezzi	N° file .HDF	N° file grezzi	N° file .HDF
NOAA12	AVHRR/3	/	/	/	/
NOAA14	AVHRR/3	220	/	200	/
NOAA15	AVHRR/3	150	/	/	/
NOAA16	AVHRR/3	/	/	/	/
DMSPF13	SSM/I	/	226	/	97
DMSPF14	SSM/I	/	226	/	97

Tab. 8.3 *Quantità di file contenuti nei CDROM presenti alla Stazione Ricezione Satelliti PIN - Polo Universitario di Ingegneria*

8.2 Il satellite SeaStar ed il sensore SeaWiFS

L'attività svolta ha incluso l'analisi, tramite software proprietario NASA e software originale sviluppato nell'ambito dell'attività, dei dati raccolti dal sensore SeaWiFS a bordo della navetta SeaStar.

Il progetto SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*) fa parte di un più ampio progetto NASA, denominato MTPE (*Mission To Planet Earth*), finalizzato al monitoraggio dell'ambiente via satellite. L'obiettivo del sensore SeaWiFS, lanciato a bordo della navetta spaziale SeaStar nell'agosto 1997, è il monitoraggio quantitativo delle proprietà bio-ottiche delle acque terrestri. Il sensore SeaWiFS raccoglie, attraverso 6 bande spettrali nel visibile e 2 nel vicino infrarosso, dati accurati sulla radiazione che emerge dalle acque del mare. La radiazione proveniente dal sole incide sulla superficie del mare, vi penetra ed interagisce con l'acqua; una parte di questa radiazione viene assorbita, una parte invece riemerge

con uno spettro modificato cui si dà il nome di *colore del mare* [Maracci 92]. In base a questi dati è possibile analizzare le caratteristiche dei primi centimetri al di sotto della superficie marina. Il primissimo strato del mare (*pelle del mare*) è quello più interessante perché consente di determinare la concentrazione di sostanze caratteristiche della biologia del mare:

- clorofilla tipo *a*;
- sostanza gialla (sostanze organiche disciolte);
- sedimenti sospesi.

E' possibile determinare anche il tipo e la quantità di fitoplancton (piante marine microscopiche) presente nell'acqua. In base alla concentrazione di clorofilla, sostanza gialla e sedimenti sospesi è anche possibile ottenere una classificazione delle acque sia oceaniche che costiere [Maracci 92].

Tipo di orbita	Eliosincrona a 705 km di quota
Tempo di ripetizione dell'orbita	16 giorni (233 orbite)
Periodo	98.9 min
Inclinazione	98.25°
Equator crossing	12 ± 20 min (ora locale)

Tab. 8.4 *Caratteristiche dell'orbita polare eliosincrona del satellite SeaStar con a bordo il sensore SeaWiFS [Hooker 92], [Gregg 92]*

Saturation Recovery	<10 campioni
MTF (Modulation Transfer Function)	≥ 0.3 at Nyquist
Ampiezza dell'angolo di scansione	±58.3 deg (LAC), 45 deg (GAC)
Copertura di scansione	2.800 km (LAC), 1.500 km (GAC)
Numero di pixel per linea di scansione	1285 (LAC), 248 (GAC)
Risoluzione al Nadir	1.13 km (LAC), 4.5 km (GAC)
Periodo di scansione	0.167 s
Angolo di tilt sul piano di scansione	+20°, 0°, -20°
Bit di digitalizzazione	10 bits

Tab. 8.5 *Caratteristiche operative nominali del sensore SeaWiFS [Hooker 92], [Gregg 92]*

Il sensore SeaWiFS si trova a bordo della navetta spaziale SeaStar. Questa percorre un'orbita polare eliosincrona le cui caratteristiche sono riportate nella Tab. 8.4. Nella Tab. 8.5 sono invece riportate le caratteristiche operative nominali del sensore SeaWiFS.

Lo strumento SeaWiFS consiste di un sensore passivo operante nello spettro del visibile con 8 bande spettrali (402 - 885 nm); nella Tab. 8.6 sono riportate le caratteristiche delle 8 bande, nella Tab. 8.7 viene specificato l'utilizzo principale di ogni banda spettrale.

Canale	Banda spettrale [nm]	Radianza di saturazione [mW cm ⁻² μm ⁻¹ sr ⁻¹]	Radianza di ingresso [mW cm ⁻² μm ⁻¹ sr ⁻¹]
1	402 - 422	13.63	9.10
2	433 - 453	13.25	8.41
3	480 - 500	10.50	6.56
4	500 - 520	9.08	5.64
5	545 - 565	7.44	4.57
6	660 - 680	4.20	2.46
7	745 - 785	3.00	1.61
8	845 - 885	2.13	1.09

Tab. 8.6 *Caratteristiche delle 8 bande spettrali del sensore SeaWiFS [Hooker 92]*

Canale	Banda spettrale [nm]	Utilizzo principale
1	412 (violetto)	Sostanza gialla, torbidità, concentrazione di clorofilla
2	443 (blue)	Concentrazione di clorofilla
3	490 (blue-verde)	Clorofilla e altri pigmenti
4	510 (blue-verde)	Torbidità, sedimenti sospesi, maree rosse
5	555 (verde)	Riferimento per la clorofilla, sedimenti sospesi
6	670 (rosso)	Assorbimento della clorofilla
7	765 (IR vicino)	Assorbimento di riferimento dell'ossigeno, assorbimento dell'ossigeno R-branch, aerosol, vegetazione
8	865 (IR vicino)	Correzioni per aerosol su mare, assorbimento di riferimento del vapore d'acqua, assorbimento del vapore d'acqua, vegetazione

Tab. 8.7 *Utilizzo primario delle 8 bande spettrali del sensore SeaWiFS [Gregg 92]*

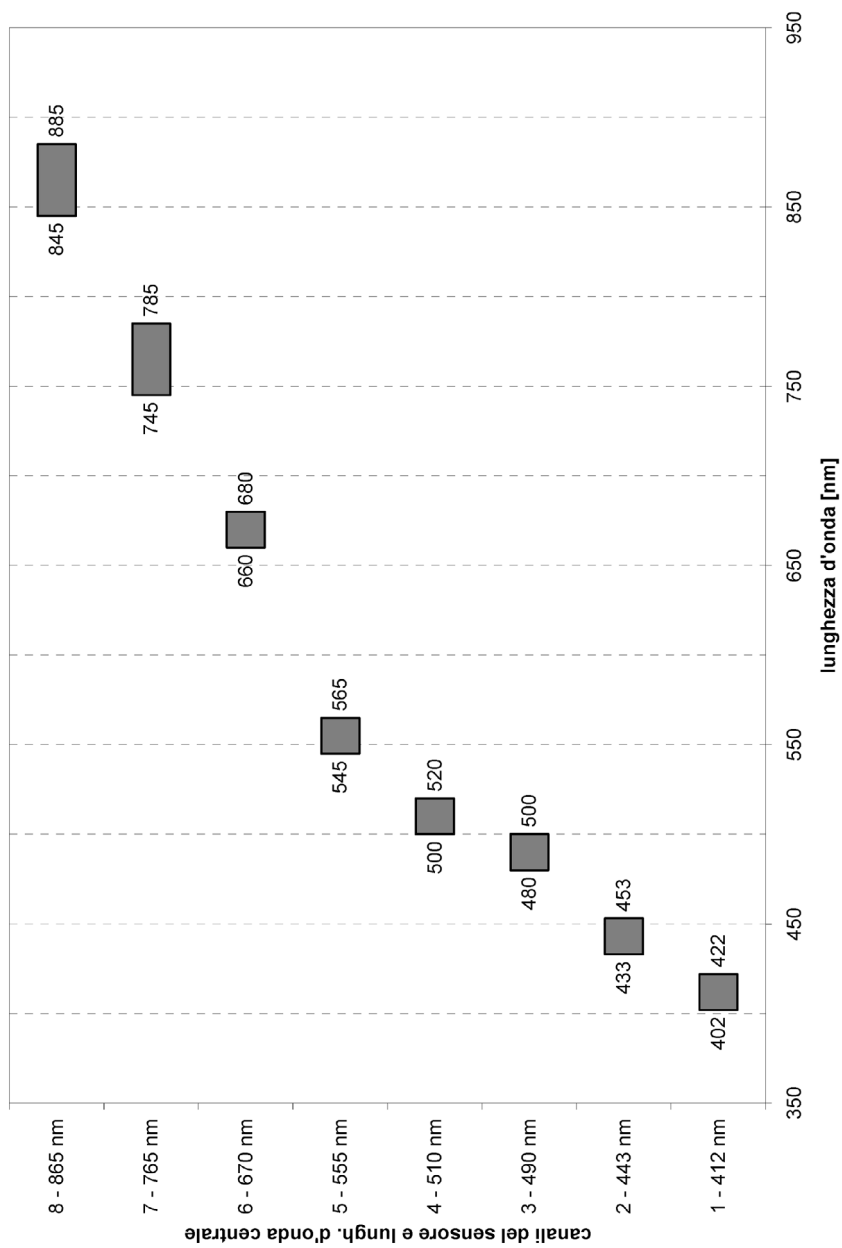


Fig. 8.7 Grafico riassuntivo della dislocazione in frequenza delle bande spettrali del sensore SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) a bordo del satellite SeaStar

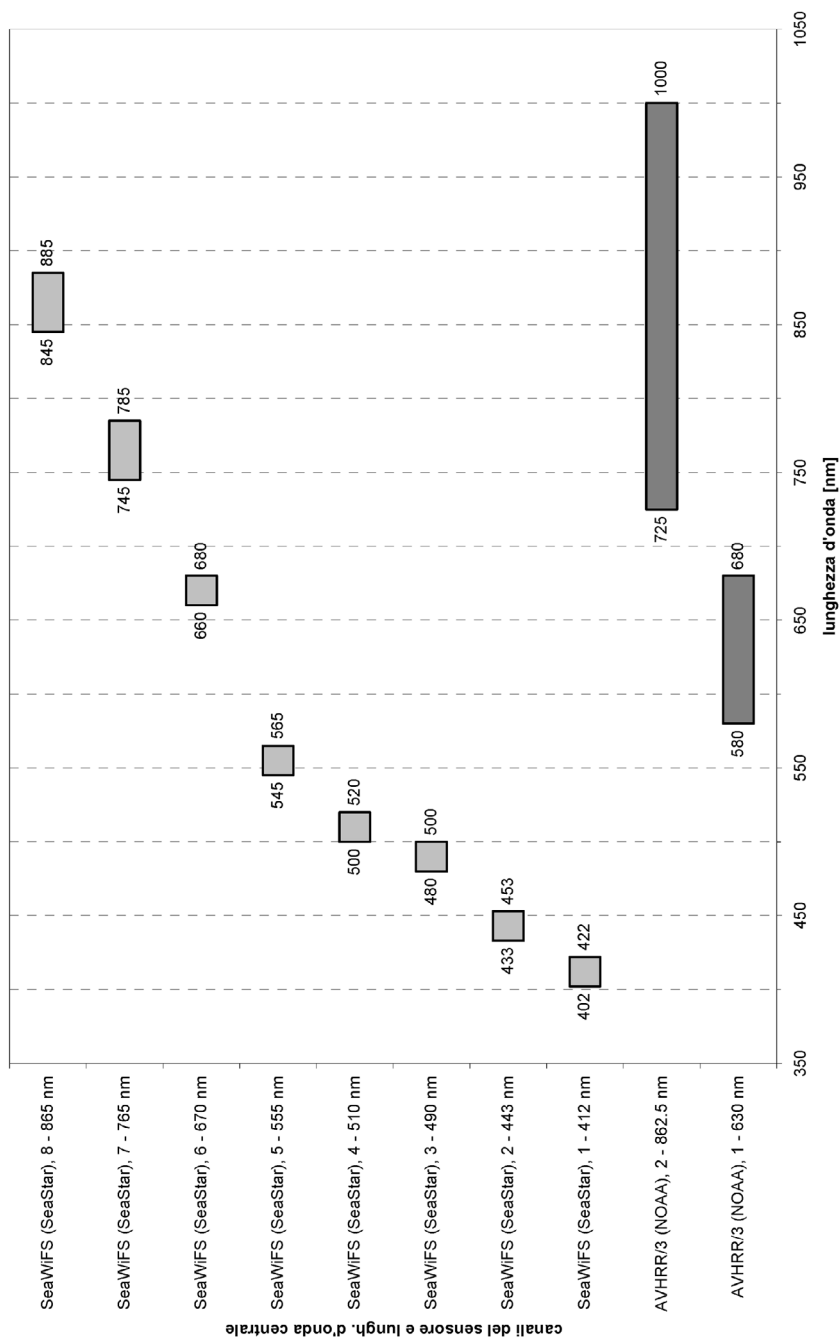


Fig. 8.8 Confronto tra le bande spettrali dei sensore SeaWiFS (SeaStar) e le bande dei canali 1 e 2 del sensore AVHRR/3 (NOAA)

9 STRUTTURA E PROCEDURE PER LO SCAMBIO DI DATI RICEVUTI DA SATELLITE

La struttura dei collegamenti tra i centri di ricerca toscani partecipanti a questa attività è stata sviluppata e realizzata presso il Laboratorio di Telecomunicazioni DET dell'Università di Firenze (v. cap. 6), che si è preoccupato di progettare e collaudare la struttura di collegamento e lo scambio dati tra la Stazione di Ricezione Satelliti PIN di Prato e il Laboratorio di Telerilevamento di ARPAT - Area Mare a Piombino, nonché la struttura della LAN interna di quest'ultimo, progettata per poter gestire il traffico dati generato dalla post-elaborazione di file di immagini satellitari.

La Stazione di Ricezione Satelliti PIN di Prato invece ha una struttura interna che gli permette di ricevere ed elaborare i dati inviati dai satelliti NOAA. Tramite l'elaborazione delle immagini satellitari, come già accennato, è in grado di ottenere prodotti di interesse ambientale, quali, ad esempio, la temperatura superficiale del mare, l'indice di clorofilla, la temperatura interna ed esterna degli ammassi nuvolosi.

La struttura della Stazione di Prato, già illustrata (vedi Capitolo 3), comprende anche un sito Internet ad accesso riservato tramite password. Da Piombino, e volendo anche da Prato, è poi reso operativo un ulteriore sito internet con chiave, per la postazione di monitoraggio ambientale in tempo reale del PNAT a Portoferraio.

9.1 Acquisizione dei dati NOAA da parte di ARPAT - Area Mare a Piombino

L'accesso al sito WEB della Stazione di Ricezione Satelliti, dedicato al progetto con ARPAT, è limitato al personale coinvolto in questa attività. Per accedervi occorre, dopo essersi connessi alla rete Internet [DET – FIPB 0502], digitare, nella barra indirizzi del browser (ad es. Netscape Navigator), <http://maresat.ing.unifi.it/arpat>. Una volta connessi è possibile scaricare le ultime immagini elaborate per i satelliti della serie NOAA, per i formati geografici d'interesse (Fig. 9.2), cliccando, con il tasto destro del mouse, sul nome del file (Fig. 9.3).

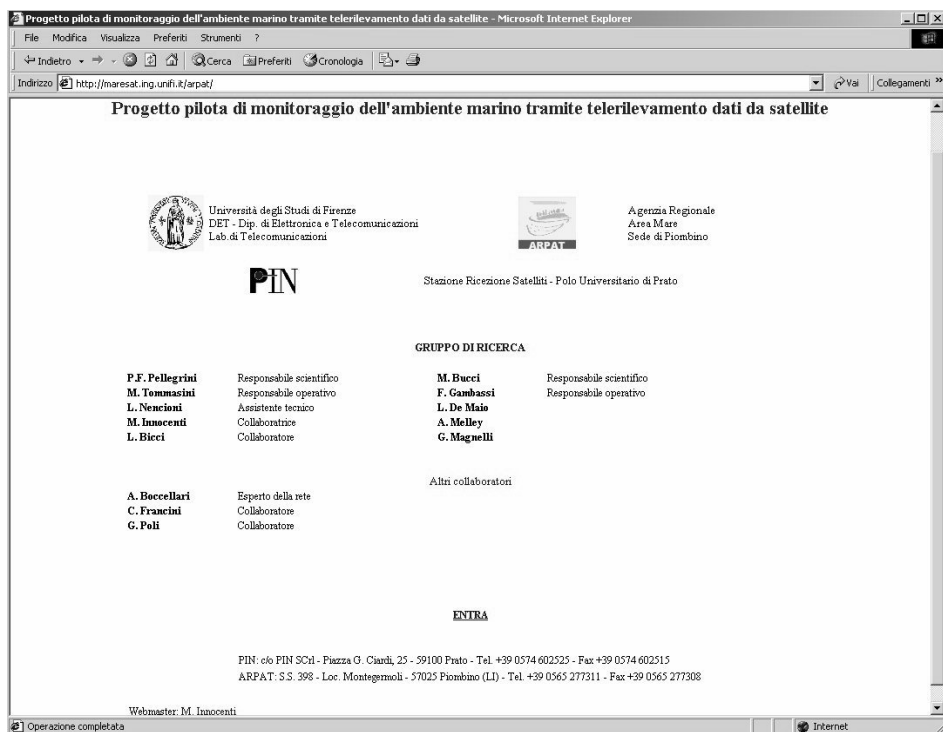


Fig. 9.1 Pagina iniziale del sito WEB 'http://maresat.ing.unifi.it/arpat' attivo alla Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, messo a disposizione per l'attività svolta con ARPAT - Area Mare a Piombino

Le immagini messe a disposizione sono:

- file, in formato *jpg*, della Temperatura Superficiale del Mare (SST) a falsi colori o della radianza del ch.3 dell'AVHRR;
- file, a 8 bit/pixel, in scala di grigi, della Temperatura Superficiale del Mare (SST);
- file, a 16 bit/pixel, della Temperatura Superficiale del Mare (SST);
- file, in formato Quick Look, per i count del ch.3.

I files in formato *jpg* sono immediatamente visualizzabili con il browser di navigazione; quelli del tipo b*.BST (16 bit/pixel integer [K], 800 byte di testata) sono immagini raster utilizzabili in algoritmi di controllo e calibrazione; quelli del tipo x*.BST (8 bit/pixel char, 800 byte di testata) sono immagini raster visualizzabili con programmi di elaborazione immagine e con l'apposito navigatore XPRESSRAW realizzato per il presente progetto di ricerca. Esse sono riferite agli ultimi trenta giorni elaborati.

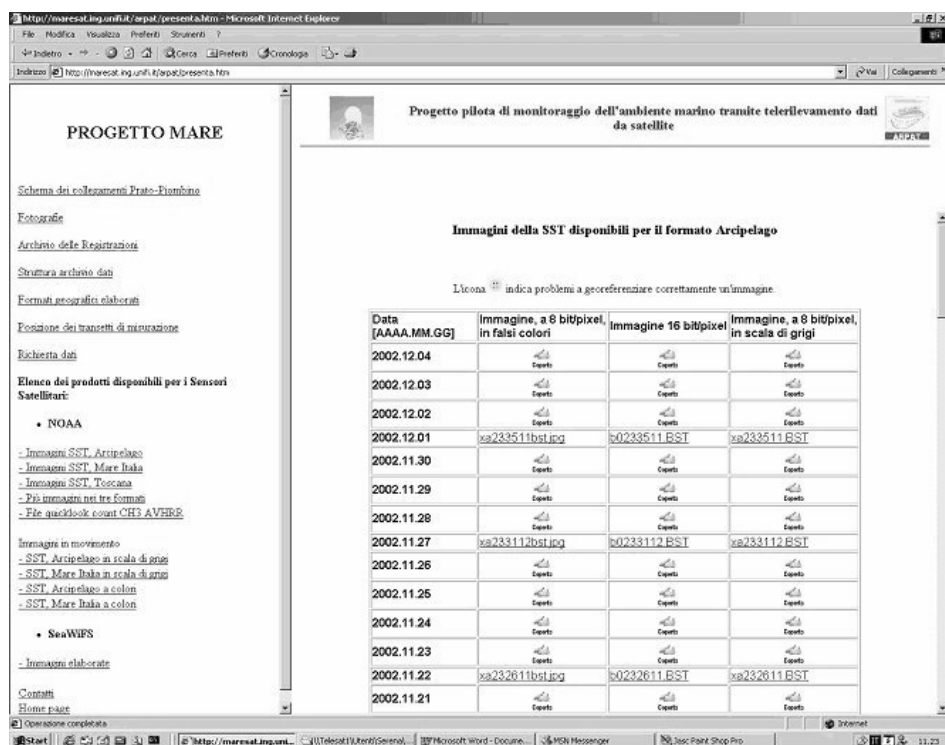


Fig. 9.2 Nel frame di sinistra sono presenti i link alle pagine WEB del sito Internet 'http://maresat.ing.unifi.it/arpat' attivo alla Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, messe a disposizione per l'attività svolta con ARPAT – Area Mare a Piombino; sulla destra l'elenco delle mappe SST elaborate in formato Arcipelago.

Nel corso della presente attività è stato realizzato anche un sito internet dedicato alla stazione di osservazione realizzata presso l'Ente Parco Nazionale Arcipelago Toscano (vedi Capitolo 7). I dati nel sito possono essere inseriti sia dalla Stazione di Ricezione Satelliti, sia dal Laboratorio Telerilevamento ARPAT – Area Mare di Piombino. Il sito è raggiungibile all'URL: <http://maresat.ing.unifi.it/islepark/> (Fig. 9.4).

All'interno del sito, dedicato al PNAT, sono messe a disposizione le mappe di SST in formato *jpg*. Dalle pagine del sito si possono raggiungere le cartelle messe a disposizione nel server MARESAT dedicate a contenere informazioni sui formati utilizzati, sulle mappe e sui messaggi che possono essere eventualmente scambiati tra le varie unità impegnate nel progetto (Fig. 9.5). Le strutture dati realizzate presso il server MARESAT e presso il client installato all'osservatorio PNAT sono le stesse.

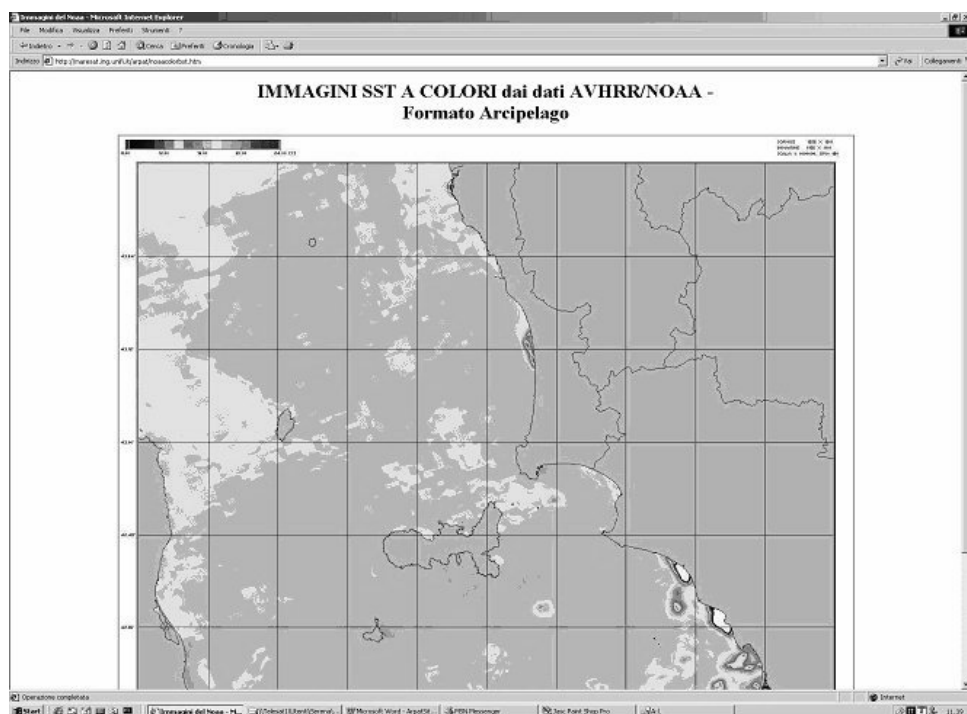


Fig. 9.3 Esempio di immagine jpg in formato “Arcipelago” delle mappe SST ottenute da elaborazione dei dati NOAA -AVHRR elaborate per tale formato

9.2 Accesso da ARPAWORK, via LAN interna, al computer ARPASAT

I due calcolatori del Laboratorio di Telerilevamento ARPAT - Area Mare a Piombino sono collegati tra di loro tramite una rete locale (vedi Fig. 4.1), per consentire il trasferimento di dati tra i due PC.

Digitando, nello spazio “Nome computer” di “Cerca Computer” l'indirizzo IP 192.168.0.1 [DET – FIPB 0502], si accede da ARPAWORK a ARPASAT, che contiene, nella cartella condivisa FI-PBS, sia alcuni file prodotti dall'elaborazione dei dati NOAA-AVHRR, che le informazioni scambiate tra il Laboratorio di ARPAT – Area Mare a Piombino con la Stazione di Prato.



Fig. 9.4 Pagina iniziale del sito WEB 'http://maresat.ing.unifi.it/islepark/' attivo alla Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, messo a disposizione dell'osservatorio dati telerilevati realizzato presso la sede l'Ente Parco Nazionale Arcipelago Toscano (PNAT) a Portoferraio (LI), per l'attività svolta con ARPAT - Area Mare a Piombino



Fig. 9.5 Pagina WEB del sito 'http://maresat.ing.unifi.it/islepark/' con i link all'archivio dati realizzato alla Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, messo a disposizione dell'osservatorio dati telerilevati PNAT di Portoferraio (LI).

9.3 *Acquisizione da ARPAWORK di dati contenuti nel computer remoto MAREWORK della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato*

Il calcolatore ARPAWORK, del Laboratorio di Telerilevamento ARPAT – Area Mare di Piombino, può collegarsi, tramite connessione ISDN, al PC MAREWORK della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, che presenta condivisa, sia in lettura che in scrittura, la cartella condivisa FI-PBW.

Con la connessione Internet attivata, è possibile accedere da ARPAWORK a MAREWORK digitando, nello spazio “Nome computer” di “Cerca Computer”, l'indirizzo IP 150.217.13.181 [DET – FIPB 0502].

9.4 *Acquisizione da MAREWORK di dati contenuti nel computer remoto ARPAWORK della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato*

Il calcolatore MAREWORK, della Stazione di Ricezione Satelliti di Prato, può collegarsi al PC ARPAWORK del Laboratorio di Telerilevamento ARPAT - Area Mare di Piombino, per lo scambio di dati.

Per realizzare ciò è necessaria la presenza di una persona a Piombino, che attivi la connessione ISDN dall'elaboratore ARPAWORK (i calcolatori del Laboratorio di Telerilevamento ARPAT –Area Mare di Piombino non usufruiscono di una linea dedicata per l'accesso alla rete Internet), recuperi l'indirizzo IP dinamico che gli viene assegnato dal provider e ne dia comunicazione all'operatore a Prato.

Per individuare l'indirizzo IP dinamico di un calcolatore occorre digitare, dal prompt del DOS, il comando *ipconfig*_[DET – FIPB 0502].

Noto l'indirizzo IP di ARPAWORK, è possibile connettersi alla cartella condivisa FI-PBW a Piombino, digitando l'IP nella casella di testo “Cartella” della finestra “Connetti unità di rete”.

A connessione avvenuta, l'operatore a Prato è libero di trasferire file dal computer ARPAWORK al computer MAREWORK, e viceversa.

10 ORGANIZZAZIONE DELL'ARCHIVIO IMMAGINI DI PRODOTTI OTTENUTI

Il monitoraggio in continuo del mare dell'Arcipelago Toscano e della Toscana in generale, ha posto l'esigenza di come organizzare i dati ricevuti da satellite e i dati ottenuti dalle elaborazioni effettuate, sia alla stazione di Ricezione Satelliti di Prato, che al Laboratorio di Telerilevamento ARPAT – Area Mare a Piombino dove è attiva un'unità per l'elaborazione distribuita dei dati (vedi Capitolo 14). La soluzione adottata per i file grezzi è descritta di seguito, mentre in Fig. 10.1 sono visualizzate le connessioni tra i computer utilizzati dalla procedura stessa.

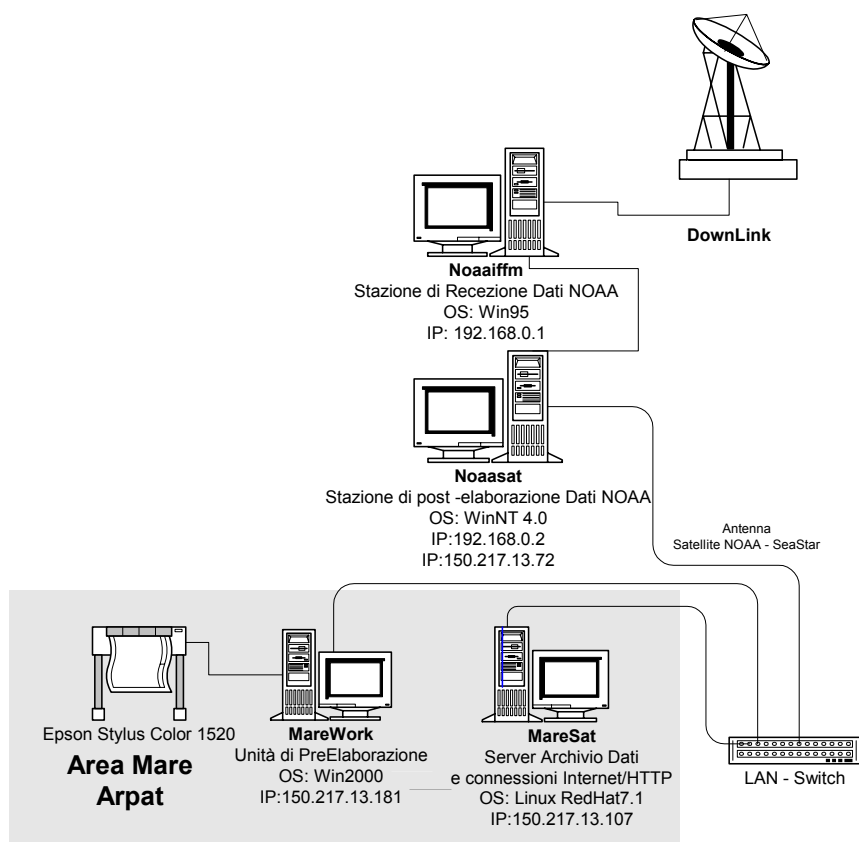


Fig. 10.1 Particolare della rete di computer presenti alla Stazione di Ricezione Satelliti del Polo Universitario di Prato coinvolti nella procedura di salvataggio dei file grezzi NOAA

I file grezzi ricevuti in stazione sono inizialmente registrati nel computer NOAAIFFM, dedicato alla gestione del sistema di ricezione dati satellitari e al salvataggio dei dati ricevuti, successivamente trasferiti automaticamente al computer NOAASAT. Qui vi è installato la parte server del software TECNAVIA dedicato alla gestione dei file ricevuti e all'aggiornamento su NOAAIFFM dei parametri di ricezione del satellite. L'archiviazione dei file acquisiti avviene secondo la seguente procedura giornaliera (anche se la stazione ha attualmente la possibilità di registrare fino a 6 giorni consecutivi di passaggi): i file vengono copiati dalla cartella \\Noaasat\data\rawhrpt alla cartella \\Marework\mastercd\noa, raccolti in file di archivio compressi (formato *.zip) e memorizzati su supporti ottico CD-ROM etichettati con un numero progressivo di stazione (si aggiorna ad ogni CD-Dati prodotto dalla stazione). I dati generali relativi ai file archiviati (nome file, satellite, data ed ora passaggio [Pellegrini 01], QuickLook [Pellegrini-2 01]) vengono raccolti in rapporti di stazione e periodicamente pubblicati.

I dati prodotti dall'elaborazione dei file grezzi NOAA (vedi Capitolo 14) vengono memorizzati in apposite cartelle create nella directory \\marework\registra\ su MAREWORK. I riferimenti al file grezzo elaborato ed ai file prodotti vengono memorizzati su di un archivio sviluppato su piattaforma Linux-MYSQL attivo sul server MARESAT. La struttura delle tabelle è riportata in Fig. 10.2, e mostra i dati salvati, ovvero il file grezzo elaborato, il nome del satellite che lo ha trasmesso, l'ora UTC della prima linea acquisita stimata correttamente, l'elenco dei file prodotti dall'elaborazione, il formato geografico di elaborazione ed i parametri di correzione. Inoltre sono memorizzate le caratteristiche generali relative ai QuickLook ottenuti da tutti i passaggi utili nelle ricerche di possibili altre immagini da elaborare. Nello schema sono rappresentate anche le relazioni che legano le varie tabelle, indicandone il tipo.

I risultati delle elaborazioni possono essere interrogati utilizzando apposite procedure. Un esempio delle possibili ricerche è riportato di seguito ed implementato dal software XPRESSRAW sviluppato nel corso del presente progetto. Una ricerca dei file prodotti (Fig. 10.3) può essere fatta per:

- formato file;
- file grezzo;
- tipo file;
- formato geografico.

La ricerca, nel database, dei file grezzi (Fig. 10.4) può essere fatta per:

- satellite;
- data.

Scelte le caratteristiche dei file, in un'apposita griglia vengono visualizzati i nomi dei file presenti in archivio.

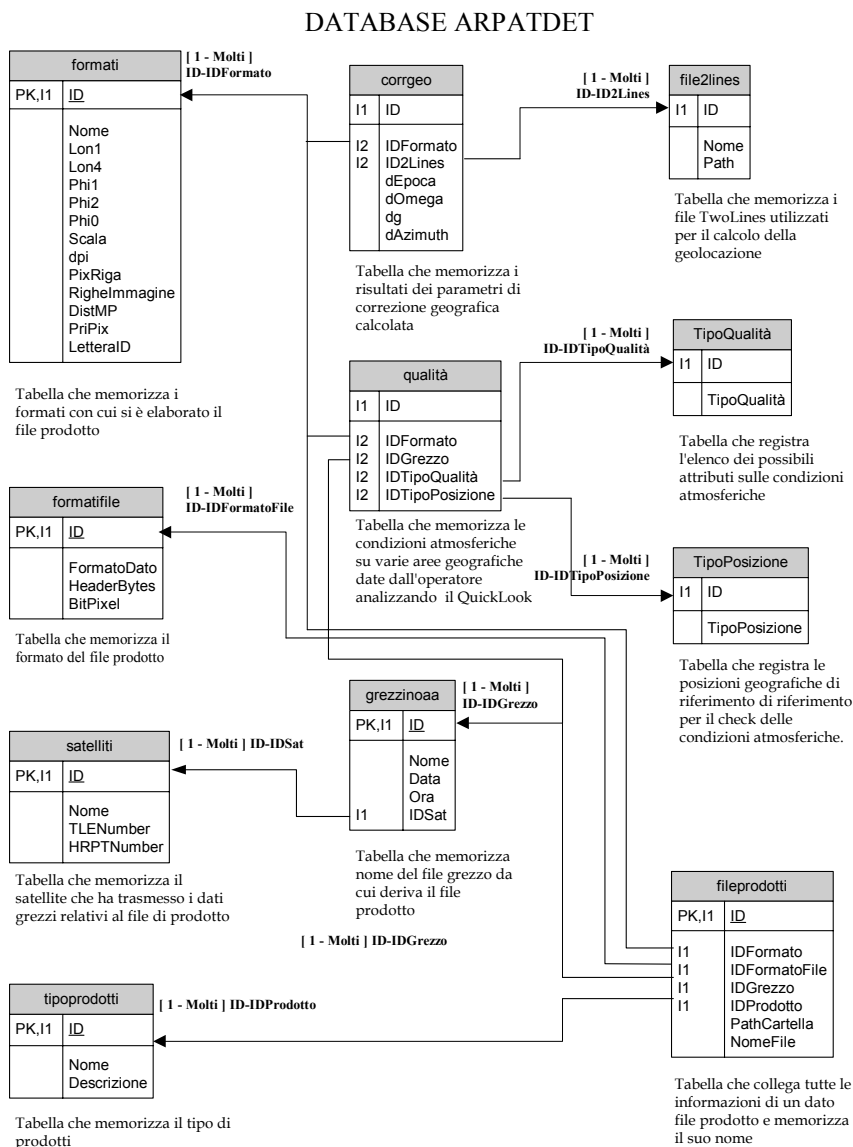


Fig. 10.2 Schema delle relazioni tra le tabelle che costituiscono l'archivio ARPATDET adibite alla memorizzazione dei dati e dei risultati delle elaborazioni effettuate nell'ambito di questo progetto

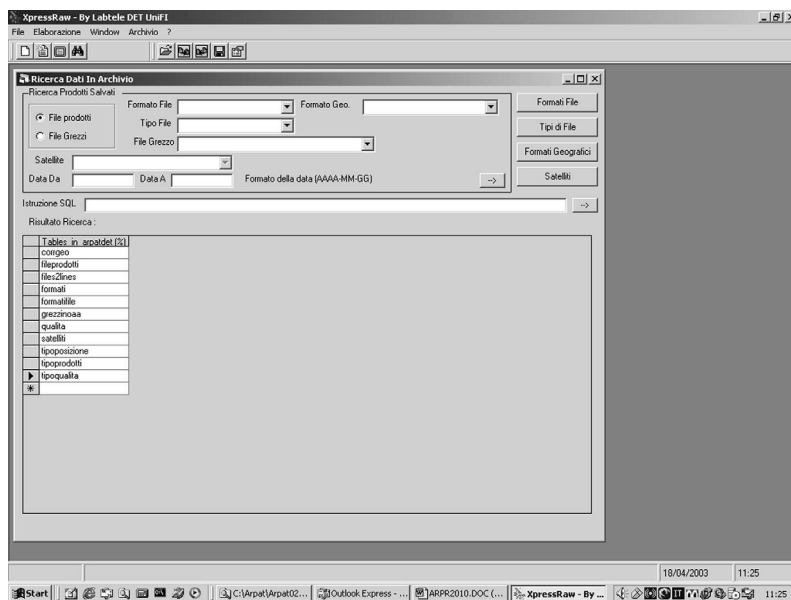


Fig. 10.3 Finestra per la ricerca per prodotti, dei file NOAA elaborati

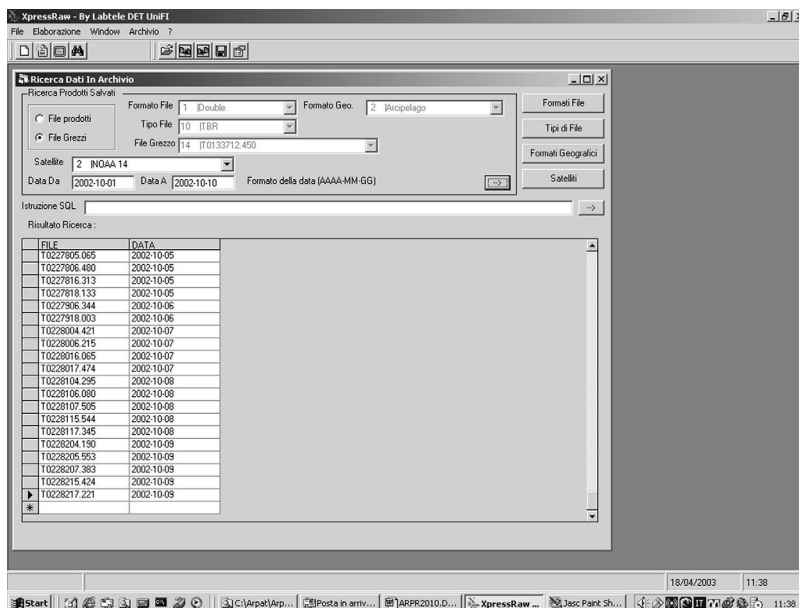


Fig. 10.4 Finestra per la ricerca per file grezzi, dei file NOAA elaborati

11 INTEGRAZIONE DEI DATI DA SATELLITE CON I RILIEVI OPERATI DAL BATTELLO OCEANOGRAFICO POSEIDON DI ARPAT

ARPAT - Area Mare a Piombino svolge regolarmente delle campagne di misurazione di parametri ambientali marini, anche direttamente in mare, con l'ausilio del battello oceanografico Poseidon (Fig. 11.1), per il controllo di acqua, plancton, benthos biota e sedimenti. I dati vengono raccolti tramite dei transetti, con le relative stazioni di rilevamento, posti a una distanza dalla costa generalmente di 500, 1000, 2000 e 3000 metri, per una profondità massima non superiore a 50 metri e con un passo di 1 m. Il numero delle stazioni di rilevamento è stato regolato dal Decreto Legge 979 del 1982, e poi successivamente dal Decreto Legge 152 del 1999 [Bucci 02].



Fig. 11.1 Battello oceanografico Poseidon. Impegnato regolarmente da ARPAT per svolgere campagne di misurazione di parametri ambientali marini nell'Arcipelago Toscano

In questo modo è possibile ricostruire in maniera sufficientemente fedele l'andamento dei vari parametri ambientali marini al variare della profondità e della distanza dalla costa. Infatti il sistema dei transetti, se applicato ad esempio in

prossimità della foce di un fiume, è in grado di monitorare la dispersione in mare dei sedimenti dovuti al dilavamento fluviale, oppure la variazione dello stato trofico causata appunto da eventuali sostanze nutrienti presenti nel fiume.

Le misurazioni, eseguite dal 1997, sono state informatizzate in un database di parametri ambientali marini (Tab. 11.1), al fine di poter monitorare e documentare la storia dello stato dell'ecosistema marino delle coste toscane [Bucci 02].

Le misurazioni relative all'intervallo temporale 1997-2001, sono state inoltre trasmesse alla Stazione di Ricezione Satelliti PIN di Prato, per il calcolo dei coefficienti di calibrazione impiegati negli algoritmi per l'elaborazione delle immagini ricevute dai satelliti della serie NOAA. Questo ha consentito di adattare il modello di calcolo della temperatura superficiale del mare alle particolarità geografiche e climatiche della costa toscana.

Parametro ambientale rilevato	Unità di misura
Profondità	Metri [m]
Temperatura	Gradi Celsius [°C]
Conducibilità	MilliSiemens / cm [mS/cm]
Salinità	Parti per mille [ppm]
pH	Numero puro
O ₂ _percent	In percentuale [%]
O ₂ _ppm	Parti per mille [ppm]
Sigma	Numero puro
Chl-a	Microgrammi / litro [µg/l]
Sound-V	Numero puro
Azoto Totale	Micromoli/litro [µmole/l]
Ammoniacca	Micromoli/litro [µmole/l]
Nitrati	Micromoli/litro [µmole/l]
Nitriti	Micromoli/litro [µmole/l]
Fosforo Totale	Micromoli/litro [µmole/l]
Fosfati	Micromoli/litro [µmole/l]
Silicati	Micromoli/litro [µmole/l]
Trasparenza	Metri [m]
Torbidità	Unità di formazina [TFU]
Enterococchi	Dato non archiviato

Tab. 11.1 *Parametri ambientali marini misurati nell'acqua dal battello oceanografico Poseidon durante il monitoraggio lungo la costa Toscana*

11.1 Database dati verità a mare lungo le coste toscane (misure ARPAT) disponibile alla Stazione Ricezione Satelliti PIN di Prato

I valori dei parametri ambientali marini rilevati da ARPAT, durante le campagne di monitoraggio (viene qui evidenziato il periodo tra il 1997 ed il 2001) sono stati raccolti alla Stazione di Ricezione Satelliti di Prato in un unico database (denominato “archarp.mdb”), organizzato in quattro tabelle di due diversi tipi.

Due denominate “anno01” e “anno97/98” che riportano tutti i parametri ambientali marini rilevati, mentre le altre due denominate “trans01” e “trans97/00” riportano le coordinate geografiche delle stazioni di misurazioni.

Poiché le coordinate geografiche delle Stazioni di Rilevamento fanno riferimento all’ellissoide Roma40, si è resa necessaria una conversione in ellissoide WGS84 (Tab. 11.2). In questo modo le coordinate geografiche delle stazioni di misurazione sono state rese compatibili con l’attività di calibrazione del sistema di elaborazione digitale delle immagini satellitari.

Tabella “anno01”: riporta tutti i dati misurati dalle stazioni di rilevamento, in accordo col Decreto Legislativo 152 del 1999, dei vari transetti durante la campagna di misurazione svoltasi dal 05/06/2001 al 22/11/2001. In totale ci sono 4760 record (rilevamenti).

Tabella “anno97/98”: contiene i valori dei parametri ambientali marini rilevati nelle stazioni di rilevamento, in accordo con la Legge 979 del 1982, dei vari transetti durante la campagna di misurazioni dal 09/12/1997 al 04/03/1998. Sono presenti 22157 misurazioni.

Nome Siti	Codice Siti 2001 (per siti posti a 3 km dalla costa)	Longitudine WGS84	Latitudine WGS84
Ansedonia	AS30	11°15'.0720 E	42°24'.9670 N
Cala Forno	CF30	11°03'.0273 E	42°37'.0014 N
Carbonifera	CR30	10°40'.2730 E	42°55'.4240 N
Cinquale	CN30	10°06'.7255 E	43°57'.6140 N
Elba - Mola	ML30	10°23'.8657 E	42°45'.6166 N
Fiume Morto	FM30	10°14'.0217 E	43°44'.0667 N
Foce Arno	FA30	10°14'.2012 E	43°40'.9636 N
Foce Ombrone	FO30	10°59'.3102 E	42°38'.0554 N
Livorno	LV30	10°15'.7324 E	43°31'.5973 N
Marina di Castagneto	CS30	10°29'.9517 E	43°11'.1705 N
Nettuno	NT30	10°12'.2570 E	43°51'.4010 N
Rosignano Lillatro	RL30	10°23'.8605 E	43°22'.7510 N
Campese (Is. Giglio)	GI30	10°51'.9850 E	42°22'.0840 N
Punta Secca (Is. Giannutri)	IG30	11°06'.4560 E	42°15'.7230 N
Stazione Profonda (al largo dell'Argentario)	BI30	10°50'.9850 E	42°14'.0390 N

Tab. 11.2 *Elenco dei siti ARPAT di misurazione in mare, a 3000 m dalla costa ed a 0.5 m di profondità, con le relative coordinate geografiche in WGS 84*

Per ottimizzare l'uso del database nell'attività di calibrazione dell'algoritmo di elaborazione di immagini satellitari, sono state aggiunte delle colonne (vedi Tab. 11.3) alle tabelle originali.

Tabella "trans01": contiene i dati relativi alle 42 stazioni di rilevamento che hanno partecipato alla campagna di misure del 2001. Per ogni stazione di rilevamento dei vari transetti sono presenti i dati relativi alla longitudine e latitudine, alla distanza dalla costa ed il nome del luogo geografico nel quale si trova il transetto.

Tabella "trans97/00": contiene i dati delle 120 stazioni di rilevamento, ripartite sui vari transetti, che hanno fatto parte della campagna di misurazione svoltasi dal 09/12/1997 al 04/03/1998. Per ogni stazione di rilevamento dei vari transetti sono presenti i dati relativi alla longitudine, alla latitudine e alla distanza dalla costa ed il nome del luogo geografico che identifica il transetto.

Anche in questo caso, per ottimizzare l'impiego del database ARPAT nell'opera di calibrazione dell'algoritmo di elaborazione digitale di immagini satellitari sono state aggiunte delle colonne (vedi Tab. 11.6) alle tabelle in esame.

Nome della colonna aggiunta alla tabella “anno01” e “anno97/98”	Funzionalità della colonna aggiunta
ID	Chiave primaria che rappresenta un indice di riga che permette di individuare in maniera univoca ogni rilevamento presente nella tabella
Codice Stazione	Costituisce una corrispondenza rispettivamente tra le tabelle “anno97/98”, “anno01” (misurazioni) e le tabelle “trans97/98”, “trans01” (lista stazioni), al fine di migliorare la lettura dei dati e rendere possibile una ricerca dei dati rilevati stazione per stazione. La nomenclatura delle stazioni è diversa nella campagna di misurazione del 1997/1998 (vedi Tab. 11.4) rispetto a quella del 2001 (vedi Tab. 11.5).
Decreto Legislativo	Indica il criterio con cui è stata scelta la stazione di rilevamento. Questa colonna è stata aggiunta solo nella tabella “anno01”

Tab. 11.3 *Lista delle colonne, con relativa spiegazione, aggiunte dalla Stazione di Ricezione Satelliti PIN a Prato, alle tabelle “anno01” e “anno97/98” per ottimizzare l’uso del database ARPAT nell’attività di calibrazione dell’algoritmo di elaborazione digitale di immagini satellitari*

Stringa	Spiegazione dei caratteri della stringa
012E0230	Stringa alfanumerica
012	Numero della campagna di misurazione
E	Tipo di campagna (M = monitoraggio oppure E = eutrofizzazione)
02	Codice della stazione di rilevamento
30	Distanza dalla costa in m x100

Tab. 11.4 *Spiegazione della stringa di esempio 012E0230 della colonna Stazione della tabella “anno97/98”, che contiene le informazioni riguardanti la stazione di rilevamento e le condizioni ed i tempi nei quali è avvenuta la misurazione*

Stringa	Spiegazione dei caratteri della stringa
06AWFM05	Stringa alfanumerica
06	Mese della campagna di misurazione
A	Numero della campagna di misurazione (A = 1° oppure B = 2°)
W	Water, indica l'ambiente di rilevamento
FM	Codice di riconoscimento della stazione
05	Indica la distanza in metri x 100 dalla costa della stazione di rilevamento

Tab. 11.5 *Spiegazione della stringa di esempio 06AWFM05 della colonna Stazione della tabella “anno01”, che contiene le informazioni riguardanti la stazione di rilevamento e le condizioni ed i tempi nei quali è avvenuta la misurazione*

Nome della colonna aggiunta dalla Stazione di Ricezione Satelliti PIN di Prato alle tabelle “anno01” e “anno97/98”	Funzionalità della colonna aggiunta
ID	Chiave primaria che rappresenta un indice di riga che permette di individuare in maniera univoca ogni rilevamento presente nella tabella
Lon. WGS84 Lat. WGS84	Uniforma le coordinate geografiche delle stazioni di rilevamento ARPAT, espresse in Roma40, con i programmi di calcolo della Stazione di Ricezione Satelliti PIN, che operano con coordinate geografiche espresse sulla base del geoide WGS84. La trasformazione da coordinate in Roma40 (usate da ARPAT) in coordinate WGS84 è stata fatta con una formula empirica.

Tab. 11.6 *Lista delle colonne, con relativa spiegazione, aggiunte dalla Stazione di Ricezione Satelliti PIN a Prato, alle tabelle “trans01” e “trans97/98” per ottimizzare l’uso del database ARPAT nell’attività di calibrazione dell’algoritmo di elaborazione digitale di immagini satellitari*

Nome della stazione	Nome del transetto	Distanza dalla costa [m]					
		100	200	500	1000	2000	3000
CN05, CN10, CN30	Cinquale			X	X		X
NT05, NT10, NT30	Nettuno			X	X		X
FA05, FA10, FA30	Foce Arno			X	X		X
LV02, LV10, LV30	Livorno		X		X		X
RL05, RL10, RL30	Rosignano-Lillatro			X	X		X
ML05, ML10, ML30	Elba-Mola			X	X		X
CF05, CF10, CF30	Cala Forno			X	X		X
AS10, AS30	Ansedonia				X		X
FM05, FM10, FM30	Fiume Morto			X	X		X
AT01, AT10, AT22	Antignano	X			X	X	
CS05, CS10, CS30	Marina di Castagneto			X	X		X
CR05, CR10, CR30	Carbonifera			X	X		X
EB01, EB10, EB20	Elba Nord (Bianco)	X			X	X	
FO05, FO10, FO30	Foce Ombrone			X	X		X

Tab. 11.7 *Nomi delle stazioni di misurazione, relative alla colonna Codice Stazione della tabella “trans01”, con la distanza dalla costa e il relativo transetto di appartenenza, in riferimento alla campagna di misurazione svolta nel 2001*

Nome della stazione	Nome del transetto	Distanza dalla costa [m]					
		100	200	500	1000	2000	3000
1401, 1405, 1410	Baratti	X		X	X		
2902, 2910, 2930	Cala Galera		X		X		X
3002, 3010, 3030	Canale Ansedonia		X		X		X
0102, 0110, 0130	Carrione		X		X		X
1202, 1210, 1230	Castagneto		X		X		X
3301, 3305, 3310	Cavo	X		X	X		
1102, 1110, 1130	Cecina		X		X		X
3801, 3802, 3805	Chiessi	X	X	X			
0202, 0210, 0230	Cinquale		X		X		X
0602, 0610, 0630	Foce Arno		X		X		X
2102, 2110, 2130	Foce Bruna		X		X		X
1802, 1810, 1830	Follonica Gora		X		X		X
1501, 1505, 1510	Fosso alle Canne	X		X	X		
2202, 2210, 2230	Fosso San Rocco		X		X		X
3701, 3705, 3710	Golfo di Campo	X		X	X		
4001, 4005, 4010	Golfo di Procchio	X		X	X		
3601, 3605, 3610	Golfo Stella	X		X	X		
2002, 2010, 2030	Hidalgo		X		X		X
2102, 2110, 2130	Foce Bruna		X		X		X
2202, 2210, 2230	Fosso San Rocco		X		X		X
2302, 2310, 2330	Foce Ombrone		X		X		X
2402, 2410, 2430	Poggio dell'Uccellina		X		X		X
2502, 2510, 2530	Spiaggia Fertilia		X		X		X
2602, 2610, 2630	Foce Albegna		X		X		X
2701, 2705, 2710	Porto S. Stefano	X		X	X		
2801, 2805, 2810	Isola Rossa	X		X	X		
2902, 2910, 2930	Cala Galera		X		X		X
3002, 3010, 3030	Canale Ansedonia		X		X		X
3102, 3110, 3130	Lago Burano		X		X		X
3201, 3205, 3210	Porto Ferraio	X		X	X		
3301, 3305, 3310	Cavo	X		X	X		
3401, 3405, 3410	Porto Azzurro	X		X	X		
3501, 3505, 3510	Punta Rossa	X		X	X		
3601, 3605, 3610	Golfo Stella	X		X	X		
3701, 3705, 3710	Golfo di Campo	X		X	X		
3801, 3802, 3805	Chiessi	X	X		X		
3901, 3902, 3904	S. Andrea	X	X		X		
4001, 4005, 4010	Golfo di Procchio	X		X	X		

Tab. 11.8 *Nomi delle stazioni di misurazione, relative alla colonna Codice Stazione della tabella “trans97/00”, con la distanza dalla costa ed il relativo transetto di appartenenza; in riferimento alla campagna di misurazione svoltasi tra il 1997 ed il 1998*

12 CALCOLO DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE (SST)

La temperatura superficiale del mare (SST – *Sea Surface Temperature*) è uno dei parametri più importanti che influenzano il clima di una regione costiera, ma che a sua volta è controllata dalle condizioni meteorologiche.

I calcoli della SST fatti sui rilevamenti del sensore a infrarossi AVHRR (*Advance Very High Resolution Radiometer*) possono essere sviluppati secondo molti e sofisticati algoritmi. Essi comunque si basano tutti sulla temperatura di brillantezza rilevata dal sensore satellitare nelle diverse bande e su un insieme di coefficienti. La tecnica MCSST (*Multi Channel Sea Surface Temperature*) [Emery 94] è la più diffusa, in quanto fornisce una relazione di tipo lineare tra la temperatura superficiale marina e la temperatura di brillantezza misurata dal sensore AVHRR a bordo del satellite.

Algoritmo MCSST [Emery 94]:

$$SST = aT_{b4} + b(T_{b4} - T_{b5}) + c \quad (12.1)$$

dove:

- SST [K] temperatura superficiale del mare in gradi Kelvin;
- T_{b4} [K] temperatura di brillantezza rilevata sul canale 4 del sensore AVHRR;
- T_{b5} [K] temperatura di brillantezza rilevata sul canale 5 del sensore AVHRR;
- a coefficiente che di norma assume valore unitario o comunque molto vicino all'unità;
- b coefficiente di assorbimento differenziale che tiene conto della diversa trasmittanza attraverso l'atmosfera dei due canali 4 e 5 del sensore AVHRR;
- c [K] parametro, che tiene conto del fatto che si hanno due valori differenti di emissività per le due differenti lunghezze d'onda dei canali 4 e 5 del sensore AVHRR;

I coefficienti a e c svolgono un ruolo fondamentale nel calcolo della SST [Minnet 90] [Monaldo 96], perché è proprio su questi due coefficienti che si basa la calibrazione dell'algoritmo MCSST; essi sono stati stimati tramite accurate misurazioni in situ della temperatura superficiale marina.

Il coefficiente di assorbimento differenziale b invece dipende sia dalla trasmittanza che dalla latitudine.

Nella presente attività questi coefficienti sono stati ricalcolati per adottare l'espressione (12.1) alla situazione regionale di interesse, rappresentata dai mari della Toscana (vedi paragrafo seguente).

12.1 Algoritmo di calibrazione per il programma di calcolo della Temperatura Superficiale del Mare

La procedura di messa a punto per l'adattamento su scala regionale consiste nel calcolare i coefficienti a , b , c , della formula della SST, relativa all'algoritmo MCSST (Fig. 12.1) conoscendo i valori di temperatura del mare, raccolti in situ in una serie di punti verità, e i valori di temperatura di brillanza rilevati dal satellite in corrispondenza degli stessi punti. In questo modo, calcolando la SST specificatamente per i punti verità e minimizzando l'errore quadratico medio compiuto nel calcolo della SST stessa, è possibile stimare una nuova terna di coefficienti; che possano adattare al meglio l'algoritmo di calcolo della SST alle peculiarità climatiche e ambientali dell'Arcipelago Toscano.

Il programma usato per la calibrazione locale dell'algoritmo MCSST opera ricalcolando i dati ricevuti dal satellite relativi ai punti sui quali si dispone di misure locali di temperatura marina, assumendo per i parametri di Emery [Emery 94] valori inclusi nell'intervallo $\pm 50\%$ del valore nominale di a , b e c (Tab. 12.1).

I valori sono presi in modo discreto ad intervalli del 10% del valore nominale, da cui risulta:

$a = 0.51850,$	$0.82960,$	$0.93330, \dots,$	1.55555
$b = 0.5785,$	$0.69420,$	$0.80990, \dots,$	1.73550
$c = -13.92,$	$-12.992,$	$-12.064, \dots,$	-4.64

Così facendo si ottengono 11 valori per ogni coefficiente di Emery, che danno origine a $11^3 = 1331$ terne di coefficienti a , b , c (Fig. 12.1).

Il programma ha in ingresso un file di configurazione *Temper.cfg*, i file di Temperatura di Brillanza dei canali 4 e 5 del sensore AVHRR, ed infine il file *ES01TS.db* con i dati delle misure locali per ogni punto verità a mare (coordinate geografiche, temperatura del mare, data e ora del rilevamento, corrispondente file satellitare di temperatura di brillanza).

Per ogni punto verità a mare, dopo la conversione della longitudine in primi di longitudine e della latitudine in parti meridionali di Mercatore, il programma calcola la posizione in pixel, a partire dalla posizione geografica di ogni punto verità a mare nel formato geografico, ad esempio "Arcipelago 02" (vedi Fig. 3.6).

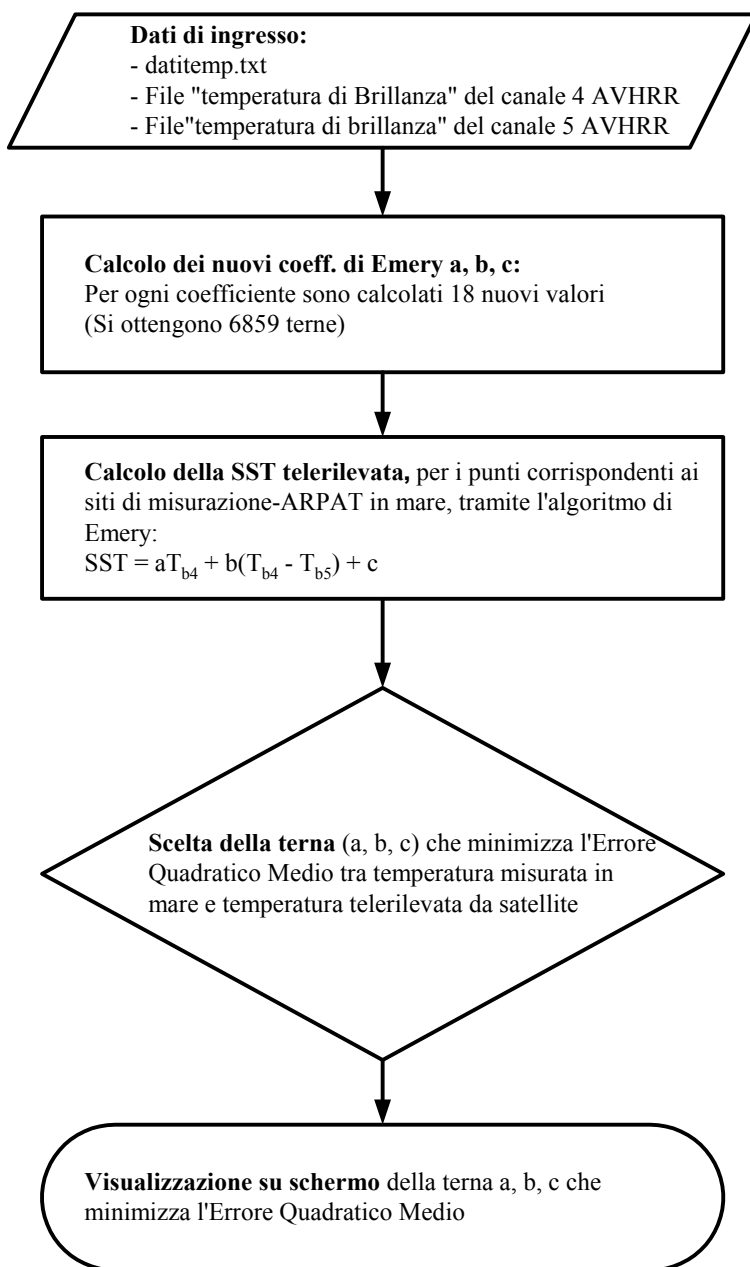


Fig. 12.1 Schema dell'algoritmo di calibrazione, del programma TempCoeff, per la calibrazione su scala regionale dell'algoritmo MCSST

Da tener presente che i dati della SST (temperatura dell'acqua dello strato a contatto con l'atmosfera T_{skin}) sono stati riportati alla temperatura a 0.5 m (più in generale le temperature degli strati sottostanti sono dette T_{bulk}) considerando una aumento che nel periodo estivo vale 0.7 K [Emery, 96].

La differenza tra T_{skin} e T_{bulk} è molto variabile ed è stata quantificata in un insieme di valori compresi tra -1.0 K e 1.0 K [Emery 96] [Wick 00]. Ci sono molti fattori che determinano questa differenza di temperatura, ma i principali sono la velocità del vento e la quantità di radiazione solare [Emery 96]. Nei mesi estivi infatti la massiccia esposizione alle radiazioni solari della superficie del mare causa un abbassamento della SST di circa 0,7 K rispetto alla temperatura dello strato sottostante. Tale diminuzione della T_{skin} è causata dal forte scambio di calore (e dall'evaporazione) con lo strato di aria soprastante. La temperatura degli strati d'acqua sottostante invece si mantiene costante (si registra un cambiamento solo a livello della seconda cifra decimale) fino ad una profondità di circa 2,5 metri [Montanari 00].

Il processo viene ripetuto per tutti i punti verità a mare disponibili. L'algoritmo realizzato utilizza le temperature di brillantezza dei canali 4 e 5 del sensore AVHRR dei pixel corrispondenti ai punti verità a mare, per calcolare la temperatura superficiale del mare (SST) (e da questa la temperatura a 0.5 m di profondità), con l'algoritmo della SST sfruttando le 1331 terne dei parametri assunti. Per ogni terna viene calcolato l'errore quadratico medio rispetto al valore vero misurato a mare, e individuata la terna che produce il minor errore quadratico medio. I risultati principali dell'elaborazione sono memorizzati in un file d'uscita.

12.2 Passaggi dei satelliti della serie NOAA che distano al massimo due ore dal rilevamento in mare svolto da ARPAT

Consultando il database dei rilevamenti svolti da ARPAT in mare nel periodo tra il 1 giugno ed il 22 novembre 2001, sono stati estratti tutti quelli effettuati a 3000 m dalla costa ed a 0.5 m di profondità ai quali corrispondeva almeno un passaggio buono, per condizioni meteo e per posizione dell'Arcipelago Toscano nell'area di copertura del sensore, dei satelliti NOAA, che distassero, in ordine di tempo, al massimo 2 ore circa dal rilevamento in mare (Tab. 12.2).

Quindi con le immagini satellitari risultate idonee alla comparazione con i dati verità a mare di ARPAT è stata svolta un'attività di calibrazione dell'algoritmo MCSST (vedi paragrafo precedente) per il calcolo della temperatura superficiale del mare. Da questa attività è scaturita una nuova terna di coefficienti di Emery (Fig. 12.1), che ha fatto registrare un'apprezzabile diminuzione dell'errore quadratico medio (Fig. 12.2, Fig. 12.3 e Tab. 12.1) compiuto dall'algoritmo MCSST nel calcolo della temperatura superficiale del mare.

Coefficienti di Emery	Coefficienti calcolati da programma
a = 1.037	a = 1.037
b = 1.157	b = 0.927
c = -9.28	c = -9.780
Errore quadr. medio = 0.535607K	Errore quadr. medio = 0.353406K

Tab. 12.1 Risultati della calibrazione dell'algoritmo MCSST ottenuti tramite l'uso del programma TempCoeff, in riferimento alle misurazioni effettuate a 3000 m dalla costa ed a 0.5 m di profondità ed utilizzando i passaggi dei satelliti NOAA che distano al massimo, in ordine di tempo, 2 ore circa dalla misurazione in situ

Rilevamenti ARPAT in mare					Passaggi dei satelliti della serie NOAA entro 2 ore dai rilevamenti svolti in mare da ARPAT	
Codice Siti 2001 a 3 km dalla costa	Siti di rilevazione ARPAT in mare	Temp. rilevata a 0.5 m [°C]	Ora rilev. ARPAT [UTC]	Data rilev. ARPAT	File HRPT	Ora passaggi o sat [UTC] ¹
CR30	Carbonifera	23.9	14:59	03.07.2001	T0118416.333	16:33
FM30	Fiume Morto	25.2	13:49	04.07.2001	T0118514.405	14:40
LV30	Livorno	24.3	12:16			
NY30	Nettuno	25.2	14:54			
CN30	Cinquale	24.9	15:41			
FA30	Foce Arno	25.1	13:16			
FO30	Foce Ombrone	20.9	09:01	01.08.2001	T0121307.422	06:42
FM30	Fiume Morto	26.5	14:11	02.08.2001	T0121415.341	15:34
FA30	Foce Arno	26.9	13:11		T0121417.423	17:42
NT30	Nettuno	26.7	15:24			
FO30	Foce Ombrone	24.5	13:40	23.08.2001	T0123514.434	14:43
FO30	Foce Ombrone	22.7	11:23	06.09.2001	T0124913.114	13:11
FA30	Foce Arno	20.7	10:07	19.09.2001	T0126212.351	12:35
LV30	Livorno	21.5	11:21			
CS30	Marina di Castagneto	21.5	13:44	19.09.2001	T0126216.002	16:00
CR30	Carbonifera	20.9	15:33	20.09.2001	T0126315.481	15:48

Nota¹: L'ora UTC del passaggio satellitare, che dura circa 15 minuti, è da intendersi come l'ora di inizio dell'archiviazione su disco rigido del file inviato dal satellite.

Tab. 12.2 Passaggi utilizzabili dei satelliti della serie NOAA che distano al massimo, in ordine di tempo, 2 ore circa dal rilevamento in mare effettuato da ARPAT a 3000 m dalla costa a 0.5 m di profondità. Le misurazioni si riferiscono al periodo che va dal 1 giugno al 22 novembre 2001

Variazione dell'Errore Quadratico Medio compiuto nel calcolo della SST con la formula di Emery

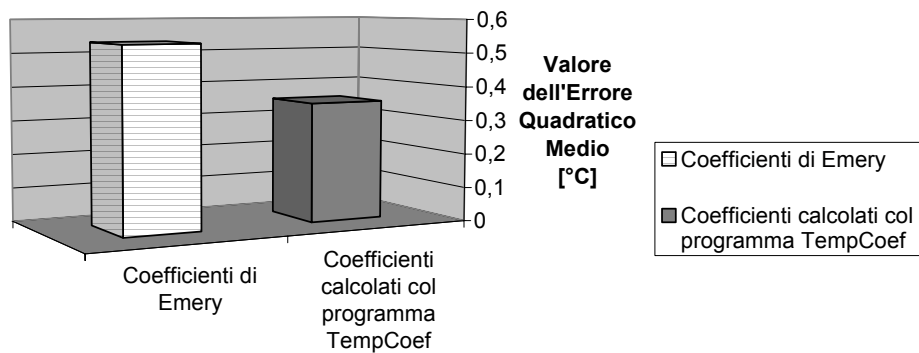


Fig. 12.2 Grafico della dinamica dell'Errore Quadratico Medio commesso durante il calcolo della SST, usando l'algoritmo MCSST, in base alla calibrazione effettuata col programma TempCoeff, in riferimento alle misurazioni effettuate a 3000 m dalla costa ed a 0.5 m di profondità ed utilizzando i passaggi dei satelliti NOAA che distano al massimo, in ordine di tempo, 2 ore circa dalla misurazione in situ

13 CALIBRAZIONE SU AREA REGIONALE (ARCIPELAGO TOSCANO) DELL'ALGORITMO SeaWiFS PER IL CALCOLO DELLA CONCENTRAZIONE DI CLOROFILLA- a (OC2V4)

Utilizzando i rilevamenti su mare di vari parametri ambientali, effettuati regolarmente da ARPAT – Area Mare di Piombino [Bucci 02], in particolare della concentrazione di clorofilla- a , è stata effettuata, per la zona dell'Arcipelago Toscano, una verifica sui valori di concentrazione di clorofilla- a ottenuti da dati SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*) attraverso l'algoritmo OC2V4 [O'Reilly 00]. E' stato inoltre sviluppato un metodo per la calibrazione dei coefficienti dell'algoritmo OC2V4 al fine di ottenere con esso una migliore stima della concentrazione di clorofilla- a nella regione dell'Arcipelago Toscano.

La calibrazione e la validazione dei dati di concentrazione di clorofilla calcolati da dati SeaWiFS viene regolarmente svolta su scala globale dalla NASA nell'ambito del progetto SeaWiFS; tra gli studi dei vari gruppi di ricerca che effettuano la validazione dei dati su scala locale è stato preso in considerazione uno studio sulla calibrazione dei coefficienti dell'algoritmo OC2V4 effettuato presso l'Istituto di Fisica dell'Atmosfera di Roma (IFA-CNR) sulla zona del Mar Mediterraneo [Santoleri 00].

I dati di clorofilla SeaWiFS sono stati ottenuti sotto forma di file binario, a partire dal files *hdf* SeaWiFS [HDF 03] con prodotti di livello 2, utilizzando il software NASA e successivamente sono stati interpolati (vedi Capitolo 17) nel formato "Arcipelago Toscano" utilizzando i programmi originali per l'elaborazione SeaWiFS [McClain 95].

Nello studio effettuato si vuole soprattutto mettere in evidenza il metodo seguito per effettuare il confronto tra i dati ARPAT e SeaWiFS e la calibrazione dell'algoritmo OC2V4.

13.1 Confronto tra i valori di clorofilla- a ottenuti dall'algoritmo SeaWiFS e le misure su mare effettuate da ARPAT

Il confronto dei valori di concentrazione di clorofilla- a ottenuti dall'elaborazione da dati SeaWiFS con i rilevamenti effettuati da ARPAT su mare nelle stazioni a 3000 m dalla costa e ad una profondità compresa tra 30 e 40 cm (Tab. 13.1) e la calibrazione dell'algoritmo di calcolo SeaWiFS (OC2V4) sono stati ottenuti utilizzando algoritmi e programmi software appositamente sviluppati. Inoltre è

stato utilizzato un software NASA per eseguire parte dell'elaborazione dei dati SeaWiFS.

Nel confronto effettuato tra i dati ARPAT e quelli SeaWiFS si riscontra che in alcuni casi i dati SeaWiFS si discostano sensibilmente dai rilevamenti ARPAT. Ciò può essere dovuto ai seguenti motivi:

- l'algoritmo OC2V4 effettua una stima della concentrazione di clorofilla-*a* con un errore del $\pm 30\%$ [O'Reilly 00];
- sono stati considerati i soli rilevamenti ARPAT eseguiti a una profondità compresa tra 30 e 40 cm, mentre la validazione ufficiale dei dati SeaWiFS viene effettuata considerando che la radianza emessa dall'acqua sia influenzata dal valore di concentrazione di clorofilla a varie profondità;
- è stato eseguito il confronto tra dati ARPAT e SeaWiFS acquisiti a distanza di 1 o 2 giorni, nell'ipotesi che la concentrazione di clorofilla-*a* non vari molto in questo arco di tempo.

Assumendo infatti quest'ultima ipotesi come vera, sono stati utilizzati anche rilevamenti ARPAT riferiti a giorni diversi da quelli di acquisizione dei dati SeaWiFS. I giorni su cui effettuare le elaborazioni sono stati scelti in corrispondenza dei rilevamenti ARPAT e con la presenza simultanea (o al limite differita di qualche giorno) dei passaggi del SeaWiFS e dei satelliti NOAA.

Confronto tra misure di concentrazione di clorofilla-<i>a</i>	
Dati ARPAT - Area Mare	Misure effettuate presso le stazioni di rilevamento a 3000 m dalla costa ad una profondità compresa tra 30 e 40 cm
Dati SeaWiFS	Files raster binari (<i>baagggghh.BKn</i>) ottenuti a partire dal files <i>hdf</i> SeaWiFS con prodotti di livello 2, utilizzando il software NASA (SeaDAS,) e successivamente interpolati nel formato Arcipelago Toscano utilizzando i programmi originali per l'elaborazione SeaWiFS

Tab. 13.1 *Dati di concentrazione di clorofilla-a (ARPAT e SeaWiFS) utilizzati per il confronto e la validazione dell'algoritmo SeaWiFS di calcolo della clorofilla (OC2V4)*

In tutto sono quindi disponibili per il confronto e la validazione SeaWiFS i dati di 20 stazioni di rilevamento ARPAT: di queste ne sono state selezionate 13 (quelle entro la zona geografica interessata dal formato Arcipelago Toscano) i cui valori sono stati messi in confronto con i valori di concentrazione di clorofilla-*a* calcolati con l'algoritmo OC2V4 (vedi formula 13.1 e Tab. 13.2). La Fig.13.1 mostra la disposizione delle stazioni di misura scelte.

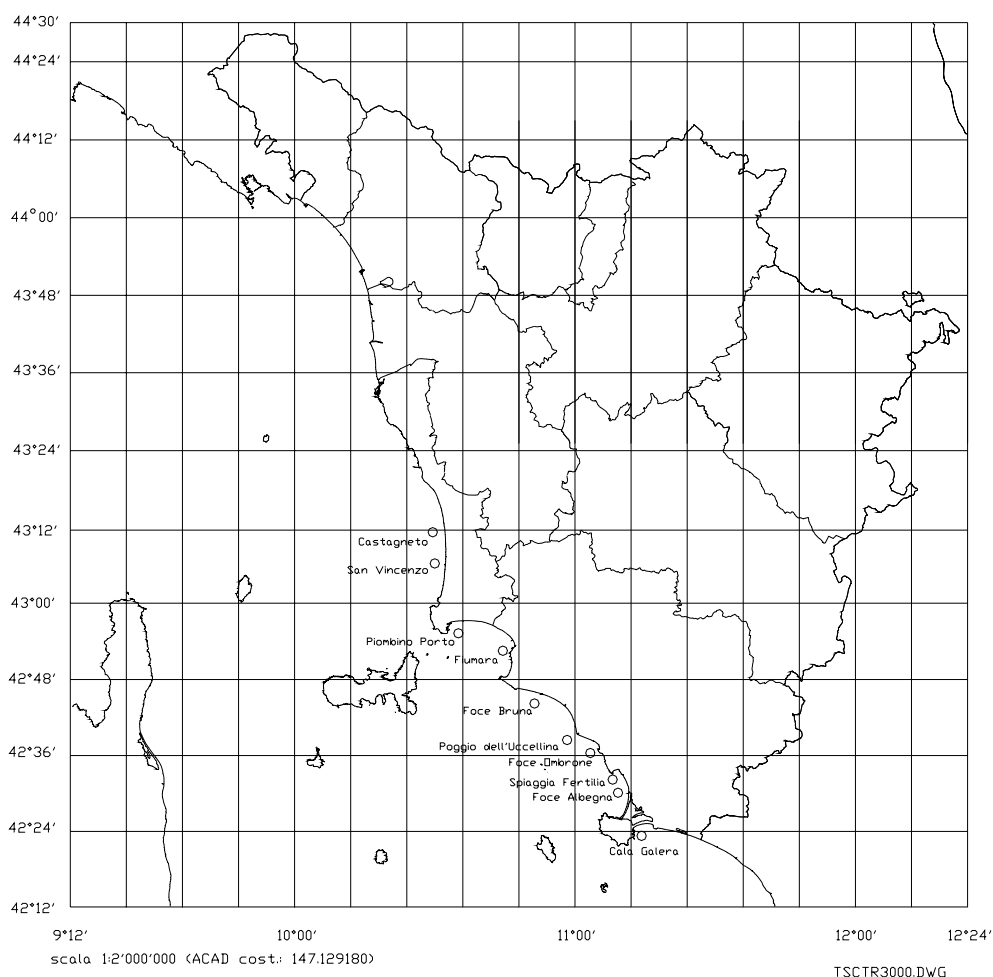


Fig. 13.1 Stazioni di rilevamento ARPAT a 3000 metri dalla costa scelte per la calibrazione dell'algoritmo OC2V4

Dal confronto effettuato tra i dati SeaWiFS e ARPAT si nota, senza considerare i valori più distanti tra loro, che l'algoritmo OC2V4, con i coefficienti proposti dal documento ufficiale NASA [O'Reilly 00], sovrastima la concentrazione di clorofilla-*a*.

L'esito del confronto è in accordo con quanto osservato nell'ambito del bacino del Mediterraneo da uno studio analogo dell'Istituto di Fisica dell'Atmosfera (IFA-CNR) di Roma [Santoleri 00].

Rrs_490 [sr⁻¹] (riflettanza al sensore banda 3)	Rrs_555 [sr⁻¹] (riflettanza al sensore banda 5)	R_{2S} [adimensionale] (vedi formula 13.2)	Chl-a [µg/l] (rilevamento ARPAT)	Chl-a [µg/l] (algoritmo OC2v4 con coeff. nominali [O'Reilly 00] (vedi formule 13.3 – 13.7)
0.006372	0.00901	-0.150424	1.37	4.84
0.013362	0.015697	-0.069957	0.64	3.00
0.011247	0.012522	-0.046641	0.85	2.62
0.014493	0.014168	0.009832	1.50	1.91
0.010366	0.009922	0.018999	0.81	1.81
0.007567	0.007181	0.022784	0.94	1.77
0.008183	0.006811	0.0797	0.38	1.30
0.006734	0.005555	0.083615	0.90	1.28
0.009421	0.007616	0.092378	0.34	1.22
0.009085	0.007261	0.097352	0.96	1.19
0.008781	0.006804	0.110776	0.76	1.11
0.006795	0.005193	0.116739	0.73	1.07
0.007012	0.00436	0.206321	0.64	0.68

Tab. 13.2 Valori selezionati, tra i 20 disponibili, per il confronto tra dati ARPAT e dati SeaWiFS ottenuti dall'algoritmo OC2v4 con coefficienti nominali (13.3 – 13.7) [O'Reilly 00]; sono indicati anche i valori di riflettanza al sensore e della grandezza R_{2S} calcolata con la (13.2)

13.2 Calibrazione dell'algoritmo SeaWiFS per il calcolo della clorofilla con metodo di minimo errore quadratico medio (LMSE)

I dati rilevati su mare nelle stazioni ARPAT situate a 3000 metri dalla costa (vedi Tab.11.2) sono stati utilizzati per la calibrazione dell'algoritmo SeaWiFS OC2v4 per il calcolo della concentrazione di clorofilla tipo a in mg m^{-3} .

L'algoritmo OC2v4 esegue i calcoli utilizzando formule in cui compaiono coefficienti numerici (13.1). La calibrazione effettuata consiste nella scelta, in base a misure effettuate in situ della grandezza telerilevata, della cinquina di coefficienti a_0, \dots, a_4 ottimi per il calcolo della clorofilla- a nella zona di mare dell'Arcipelago Toscano; i coefficienti ottimi cercati sono quelli che minimizzano l'errore quadratico medio tra la grandezza telerilevata e i dati verità costituiti dalle misure effettuate in situ (criterio LMSE).

La scelta dei coefficienti viene effettuata con il programma *ClorCoeff* [Bo-Cai 00].

L'algoritmo OC2V4 calcola la concentrazione di clorofilla-*a* in mg m^{-3} a partire dalla riflettanza al sensore (*remote sensing reflectance*) delle bande 3 - lunghezza d'onda centrale, 490 nm, $R_{rs}(490)$ - e 5 - lunghezza d'onda centrale 555 nm, ($R_{rs}(555)$) del sensore; la formula di calcolo è [O'Reilly 00]:

$$C_a = 10.0^{(a_0 + a_1 R_{2S} + a_2 R_{2S}^2 + a_3 R_{2S}^3)} + a_4 \quad [\text{mg m}^{-3}] \quad (13.1)$$

dove la grandezza R_{2S} è espressa in funzione delle riflettanze al sensore tramite:

$$R_{2S} = \log_{10} \frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \quad [\text{adimensionale}] \quad (13.2)$$

I dati di riflettanza al sensore (*remote sensing reflectance*) delle bande 3 e 5 SeaWiFS sono stati ottenuti sotto forma di due file binari, a partire dal file *hdf* [HDF 03] con prodotti di livello 2, utilizzando il software NASA e successivamente sono stati interpolati nel formato Arcipelago Toscano utilizzando i programmi originali per l'elaborazione SeaWiFS.

Come evidenziato dalla (13.1), il calcolo della concentrazione di clorofilla viene effettuato attraverso i coefficienti numerici (adimensionali) a_0, \dots, a_4 che, nel modello proposto da NASA [O'Reilly 00], assumono i valori:

$$a_0 = 0.319 \quad (13.3)$$

$$a_1 = -2.336 \quad (13.4)$$

$$a_2 = 0.879 \quad (13.5)$$

$$a_3 = -0.135 \quad (13.6)$$

$$a_4 = -0.071 \quad (13.7)$$

Per ognuno dei coefficienti a_0, \dots, a_4 ora elencati, sono stati generati altri 10 coefficienti; ogni coefficiente differisce sommando per 5 volte il 5% del valore del coefficiente originario allo stesso coefficiente trovato, partendo dal coefficiente originale (valore centrale calcolato); ad esempio, a partire dal coefficiente a_0 vengono generati i valori:

$$a_{0,-5} = a_0 - 5 \frac{5}{100} a_0 \quad a_{0,+5} = a_0 + 5 \frac{5}{100} a_0$$

$$a_{0,-4} = a_0 - 4 \frac{5}{100} a_0 \quad a_{0,+4} = a_0 + 4 \frac{5}{100} a_0$$

$$a_{0,-3} = a_0 - 3 \frac{5}{100} a_0 \quad a_{0,+3} = a_0 + 3 \frac{5}{100} a_0$$

$$a_{0,-2} = a_0 - 2 \frac{5}{100} a_0$$

$$a_{0,+2} = a_0 + 2 \frac{5}{100} a_0$$

$$a_{0,-1} = a_0 - \frac{5}{100} a_0$$

$$a_{0,+1} = a_0 + \frac{5}{100} a_0$$

$$a_{0,0} = a_0$$

Generati gli 11 nuovi coefficienti, per ognuno di quelli di partenza, vengono considerati tutte le 11^5 (= 161.051) possibili cinquine di coefficienti utilizzabili dall'algoritmo OC2V4 e, al variare di esse, vengono ricalcolati i valori di concentrazione di clorofilla-*a*; viene poi calcolato per ogni cinquina l'errore quadratico medio (13.8) tra i dati ricalcolati e i rilevamenti ARPAT.

$$Eq_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_{vi} - x_{mi})_j^2}{n}} \quad (13.8)$$

dove:

Eq_j errore quadratico medio relativo alla j -esima cinquina di coefficienti, $j = 1 \dots 18$;

x_{vi} concentrazione di clorofilla-*a* relativa all' i -esimo punto verità a mare, $i = 1 \dots n$;

x_{mi} concentrazione di clorofilla-*a* misurata da satellite relativa all' i -esimo punto verità a mare, $i = 1 \dots n$;

n numero totale di punti verità a mare disponibile.

I coefficienti ottimi determinati sono riportati insieme a quelli nominali [O'Reilly 00] nella Tab.13.3.

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Coefficienti nominali NASA [O'Reilly 00]	0.319	- 2.336	0.879	- 0.135	- 0.071
Coeff. ricalcolati con ClorCoeff in base ai dati verità ARPAT	0.069	- 2.086	0.629	0.115	- 0.221

Tab. 13.3 Nuovi coefficienti selezionati dal programma *ClorCoeff*, che minimizzano l'errore quadratico medio tra rilevamenti su mare ARPAT e i dati ricalcolati con l'algoritmo *SeaWiFS OC2v4*; vengono riportati in tabella anche i coefficienti nominali NASA [O'Reilly 00]

Rrs_490 [sr ⁻¹] (riflettanza al sensore banda 3)	Rrs_555 [sr ⁻¹] (riflettanza al sensore banda 5)	R_{2s} [adim.]	Chl-<i>a</i> [µg/l] (rilevamento ARPAT)	Chl-<i>a</i> [µg/l] (algoritmo OC2v4 con coeff. nominali [O'Reilly 00])	Chl-<i>a</i> [µg/l] (algoritmo OC2v4 con coeff. ottimi)
0.006372	0.00901	-0.150424	1.37	4.84	2.27
0.013362	0.015697	-0.069957	0.64	3.00	1.43
0.011247	0.012522	-0.046641	0.85	2.62	1.25
0.014493	0.014168	0.009832	1.50	1.91	0.9
0.010366	0.009922	0.018999	0.81	1.81	0.85
0.007567	0.007181	0.022784	0.94	1.77	0.83
0.008183	0.006811	0.0797	0.38	1.30	0.59
0.006734	0.005555	0.083615	0.90	1.28	0.57
0.009421	0.007616	0.092378	0.34	1.22	0.54
0.009085	0.007261	0.097352	0.96	1.19	0.52
0.008781	0.006804	0.110776	0.76	1.11	0.48
0.006795	0.005193	0.116739	0.73	1.07	0.46
0.007012	0.00436	0.206321	0.64	0.68	0.24

Tab. 13.4 Dati rappresentati nel grafico della Fig. 13.2; i campi della tabella contengono: riflettanza al sensore delle bande 3 e 5 letti dai files di riflettanza interpolati con algoritmo *terra mare*; valore di R_{2s} calcolato con la (13.2); concentrazione di clorofilla-*a* rilevata da ARPAT - Area Mare; concentrazione di clorofilla-*a* calcolata da dati *SeaWiFS* con algoritmo OC2v4 (coefficienti nominali); concentrazione di clorofilla-*a* calcolata da dati *SeaWiFS* con algoritmo OC2v4 (coefficienti ottimi)

Nella Fig. 13.2 vengono rappresentati i valori di clorofilla-*a* ottenuti dalle misure ARPAT e con algoritmo OC2v4 con coefficienti nominali e con coefficienti ottimi calcolati.

I grafici di dispersione delle Figg. 13.3 e 13.4 mostrano il miglioramento ottenuto impiegando i coefficienti ottimi stimati invece di quelli nominali.

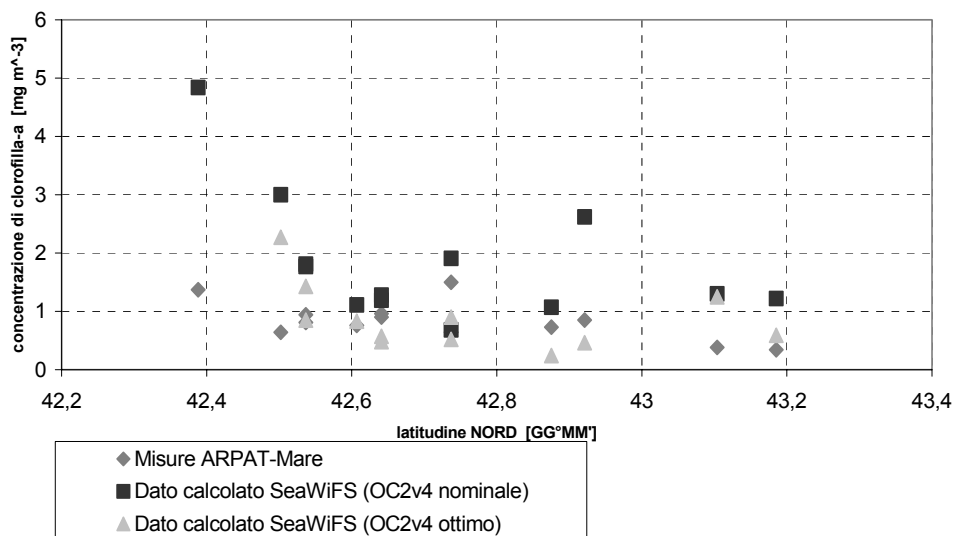


Fig. 13.2 Confronto tra dati di concentrazione di clorofilla-*a* rilevati ARPAT – Area Mare e dati SeaWiFS (OC2v4 nominale e ottimo)

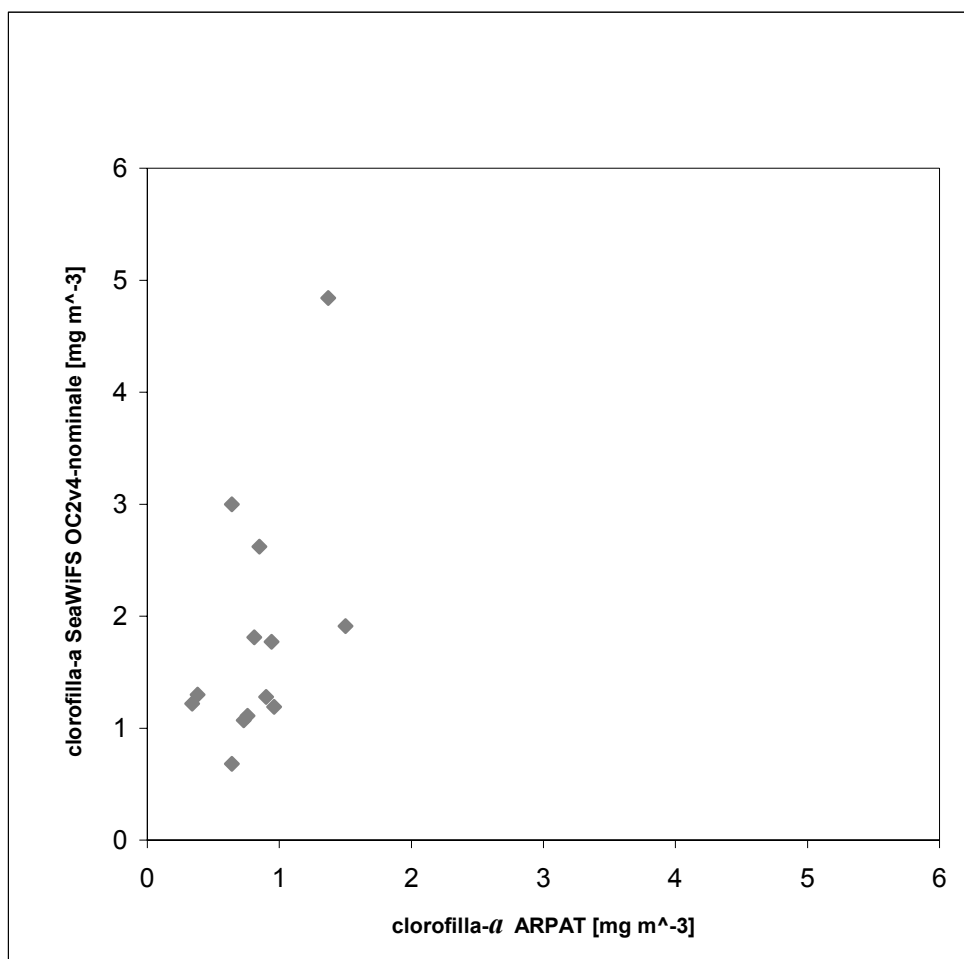


Fig. 13.3 Grafico di dispersione (dati ARPAT/dati SeaWiFS OC2v4-nominale); coefficienti nominali: $a_0 = 0.319$; $a_1 = -2.336$; $a_2 = 0.879$; $a_3 = -0.135$; $a_4 = -0.071$; errore quadratico medio: 0.381663

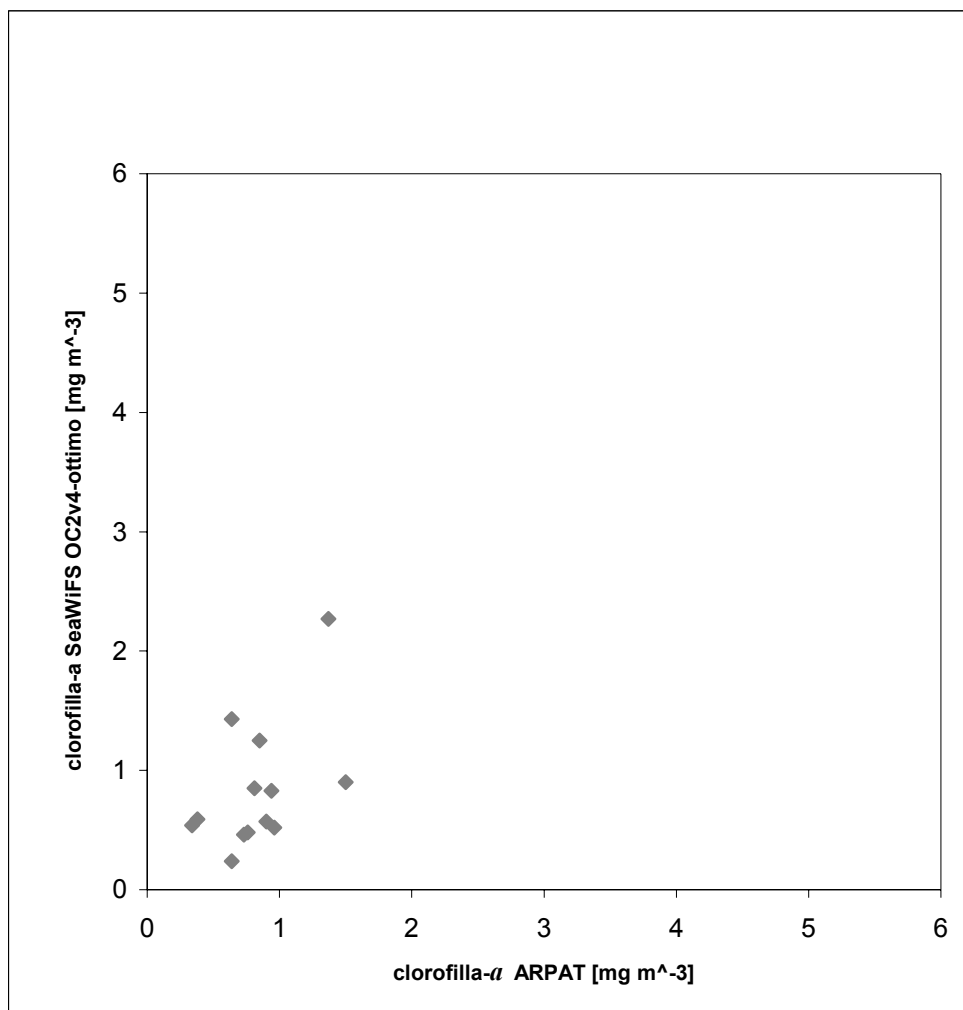


Fig. 13.4 Grafico di dispersione (dati ARPAT/dati SeaWiFS OC2v4-ottimo); coefficienti ottimi: $a0_o = 0.069$; $a1_o = -2.086$; $a2_o = 0.629$; $a3_o = 0.115$; $a4_o = -0.221$; errore quadratico medio: 0.128472

14 PREELABORAZIONE E SISTEMA DI ELABORAZIONE DISTRIBUITA

La Struttura realizzata nell'ambito della Convenzione di Ricerca (v. Cap. 2) include un Sistema Distribuito per il trattamento e la presentazione dei dati da satellite, tra Prato (vedi Capitolo 3), Firenze (vedi Capitolo 6) e ARPAT – Area Mare a Piombino (vedi Capitolo 4). Quest'ultima può rendere disponibili, presso la sede di Portoferraio dell'Ente Parco dell'Arcipelago Toscano (vedi Capitolo 7), le immagini ottenute. Per le relazioni verso l'esterno i dati possono essere intercambiati con la Facoltà di Ingegneria di Palermo.

Come precedentemente accennato, per la calibrazione con rilievi e verità a mare viene utilizzato il battello oceanografico Poseidon (Fig. 11.1) di ARPAT.

I sensori considerati sono quelli dei satelliti della serie NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e occasionalmente SSM/I e SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*). La pre-elaborazione dei dati include:

- tecniche di georeferenziazione precisa basata sui dati orbitali classici “Two Lines” e 2 punti verità. E' quindi possibile prevedere con precisione i passaggi alla Stazione, le aree coperte e la geometria effettiva dei foot-print, come è visibile in Fig. 14.1. Nelle figure dalla 14.2 alla 14.11 sono riportate, come esempio, alcune immagini prodotte durante le diverse fasi di elaborazione del file NOAA T0219312.581, ricevuto alla Stazione Ricezione Satelliti il 12.07.2002 alle 12:58 UTC. La georeferenziazione adottata è sempre riportata in proiezione Mercatore, DATUM WGS84;
- tecniche di interpolazione e convoluzione inversa che, tenendo conto del lobo del sensore di bordo, permettono di ottenere risoluzioni spaziali sub-pixel (200 - 400 m nel caso del NOAA).

14.1 Previsioni dei passaggi satellitari

In Fig. 14.1 è riportato il risultato del programma di previsione dei passaggi satellitari sviluppato nel corso del presente progetto utilizzato per visualizzare le aree di copertura dei sensori AVHRR-NOAA e SeaWiFS-SEASTAR. Il programma utilizza le effemeridi in formato 2Lines distribuite dalla NASA [Kelso 00] per inizializzare il modello di previsione.

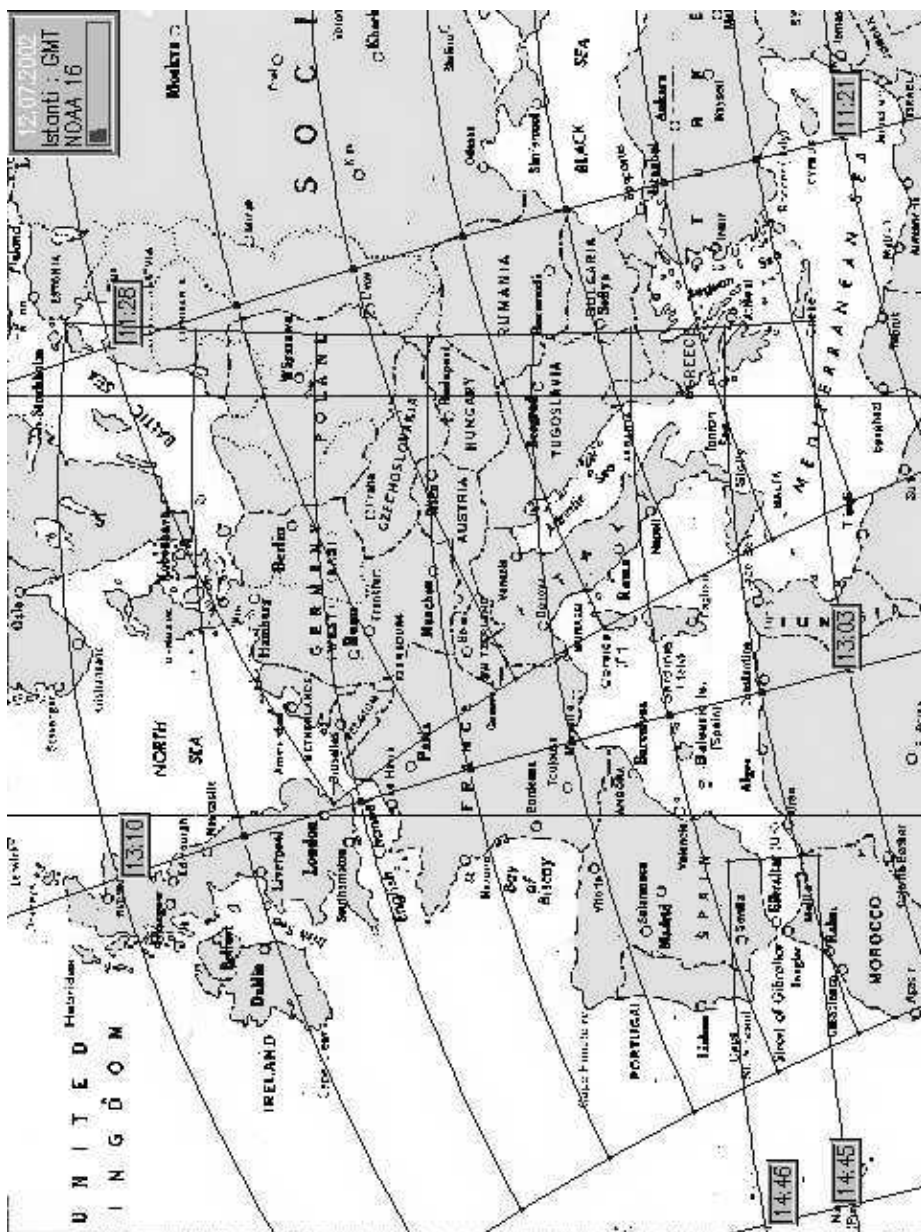


Fig. 14.1 Immagine dello swath dei passaggi effettuati dal NOAA16 il 12.07.2002 tra le 10:00 e le 15:00 UTC. L'immagine originale ha dimensioni (larghezza×altezza) in pixel di 640×480, su carta 22.6×17 cm. Per la visualizzazione l'immagine è stata ruotata di 90°. La rappresentazione non è in scala

14.2 Dati preelaborati

I dati grezzi NOAA ricevuti alla Stazione di Ricezione Satelliti del PIN – Polo Universitario di Prato sono elaborati da una catena di programmi proprietari sviluppati ad hoc dal gruppo di ricerca coinvolto nel presente progetto. Risultato della catena è la produzione di mappe in formato Mercatore di parametri marini (in particolare SST - *Sea Surface Temperature*). Per permettere un più veloce trasferimento dei dati dall'unità di Prato alle unità di Piombino e Firenze, le fasi della catena sono state suddivise in due. Nella prima vengono calcolati ed estratti i coefficienti di calibrazione radiometrica e geografica, i dati dei 5 canali AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) ed i parametri di configurazione dell'ambiente di ripresa. Nella seconda fase sono calcolate le mappe di Radianza, di Albedo, di temperatura di brillantezza e dei parametri fisici ottenuti.

In Fig. 14.2 è riportato il “QuickLook” del canale 3 AVHRR, che permette di visualizzare l'area coperta dal sensore. Se l'area geografica di interesse è coperta correttamente dal sensore possono essere avviati i successivi passi di elaborazione. Il successivo passo consiste nell'estrazione dei “count” (livelli) relativi all'area geografica considerata (Fig. 14.3) e nella loro geolocalizzazione. La procedura di geolocalizzazione avviene in due passi successivi. Nel primo si ottengono i valori a partire dalle effemeridi in formato *TwoLines* distribuite dal NORAD come precedentemente accennato (Fig. 14.4). Il risultato è generalmente afflitto da errore, si procede quindi ad una correzione sulla base di due coppie di punti (punto verità-punto calcolato) individuati direttamente sull'immagine. La procedura di georeferenziazione e di correzione geografica implementata è descritta in particolare nel paragrafo 14.4 e seguenti, il risultato è visualizzato in Fig. 14.5 e con artefatti in Fig. 14.6.

I parametri ed i dati ottenuti al termine di questa fase possono essere raccolti ed inviati alle altre unità di ricerca per l'ottenimento dei parametri fisici investigati.

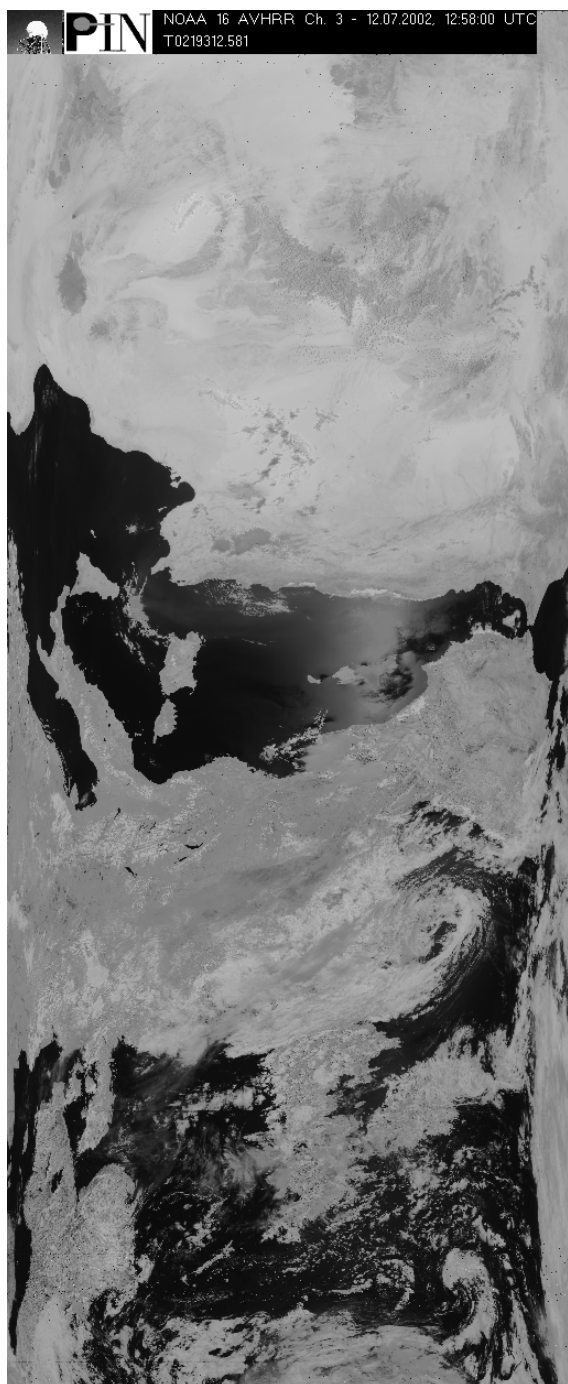


Fig. 14.2 *File QuickLook, relativo ai count del ch.3 dell'AVHRR per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC. E' il primo prodotto generato dalla catena di elaborazione dei dati NOAA. L'immagine appare capovolta perché relativa ad un passaggio ascendente (cioè da Sud a Nord), le righe di scansione iniziano dall'alto da sinistra verso destra*

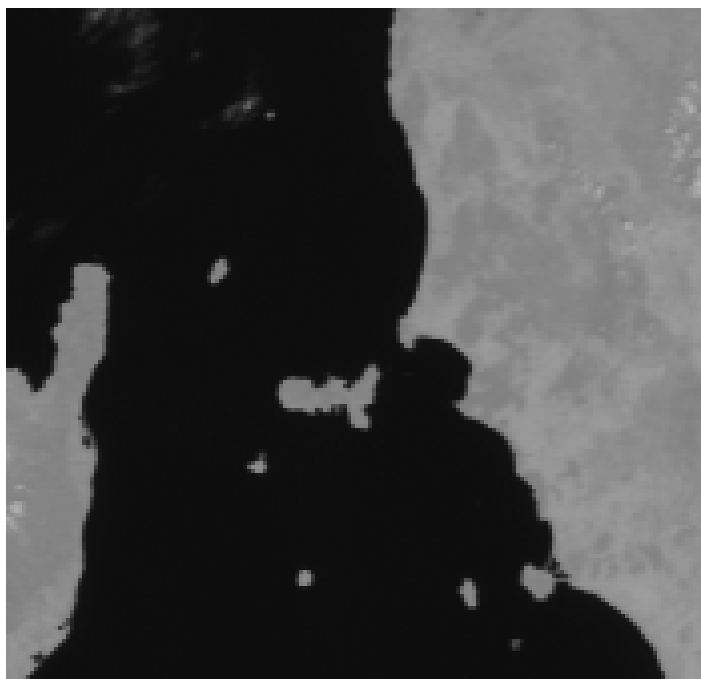


Fig. 14.3 File dei count del ch.3 dell'AVHRR, per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC, per il formato "Arcipelago 02", a 8 bit/pixel, 800 byte di testata e dimensioni in pixel di 162×163

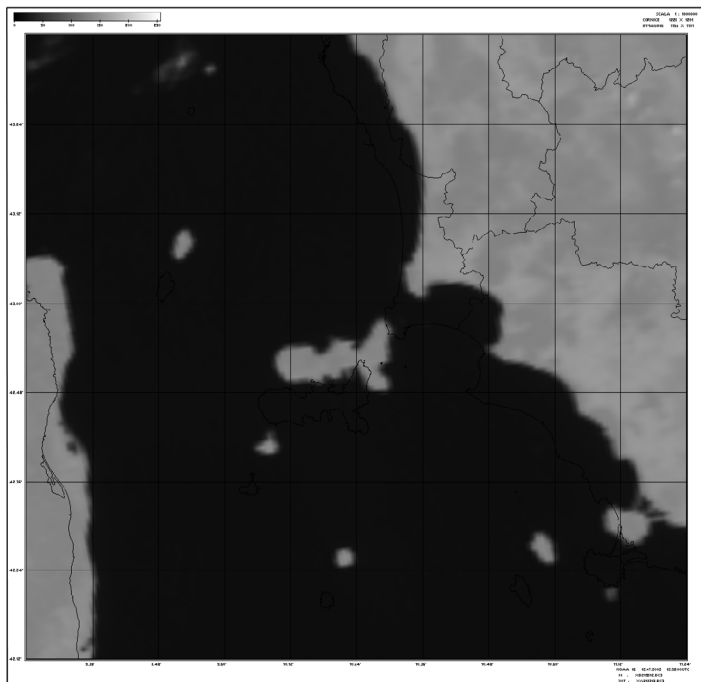


Fig.14.4 File dei count del ch.3 dell'AVHRR, per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC, non georeferiti correttamente, in proiezione Mercatore, nel formato "Arcipelago 02", a 8 bit/pixel, 800 byte di testata, dimensioni in pixel di 1226×1201 (l'immagine originale è in scala 1:1.000.000 a 180 dpi)

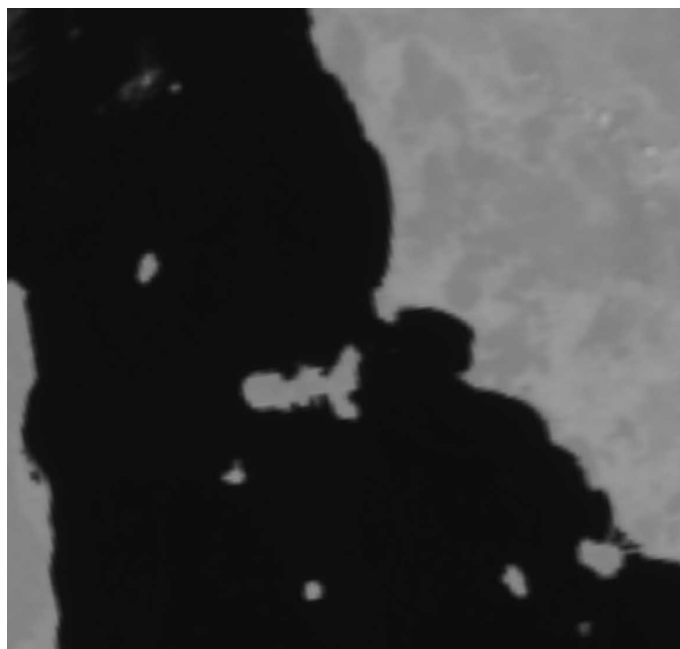


Fig. 14.5 File dei count del ch.3 dell'AVHRR, per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC, georeferiti in proiezione Mercatore, nel formato "Arcipelago 02", senza artefatti, a 8 bit/pixel, con 800 byte di testata e dimensioni in pixel di 1156×1101 (le dimensioni dell'immagine originale sono 16.3×15.5 cm, scala 1:1.000.000 a 180 dpi)

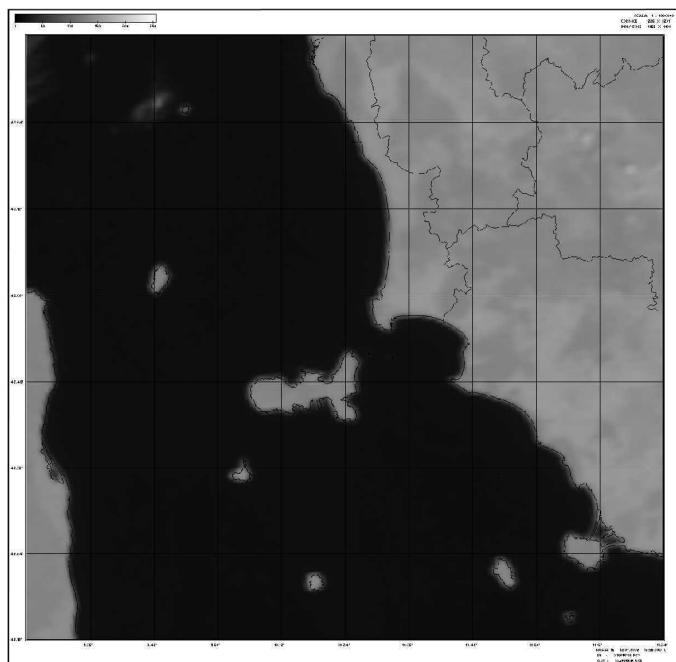


Fig. 14.6 File dei count del ch.3 dell'AVHRR, per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC, georeferiti in proiezione Mercatore, con artefatti, nel formato "Arcipelago 02", senza artefatti, a 8 bit/pixel, con 800 byte di testata e dimensioni in pixel di 1226×1201 (le dimensioni dell'immagine originale sono 17.3×17 cm, scala 1:1.000.000 a 180 dpi)

14.3 Elaborazione distribuita

A partire dai dati e dai parametri di correzione geografica ottenuti nella fase di preelaborazione è possibile applicare le procedure di calibrazione radiometrica per l'ottenimento delle radianze (Fig. 14.8) delle temperature di brillanza (Fig. 14.9) e della temperatura superficiale del mare (Figg. 14.10, 14.11); in Fig. 14.12 è riportata una mappa SST (vedi Capitolo 12) in falsi colori.

Queste elaborazioni possono essere effettuate sia alla Stazione di Ricezione Satelliti (Prato), sia nei diversi siti collegati, ovvero ARPAT – Area Mare a Piombino e Laboratorio Telecomunicazioni - DET dell'Università degli Studi di Firenze.

14.4 Georeferenziazione automatica delle immagini telerilevate

Sono riportate di seguito, nelle varie fasi realizzate, le operazioni messe a punto per la corretta georeferenziazione dei dati telerilevati da satellite, necessarie per una corretta elaborazione di immagini multisensore e/o multitemporali, nelle analisi di monitoraggio ambientale o statistiche sull'andamento di parametri fisici marini.

La procedura sviluppata per la georeferenziazione precisa di immagini telerilevate da sensore AVHRR-NOAA richiede due soli GCP (*Ground Control Point* – Punti verità a terra). La navigazione delle immagini si basa sulla ripresa orbitale effettiva del satellite (orbita ellittica, terra ellissoidica) con riproiezione cartografica standard (Mercatore DATUM WGS84). La correzione geometrica si rende necessaria per compensare errori nelle effemeridi predittive dell'orbita, errori di assetto (*yaw*, *pitch*, *roll*) del sensore non noti a priori, errori nell'orologio (clock) interno del satellite, errori di approssimazione negli algoritmi di calcolo ecc.

Le immagini così ottenute sono delle vere e proprie mappe in proiezione Mercatore (DATUM WGS84) sulle quali è possibile posizionare misure di verità a mare per il riscontro con gli algoritmi di estrazione dei parametri fisici implementati.

L'algoritmo di correzione, utilizza una procedura di elaborazione delle immagini, appositamente sviluppata, per il riconoscimento automatico dei 2 GCP, facilitando e velocizzando i compiti dell'operatore. L'algoritmo di riconoscimento dei GCP si basa sul riconoscimento delle linee di costa sull'immagine di prima georeferenziazione utilizzando un filtro di Sobel così come proposto da [Eugenio 00], [Diemer 00] e [Pergola 00], ma si differenzia nella ricerca dei fattori di correzione agendo sempre sui parametri di navigazione del satellite e di scansione del sensore.

La richiesta di 2 soli punti verità sull'immagine velocizza le operazioni di navigazione dell'immagine anche quando deve essere eseguita da un operatore a

seguito di fallimenti nella ricerca automatica (elaborazione *near real time*). I risultati sono stati applicati in modo sistematico ai dati NOAA-AVHRR dove si è raggiunta una risoluzione spaziale di circa 250 metri, ad esempio su di un campione di circa 500 immagini NOAA-AVHRR, dal marzo 2002 al marzo 2003, in attività di monitoraggio in continuo dell'Area del Parco Nazionale Arcipelago Toscano e della costa toscana in genere.

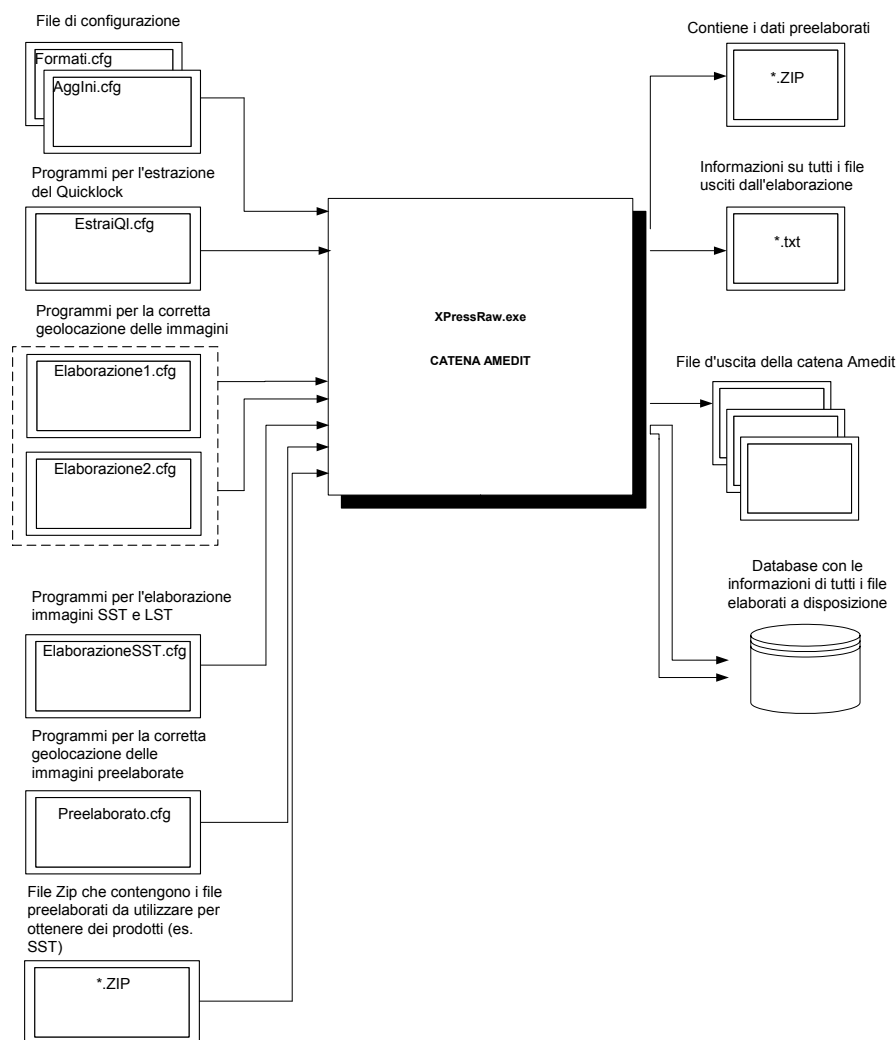


Fig. 14.7 Schema funzionale dell'Ambiente di Elaborazione Digitale di immagini Telerilevate (AMEDIT) con evidenziati i file Preelaborati (nel formato "Archivio ZIP") e di configurazione (*.cfg) utilizzati nella procedura di elaborazione distribuita

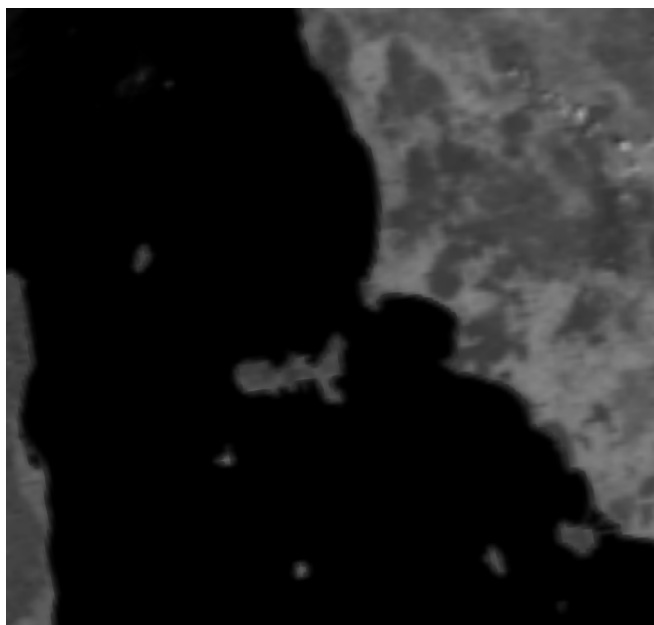


Fig. 14.8 File della radianza del ch.3 dell'AVHRR, per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC, georeferita in proiezione Mercatore, nel formato "Arcipelago 02", a 8 bit/pixel, 800 byte di testata, dimensioni in pixel di 1156x1101, su carta 16.3x15.5 cm, scala 1:1.000.000 e dpi 180. L'immagine è stata ottenuta a partire dai valori dei count

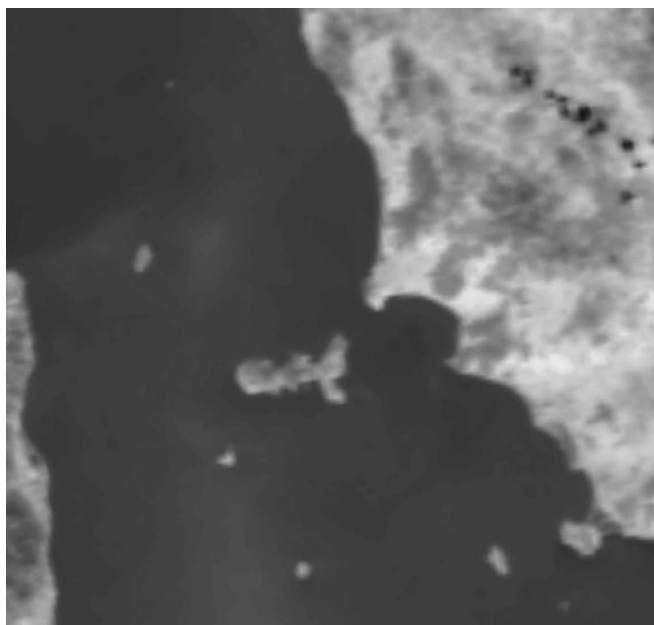


Fig. 14.9 File della temperatura di brillantezza del ch.4 dell'AVHRR, per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC, georeferita in proiezione Mercatore, nel formato "Arcipelago 02", a 8 bit/pixel, 800 byte di testata, dimensioni in pixel di 1156x1101, su carta 16.3x15.5 cm, scala 1:1.000.000 e dpi 180. L'immagine è stata ottenuta a partire dai valori di radianza. Il contrasto tra i toni è stato aumentato con un programma di grafica



Fig. 14.10 *Temperatura superficiale del mare (SST), ottenuta il 12.07.2002 alle 12:58 UTC (NOAA16), georeferita in proiezione Mercatore formato "Arcipelago 02" (8 bit/pixel, 800 byte di testata). Dimensioni immagine 1156x1101 pixel, su carta 16.3x15.5 cm con scala 1:1.000.000 e risoluzione stampante dpi 180*

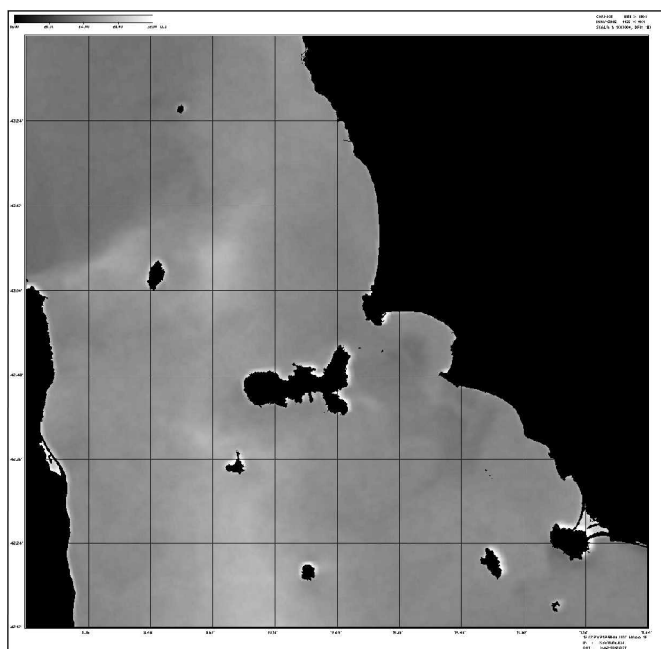


Fig. 14.11 *Temperatura superficiale del mare (SST), ottenuta il 12.07.2002 alle 12:58 UTC (NOAA16), georeferita in proiezione Mercatore formato "Arcipelago 02" (8 bit/pixel, 800 byte di testata). Dimensioni immagine 1226x1201 pixel, su carta 17.3x17 cm con scala 1:1.000.000 e risoluzione stampante dpi 180. L'immagine è il prodotto finale della catena di elaborazione dei dati NOAA-AVHRR*

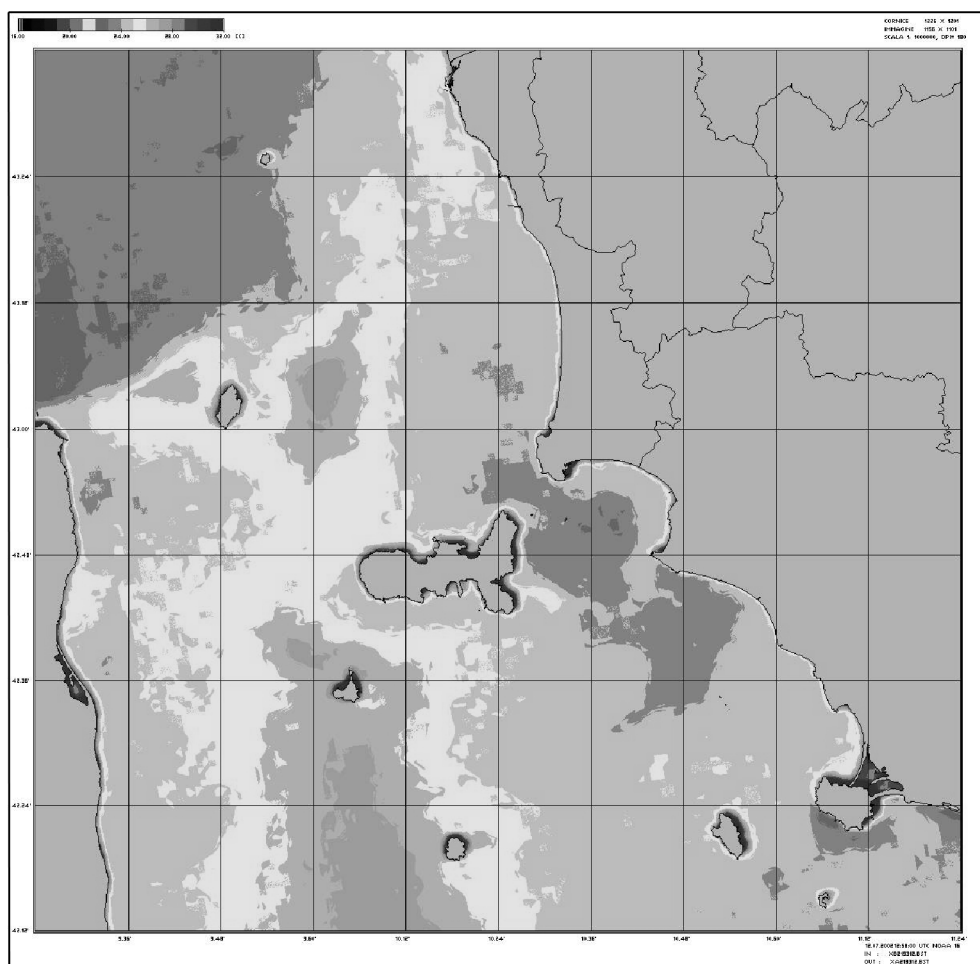


Fig. 14.12 File della temperatura superficiale del mare (SST), per il passaggio effettuato dal NOAA16 il 12.07.2002 alle 12:58 UTC, georeferita in proiezione Mercatore, con artefatti, nel formato "Arcipelago 02"

14.5 Modello dell'orbita

Il modello di navigazione realizzato richiede la conoscenza della posizione del satellite (longitudine, latitudine, altezza), della velocità e della direzione di moto per ogni istante temporale di acquisizione di ogni dato (Fig. 14.13). La precisione nel calcolo di tali parametri dipende in primo luogo dalle effemeridi utilizzate per iniziare il modello, dall'errore dell'orologio interno del satellite rispetto al tempo

universale e dai parametri di assetto (*yaw*, *pitch*, *roll*) che non sono in genere conosciuti a priori dal normale utilizzatore.

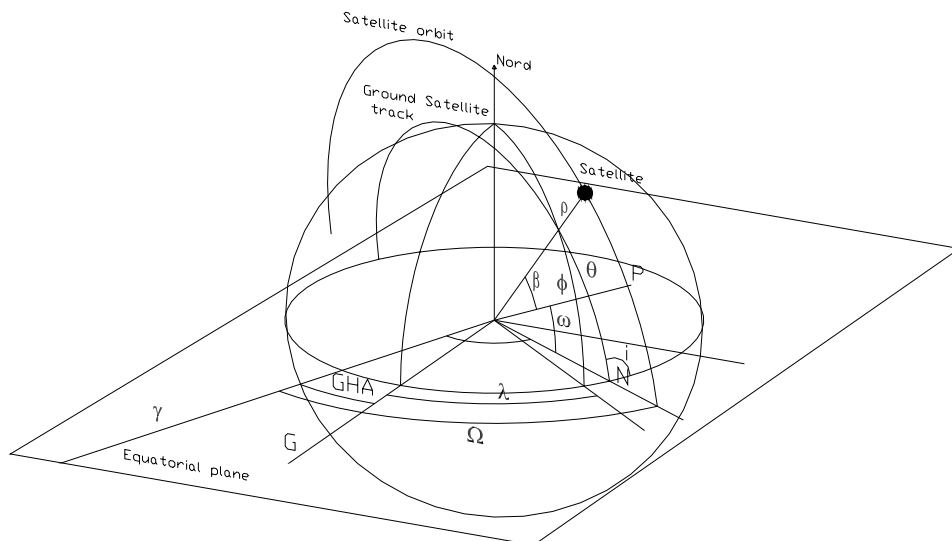


Fig. 14.13 Visualizzazione dei parametri della geometria locale del modello orbitale

In generale le effemeridi di previsione dei passaggi del satellite fornite da varie fonti sono generate da modelli diversi; una prima accortezza per ridurre l'errore consiste quindi nell'implementare, a seconda della fonte utilizzata, il corrispondente modello. Nel nostro caso sia le effemeridi distribuite dall'ente americano NORAD, sia il modello orbitale utilizzato "Space Track Earth Model 1968" sono di derivazione NASA; quest'ultimo si basa sui classici 6 parametri definiti dal modello Kepleriano dell'orbita e consistono nel semiasse maggiore (a), eccentricità (e), inclinazione (i), argomento del perigeo (ω), longitudine del nodo ascendente (Ω), anomalia media (M) e sulle loro derivate.

Il calcolo delle posizioni del satellite viene effettuato sulla base delle effemeridi (Tab. 14.1) e dei tempi tabulati (Tab. 14.2) di inizio acquisizione di ogni riga di scansione (time code), estratti dal file HRPT (*High Resolution Picture Transmission*) ricevuto in tempo reale alla Stazione Ricezione Satelliti.

NOAA 16

```
1 26536U 00055A 02192.68662517 .00000400 00000-0 24367-3 0 9020
2 26536 98.8705 138.0219 0010041 209.4118 150.6489 14.11715970 92848
```

Tab. 14.1 *Esempio di effemeridi del satellite NOAA16 in formato TwoLines estratte dal bollettino del 12.07.2002*

```
.....
RigaFile, TimeCodeStimato, Diff.TimeCodeRigaPrec., RigaStimata
rrrr,ggghhmmss.ssss, ggghhmmss.sss,rrrr
```

```
.....
0185,193125842.951,0000000000.167,0195
0186,193125843.117,0000000000.166,0196
0187,193125843.284,0000000000.167,0197
0188,193125843.451,0000000000.167,0198
0189,193125843.617,0000000000.166,0199
0190,193125843.784,0000000000.167,0200
0191,193125843.951,0000000000.167,0201
0192,193125844.117,0000000000.166,0202
0193,193125844.284,0000000000.167,0203
0194,193125844.451,0000000000.167,0204
0195,193125844.617,0000000000.166,0205
0196,193125844.784,0000000000.167,0206
0197,193125844.951,0000000000.167,0207
0198,193125845.117,0000000000.166,0208
```

Tab. 14.2 *Particolare del file contenente i time code di acquisizione tabulati, estratti dal file NOAA-HRPT. I time code sono stati ricalcolati aumentando la precisione di una cifra decimale, la prima colonna presenta il numero di riga acquisito, mentre l'ultima rappresenta il numero di riga stimata a partire dalla prima acquisita in modo corretto*

L'algoritmo di navigazione del satellite fornisce in uscita un file (Tab. 14.3) contenente in corrispondenza di ogni riga dell'immagine acquisita dal satellite, longitudine [deg] e latitudine [deg] del punto subsatellite, altezza [m] del satellite dal punto sub-satellite, azimuth [deg] della traiettoria a terra ferma (questi dati danno la posizione istantanea del satellite nel momento dell'acquisizione), azimuth [deg] della direzione della traccia effettiva sulla terra, velocità [kn] e distanza centro della Terra – satellite.

```

.....
0187 125843.2840 10.93637 18.42435 864178.8 350.65235 346.90885 12696.218 7240203.702
0188 125843.4510 10.93400 18.43407 864181.1 350.65182 346.90855 12696.226 7240203.887
0189 125843.6170 10.93164 18.44373 864183.4 350.65130 346.90826 12696.233 7240204.070
0190 125843.7840 10.92927 18.45345 864185.8 350.65077 346.90796 12696.241 7240204.254
0191 125843.9510 10.92690 18.46317 864188.1 350.65024 346.90767 12696.248 7240204.438
0192 125844.1170 10.92454 18.47283 864190.5 350.64972 346.90738 12696.256 7240204.620
0193 125844.2840 10.92217 18.48255 864192.8 350.64919 346.90708 12696.263 7240204.803
0194 125844.4510 10.91979 18.49227 864195.2 350.64866 346.90679 12696.271 7240204.986
0195 125844.6170 10.91743 18.50193 864197.5 350.64814 346.90649 12696.278 7240205.168
0196 125844.7840 10.91506 18.51165 864199.9 350.64761 346.90620 12696.286 7240205.351
0197 125844.9510 10.91269 18.52137 864202.2 350.64708 346.90590 12696.293 7240205.533
0198 125845.1170 10.91033 18.53104 864204.6 350.64655 346.90560 12696.301 7240205.715
0199 125845.2840 10.90795 18.54076 864206.9 350.64602 346.90531 12696.308 7240205.897
0200 125845.4510 10.90558 18.55048 864209.3 350.64549 346.90501 12696.316 7240206.079
0201 125845.6170 10.90322 18.56014 864211.6 350.64496 346.90472 12696.323 7240206.259
0202 125845.7840 10.90084 18.56986 864214.0 350.64443 346.90442 12696.331 7240206.441
.....

```

Tab. 14.3 *Particolare del file contenente i parametri forniti dal modello di navigazione del satellite. In corrispondenza di ogni riga di scansione sono forniti: col.3 - longitudine [deg] e col.4 - latitudine [deg] del punto subsatellite, col.5 - altezza [m] del satellite dal punto sub-satellite, col.6 - azimuth [deg] della traiettoria a terra ferma, col.7 - azimuth [deg] della direzione della traccia sulla terra, col.8- velocità del satellite [kn] a terra ferma, col.9 – distanza centro della Terra – satellite*

14.6 Georeferenziazione (o navigazione) automatica

La procedura di geolocalizzazione realizzata opera sulla base dei 6 classici parametri orbitali e delle loro derivate e sulle caratteristiche di scansione del sensore. Tra questi ne sono stati individuati 4 (2 relativi al modello orbitale e due relativi al modello di scansione) per la correzione della traiettoria, della posizione del satellite, dell'azimuth di puntamento del sensore e dell'angolo di scansione che permettono di compensare errori introdotti dai seguenti fattori:

- parametri estrapolati di previsione (NORAD-2lines);
- orbita non propriamente ellittica;
- terra non esattamente ellissoidica;
- influenza gravitazionale dei corpi celesti esterni;
- influenza locale dovuta al globo terrestre;
- influenza atmosferica per le orbite basse;

- approssimazione dovuta al modello per ottenere la traccia subsatellitare;
- non conoscenza a priori dei dati di assetto del satellite.

I 4 parametri di interesse utilizzati per apportare le correzioni, di cui 2 descrittivi dell'orbita e 2 della geometria di scansione del sensore del satellite sono riportati nella Tab. 14.4. Variando uno qualsiasi di questi 4 parametri si ottengono effetti di "distorsione" differenti sull'immagine georeferenziata.

<i>Parametri descrittivi dell'orbita del satellite su cui effettuare la correzione</i>	
E_c	epoca
Ω_c	ascensione retta del nodo ascendente
<i>Parametri della geometria di scansione del sensore su cui effettuare la correzione</i>	
A_c	angolo tra la direzione della linea di scansione e la direzione azimutale (nominalmente $A_c = 90^\circ$)
$\Delta\gamma_c$	passo di scansione angolare del sensore satellitare per ottenere i vari punti della linea di scansione.

Tab.14.4 *Elenco dei 4 parametri descrittivi dell'orbita del sensore e di scansione del satellite su cui la procedura descritta effettua la correzione*

L'algoritmo di correzione implementato è descritto nello schema a blocchi di Fig. 14.14; nella prima elaborazione l'immagine viene georeferita azzerando i parametri di correzione, generando un'immagine in formato Mercatore (DATUM-WGS84) con sovrapposte le linee di costa ottenute dal nostro database vettoriale. Su questa immagine sono determinate 2 coppie di punti *Punto calcolato* – *Punto verità* ($P_c - P_v$) nel sistema di riferimento (u,v) dell'immagine (il punto $(0,0)$ è preso rispetto al punto Sud-West). Le coordinate dei 4 punti sono utilizzate per il calcolo dei 4 parametri di correzioni che, date in ingresso alla seconda elaborazione, permettono di ottenere l'immagine georeferita.

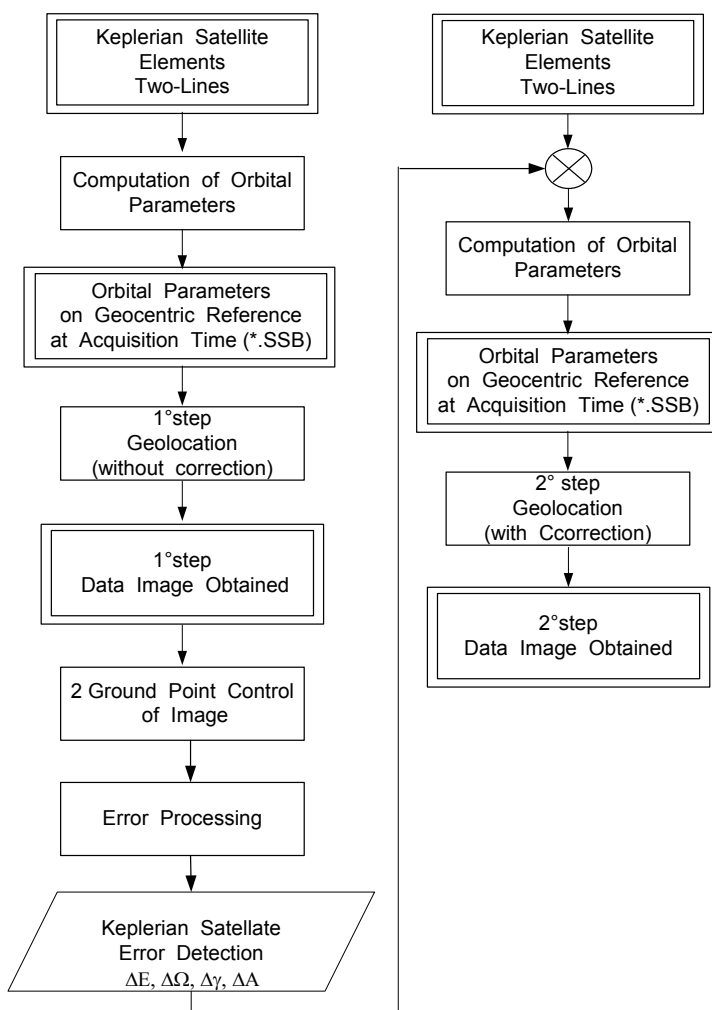


Fig. 14.14 Schema delle procedure attivate dalla catena di georeferenziazione automatica

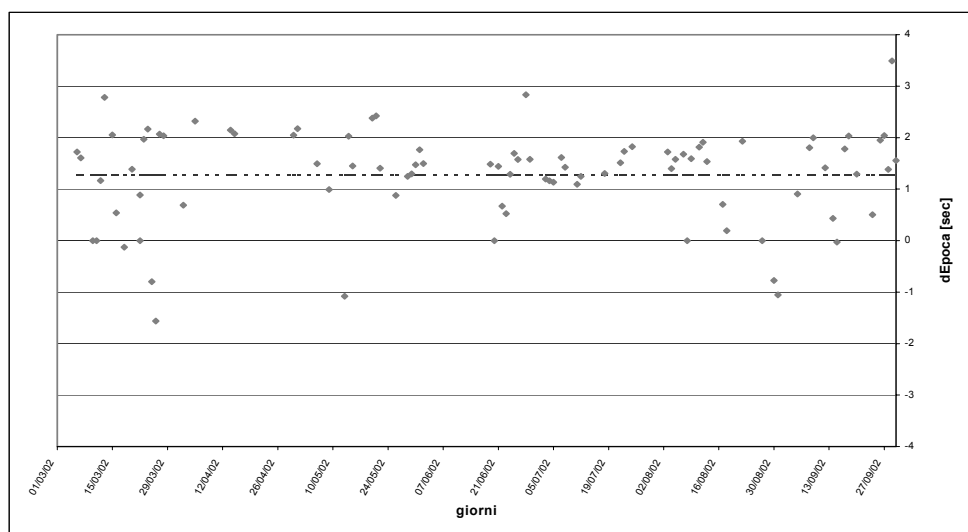


Fig. 14.15 Grafico delle correzioni di Epoca (ΔE) calcolate nel periodo marzo 2002 – settembre 2002. I dati elaborati fanno riferimento al satellite NOAA16 nel formato geografico “Arcipelago”

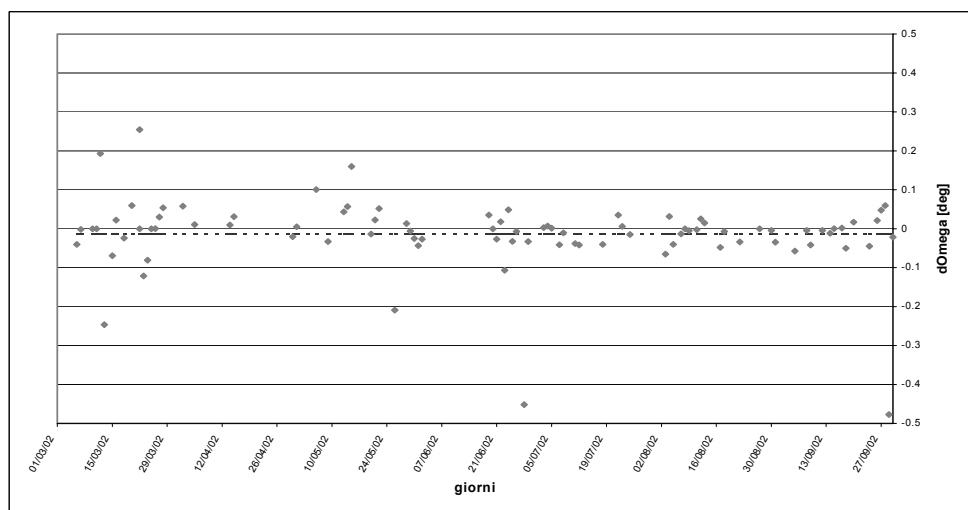


Fig. 14.16 Grafico delle correzioni di Ω ($\Delta\Omega$) calcolate nel periodo marzo 2002 – settembre 2002. I dati elaborati fanno riferimento al satellite NOAA16 nel formato geografico “Arcipelago”

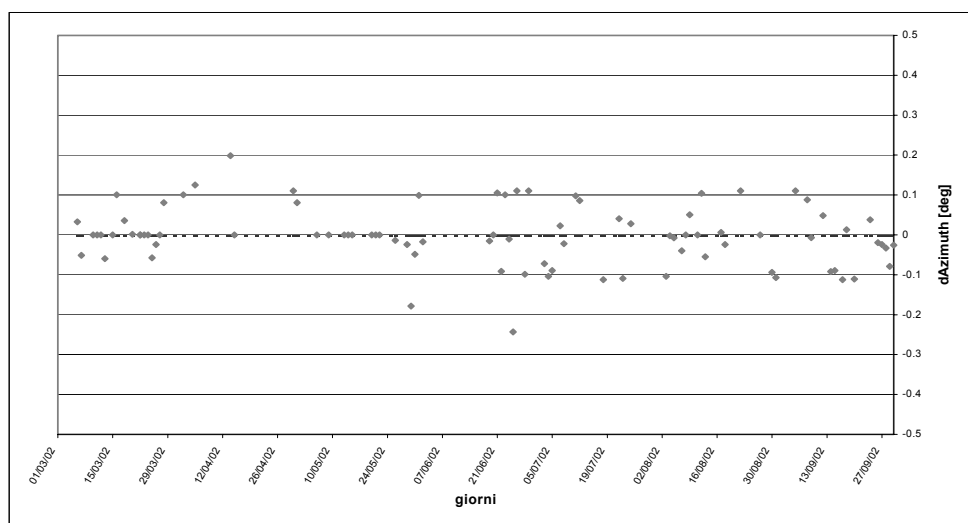


Fig.14.17 Grafico delle correzioni di Azimut (ΔA) calcolate nel periodo marzo 2002 – settembre 2002. I dati elaborati fanno riferimento al satellite NOAA16 nel formato geografico “Arcipelago”

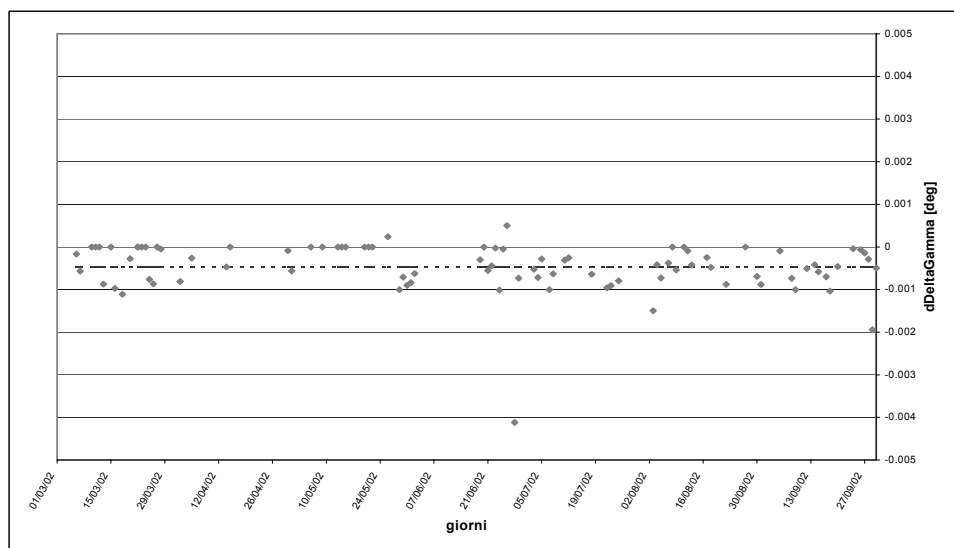


Fig.14.18 Grafico delle correzioni di $\Delta \gamma$ ($d\Delta \gamma$) calcolate nel periodo marzo 2002 – settembre 2002. I dati elaborati fanno riferimento al satellite NOAA16 nel formato geografico “Arcipelago”

15 ESEMPI DI PRODOTTI OTTENIBILI

I prodotti ottenibili con i programmi sviluppati sono esemplificati in varie parti di questa pubblicazione. Essi includono:

- processo per l'ottenimento della SST (*Sea Surface Temperature*) (vedi Fig. 1.1);
- diversi formati geografici di resa: Italia, Toscana, Arcipelago (vedi Capitolo 3);
- consistenza numerica delle acquisizioni da satellite (vedi Figg. 8.4, 8.5);
- presentazione in diversi formati di mappe del mare sul sito web dedicato (vedi Fig. 9.3);
- serie di immagini QuickLook per valutare l'area coperta per ciascun passaggio (vedi Fig. 14.2);
- presentazione della catena di georeferenziazione dei dati (vedi Figg. 14.3, 14.4 e Figg. 14.8-14.11);
- esempio di mappe di temperatura superficiale del mare (SST) (vedi Fig. 14.2);
- andamento dei rilievi SST ogni 15 giorni circa (anno 2002) (vedi Figg. Capitolo 16) ed alcuni esempi in formato Toscana e formato Mediterraneo (vedi Fig. 18.20);
- mappe per il rilievo delle zone nuvolose (vedi Figg. 17.12-17.14);
- esempi di rilievo automatico delle variazioni e del movimento di zone di mare a temperatura diversa dall'ambiente circostante (vedi Figg. 17.15-17.20, 17.22);
- ottenimento di immagini con medie mensili della temperatura del mare (formato Toscana – vedi esempio per periodo luglio 2001- luglio 2002 in Figg. 18.1-18.7);
- ottenimento della temperatura media mensile del mare per diverse zone costiere (vedi Figg. 18.10-18.13) e al largo (vedi Figg. 18.11-18.14).

Utilizzando i dati acquisiti dal sensore SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*), a bordo del satellite SeaStar ed operante nelle frequenze del visibile suddivise in 6 bande, si realizzano mappe di concentrazione di clorofilla tipo *a* (vedi Fig. 18.15) e di Radianza Normalizzata diffusa dall'acqua (vedi Capitolo 13 e Figg. 15.1-15.3). I dati raccolti hanno una risoluzione diversa in relazione ai formati geografici disponibili (vedi Capitolo 3). Nelle Figg. 18.17-18.20 sono comparate le diverse mappe SST ottenute attraverso uno stesso passaggio, ma con

resa geografica su diversi formati. Si può notare la relativa maggiore risoluzione ottenibile nel formato “Arcipelago” (vedi Fig. 18.19).

A bordo dei satelliti NOAA si trova un gruppo di sensori, operanti nelle microonde e nel visibile, che danno origine ai dati TOVS. Con questi è possibile stimare il profilo atmosferico degli ammassi nuvolosi sottostanti, e ricavare poi una mappa di vapor acqueo precipitabile (Fig. 15.4), utilizzabile per le correzioni atmosferiche delle immagini riprese da satellite utilizzate per il calcolo dei parametri marini [Pellegrini-3 01].

In caso di necessità (es. lavori in collaborazione con paesi diversi) occorre notare che sono ottenibili mappe con grandezze fisiche calcolate da dati satellitari per zone di mare molto più ampie. Un esempio di SST su tutto il Mediterraneo è riportato in Fig. 18.20.

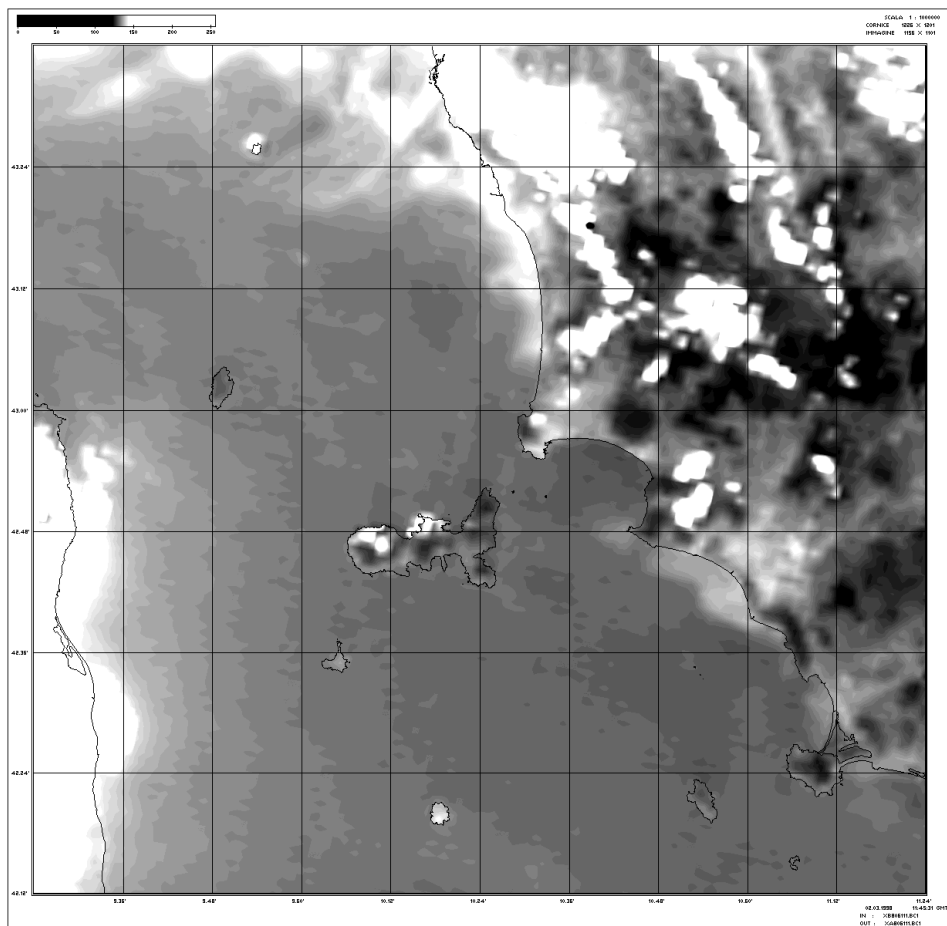


Fig. 15.1 Immagine raster dei count interpolati della banda 1 (lunghezza d'onda centrale 412 nm) SeaWiFS in scala 1:1.000.000, estratta dal file immagine S1998061114532.L1A_HROM, del 2 marzo 1998, ora UTC 11:45:32, nel formato "Arcipelago Toscano"; le dimensioni dell'immagine con artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1226×1201, le dimensioni reali su carta con artefatti sono 17.2×15.8 cm; la stampa è stata effettuata con una risoluzione di 180 dpi; l'immagine è stata rappresentata con livelli di grigio, ed è stata ottenuta utilizzando l'algoritmo di interpolazione segmentata terra-mare

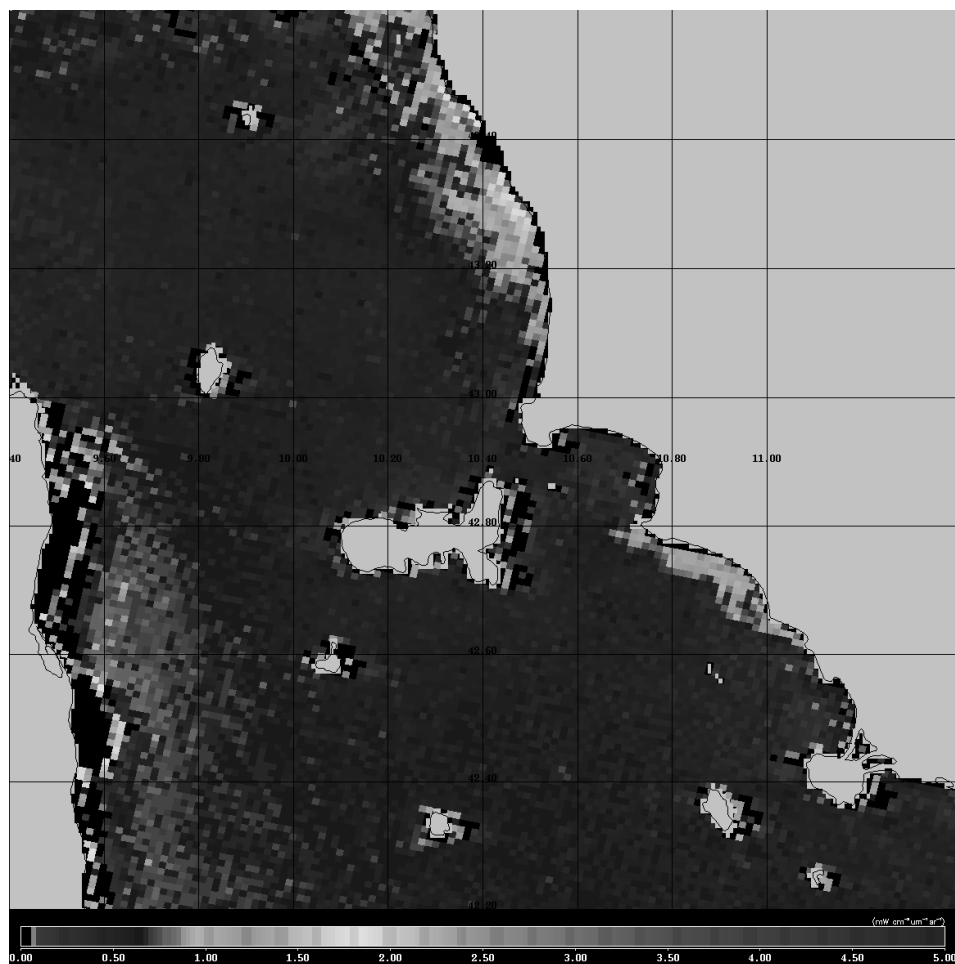


Fig. 15.2 Immagine interpolata con artefatti di radianza normalizzata diffusa dall'acqua – nL_w in $mW\ cm^{-2}\ \mu m^{-1}\ sr^{-1}$ della banda 1 (lunghezza d'onda centrale 412 nm) SeaWiFS in scala 1:1.000.000, estratta dal file immagine S1998061114532.L1A_HROM, del 2 marzo 1998, ora UTC 11:45:32, nel formato "Arcipelago Toscano"; le dimensioni dell'immagine con artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1156×1201, le dimensioni reali su carta con artefatti sono 15.3×15.5 cm; la stampa è stata effettuata con una risoluzione di 180 dpi

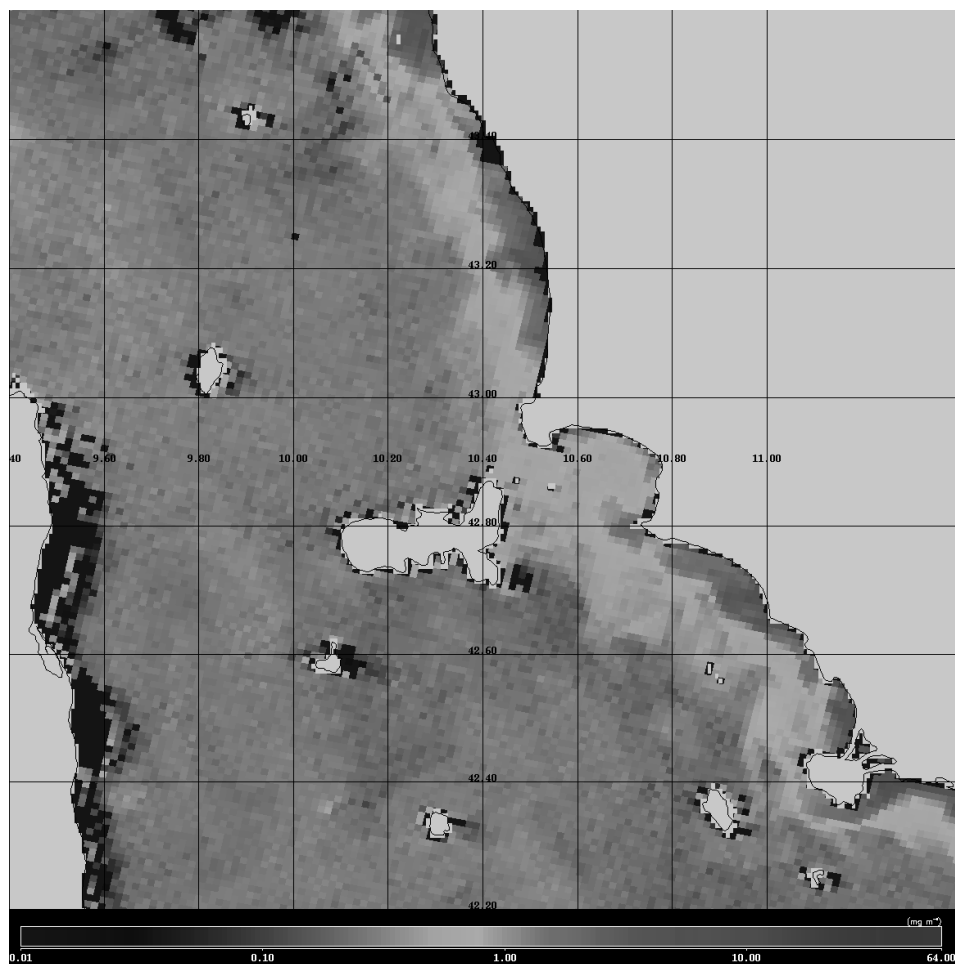


Fig. 15.3 Immagine interpolata con artefatti di concentrazione di clorofilla tipo a in mg m^{-3} in scala 1:1.000.000, estratta dal file immagine S1998061114532.L1A_HROM, del 2 marzo 1998, ora UTC 11:45:32, nel formato "Arcipelago Toscano"; le dimensioni dell'immagine con artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1156×1201, le dimensioni reali su carta con artefatti sono 15.3×15.5 cm; la stampa è stata effettuata con una risoluzione di 180 dpi

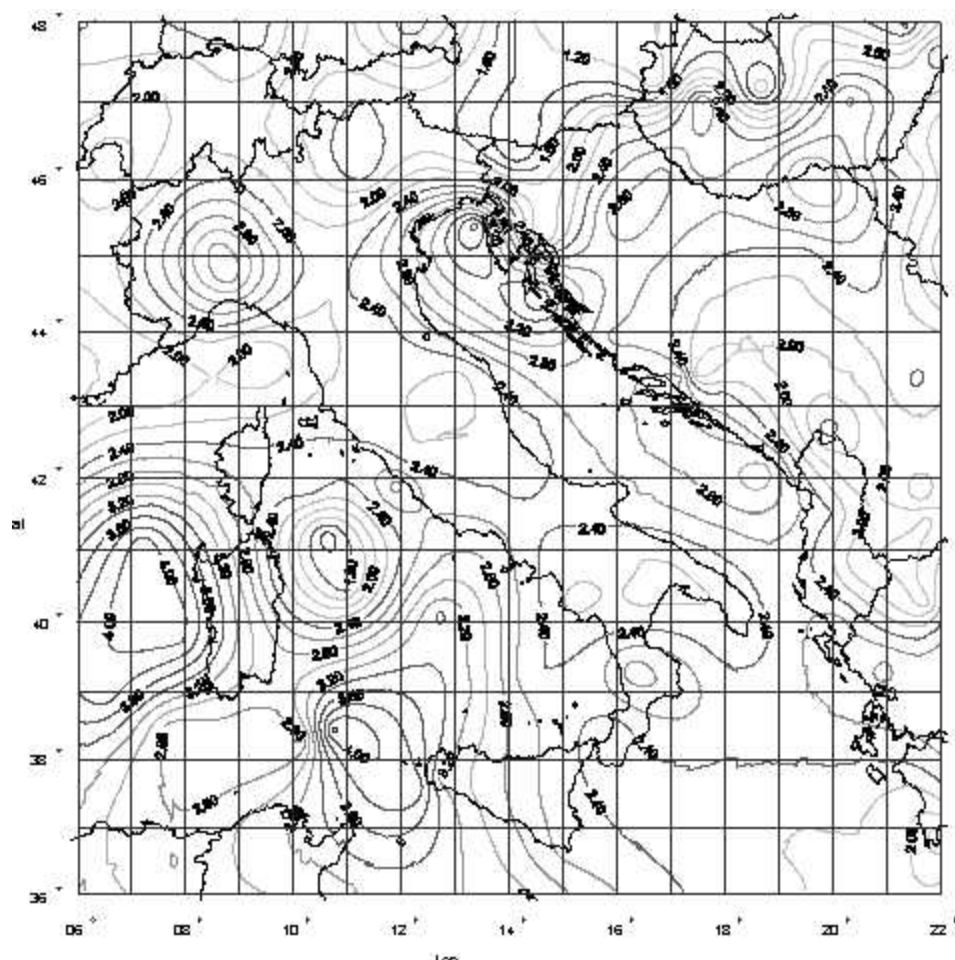


Fig. 15.4 Rappresentazione delle isolinee del vapor d'acqua precipitabile ottenuto da dati NOAA-TOVS, i valori sono espressi in g/cm^2 , questi possono essere utilizzati nel calcolo dei coefficienti di correzione da utilizzare nel calcolo della temperatura superficiale del mare

16 ESEMPI DI SST: DUE IMMAGINI AL MESE PER IL 2002

Di seguito e nel Capitolo 18 (Figg. 16.1-16.3, Figg. 18.12-18.14) sono riportati esempi di immagini della Temperatura Superficiale del Mare (SST – *Sea Surface Temperature*) ottenuti dai dati NOAA/AVHRR ricevuti alla Stazione di Ricezione Satelliti di Prato nel corso del 2002, per il formato Arcipelago Toscano.

Le immagini sono quelle riprese ogni 15 giorni circa, e sono raggruppate in blocchi da sei nel presente capitolo e da quattro nel Capitolo 18.

I campi di temperatura sono variabili da periodo a periodo. Per una visione comparativa ed immediata sono state scelte palette dei colori (sempre per un totale di 16 colori, 1 colore per ogni °C) secondo quanto indicato in Fig. 18.22.

A titolo di esempio, nel Capitolo 18, sono riportate per i giorni dal 17.04.2002 al 01.06.2002 un'immagine per il formato “Toscana” (Fig. 18.13) e “Mare Italia” (Fig. 18.14).

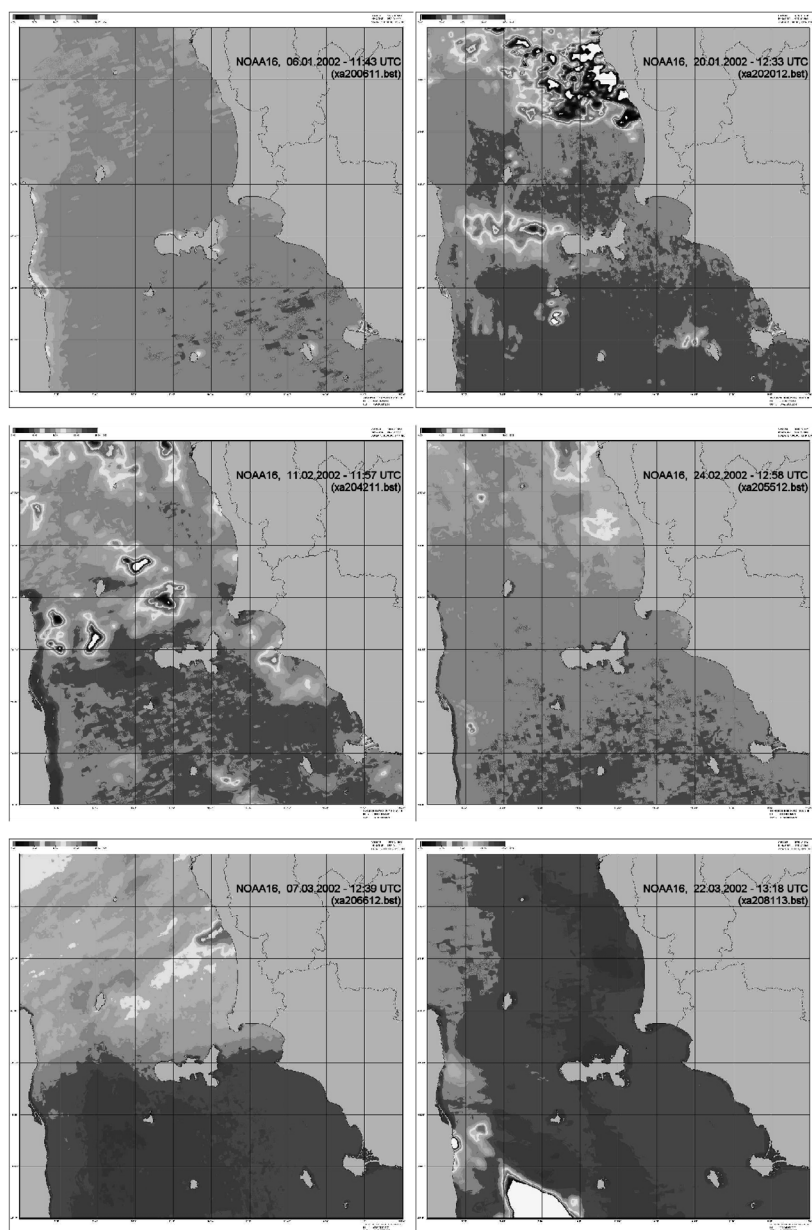


Fig. 16.1 Esempi di immagini della temperatura superficiale del mare [°C] per il formato “Arcipelago Toscano”, riferite a 6 passaggi dei satelliti NOAA ricevuti tra il 06.01.2002 e il 22.03.2002

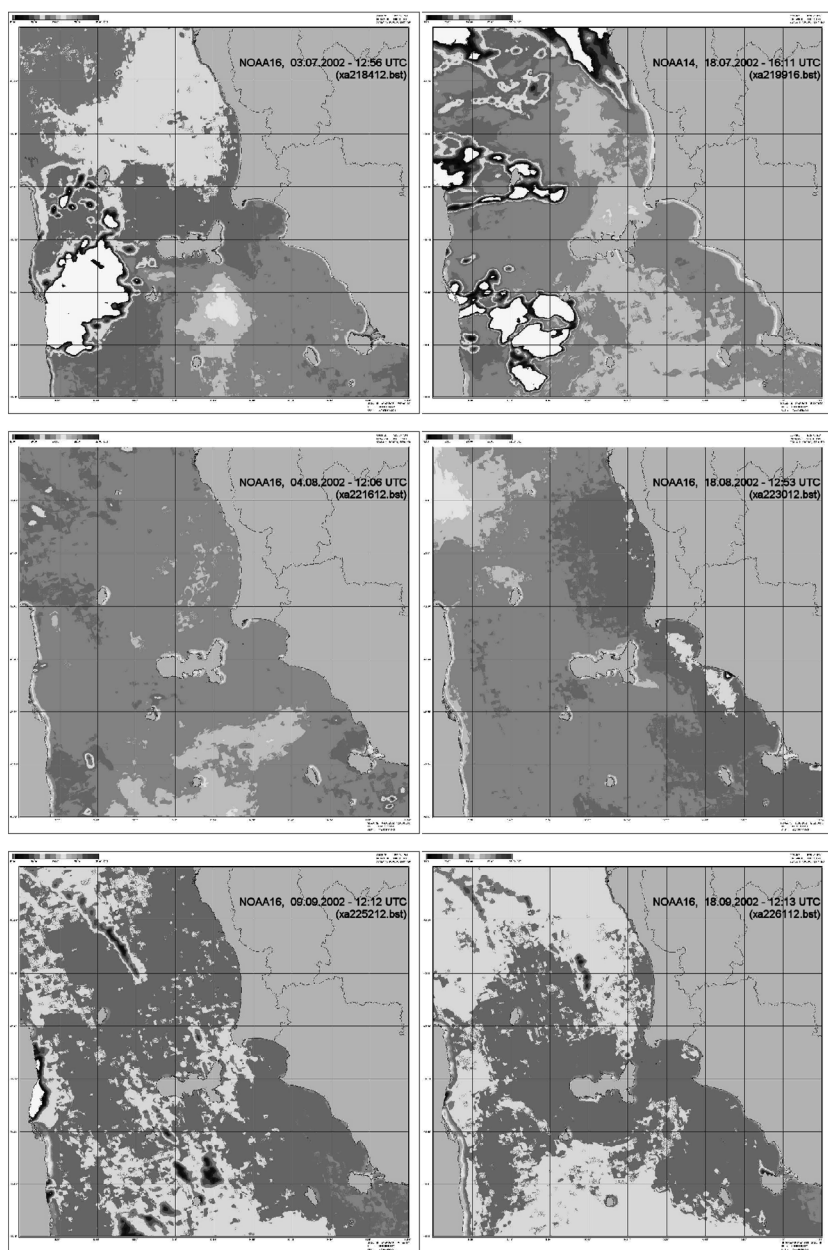


Fig. 16.2 Esempi di immagini della temperatura superficiale del mare [°C] per il formato "Arcipelago Toscano", riferite a 6 passaggi dei satelliti NOAA ricevuti tra il 03.07.2002 e il 18.09.2002

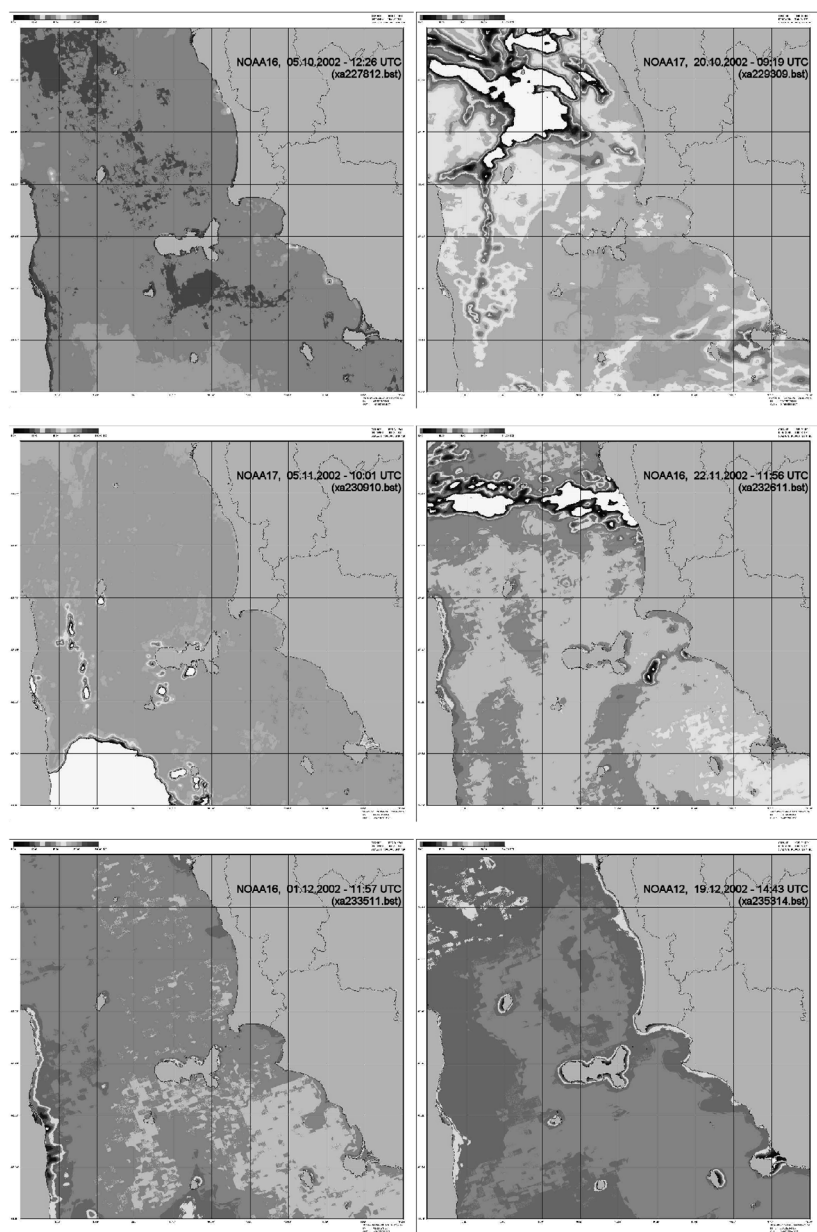


Fig. 16.3 Esempi di immagini della temperatura superficiale del mare [$^{\circ}\text{C}$] per il formato "Arcipelago Toscano", riferite a 6 passaggi dei satelliti NOAA ricevuti tra il 05.10.2002 e il 19.12.2002

17 ALCUNE TECNICHE DI ELABORAZIONE INDAGATE

Parte delle attività di ricerca connesse al presente Progetto sono state dedicate allo sviluppo di innovativi algoritmi, sia nell'elaborazione dei dati ricevuti da satellite che nell'estrazione di parametri fisici. Questi hanno riguardato in particolare l'analisi sub-pixel delle immagini in prossimità della costa (vedi paragrafo 17.1), l'interpolazione segmentata delle immagini satellitari per uno studio più accurato in prossimità della costa (vedi paragrafo 17.2), la classificazione di pixel nuvolosi (vedi paragrafo 17.3) e lo studio del movimento di zone termiche sulla superficie marina, attraverso l'analisi del moto del centroide d'inerzia e degli assi principali d'inerzia (vedi paragrafo 17.4).

17.1 Interpolazione sub-pixel

Nelle procedure di elaborazione dei dati ricevuti da sensori satellitari devono essere risolti due problemi iniziali: la georeferenziazione dei dati ed il loro ricampionamento su griglie regolari. La tecnica di georeferenziazione è stata illustrata precedentemente (vedi Capitolo 14).

Le tecniche di interpolazione assumono molta importanza nel momento in cui i dati devono essere posti su mappe geografiche di riferimento, per cui la qualità del ricampionamento può determinarne la qualità dei valori in uscita. I risultati ottenuti possono essere utilizzati sia direttamente che per applicazioni multitemporali o multisensore.

17.2 Analisi in prossimità della costa

Dato l'interesse particolare per le zone costiere, è stato sviluppato un algoritmo di interpolazione bilineare che consente il ricampionamento di pixel griglia situati in prossimità delle coste.

L'algoritmo realizzato, definito *algoritmo di interpolazione segmentata*, migliora la definizione delle immagini interpolate, soprattutto in prossimità delle coste, eliminando o riducendo sensibilmente l'effetto dato dalla vicinanza della costa, che si manifesta utilizzando il tradizionale algoritmo di interpolazione bilineare [Pratt 78].

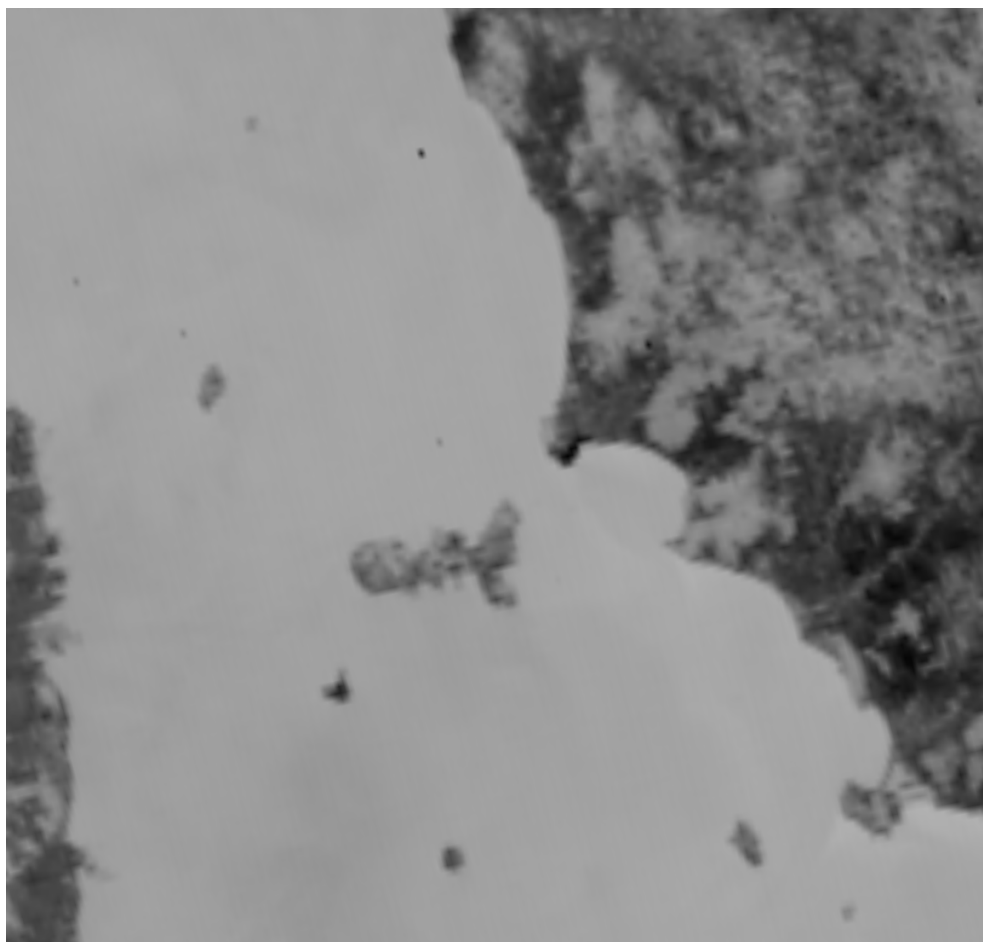


Fig. 17.1 *Interpolazione nel formato “Arcipelago Toscano” del canale 3 AVHRR NOAA; immagine del 12 luglio 1997, ora UTC 12:58 (file grezzo Tecnavia T9719312.582) in scala 1:1.000.000; le dimensioni dell'immagine senza artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1156×1101 le dimensioni reali su carta senza artefatti sono 17.3×15.5 cm. La procedura di interpolazione ordinaria non produce una separazione netta tra pixel di terra e pixel di mare: si può osservare una sfumatura progressiva tra il livello di grigio proprio della terra e quello del mare*

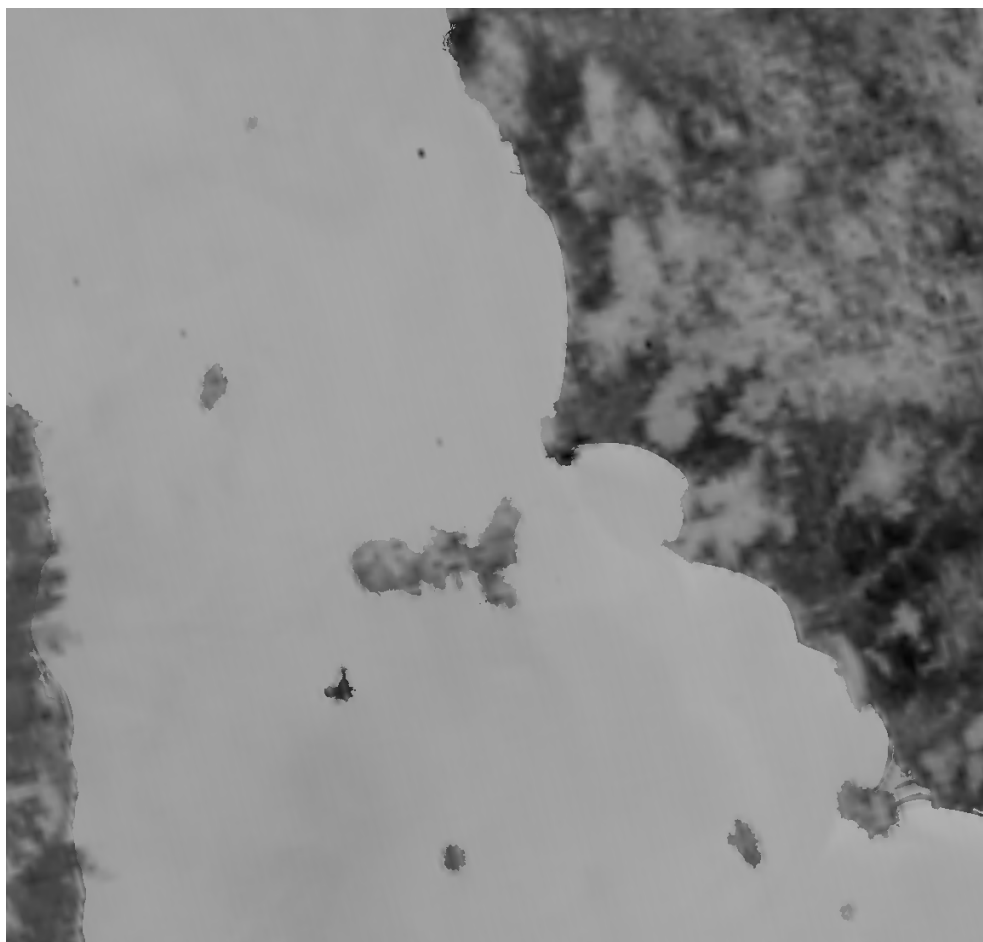


Fig. 17.2 *Immagine raster con interpolazione segmentata terra-mare per il formato "Arcipelago Toscano", l'immagine elaborata è sempre quella del 12 luglio 1997 ora UTC 12:58; in scala 1:1.000.000; le dimensioni reali dell'immagine senza artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1156×1101 le dimensioni su carta senza artefatti sono 17.3×15.5 cm*

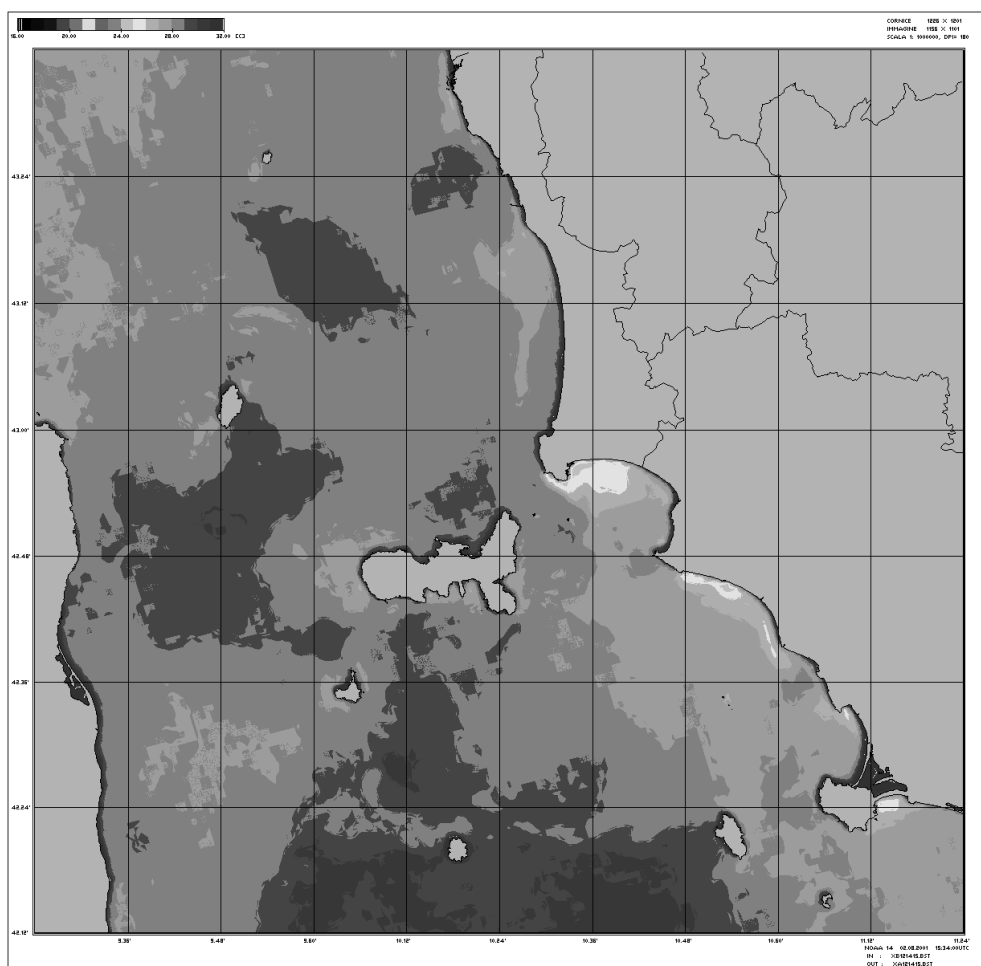


Fig. 17.3 *Interpolazione tradizionale: immagine di temperatura superficiale del mare (SST) dell'Arcipelago Toscano (2 agosto 2001, 15:34 UTC); limiti geografici (latitudine, longitudine) $\lambda = 9^{\circ}24'-11^{\circ}24'$, $\varphi = 42^{\circ}12'-43^{\circ}36'$; scala immagine 1:1.000.000; dimensioni reali immagine (larghezza, altezza) 1156×1101 pixel, 17.3×15.5 cm. L'immagine mostra un evidente "effetto di terra" in prossimità della costa: con l'interpolazione tradizionale la vicinanza di punti di terra ai pixel griglia da interpolare produce un sottile bordo scuro*

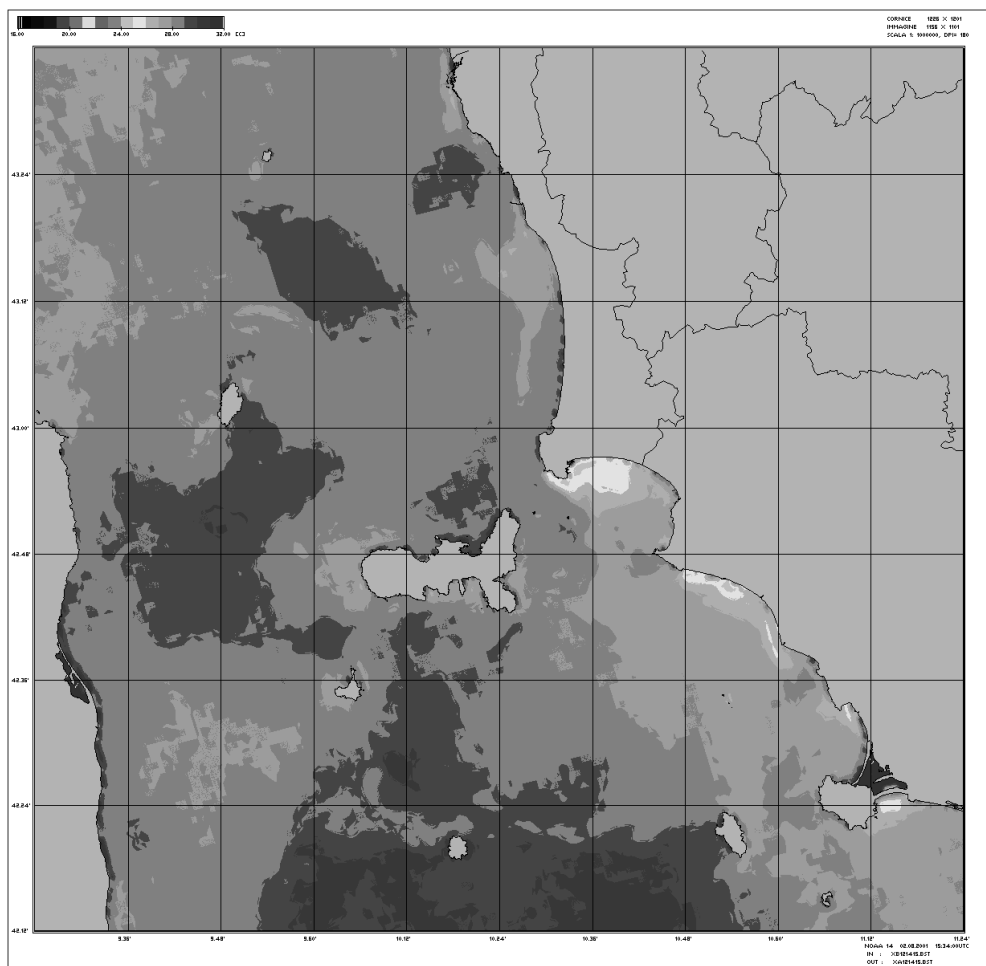


Fig. 17.4 *Interpolazione segmentata: immagine di temperatura superficiale del mare (SST) dell'Arcipelago Toscano (2 agosto 2001, 15:34 UTC); limiti geografici (latitudine, longitudine) $\lambda = 9^{\circ}24'-11^{\circ}24'$, $\varphi = 42^{\circ}12'-43^{\circ}36'$; scala immagine 1:1.000.000; dimensioni immagine (larghezza, altezza) 1156×1101 pixel, 17.3×15.5 cm. Con l'interpolazione segmentata i pixel griglia di mare vicini alla costa vengono interpolati utilizzando soltanto punti da satellite non contaminati: il bordo scuro evidenziato nella Fig. 17.6, scompare o si riduce notevolmente*

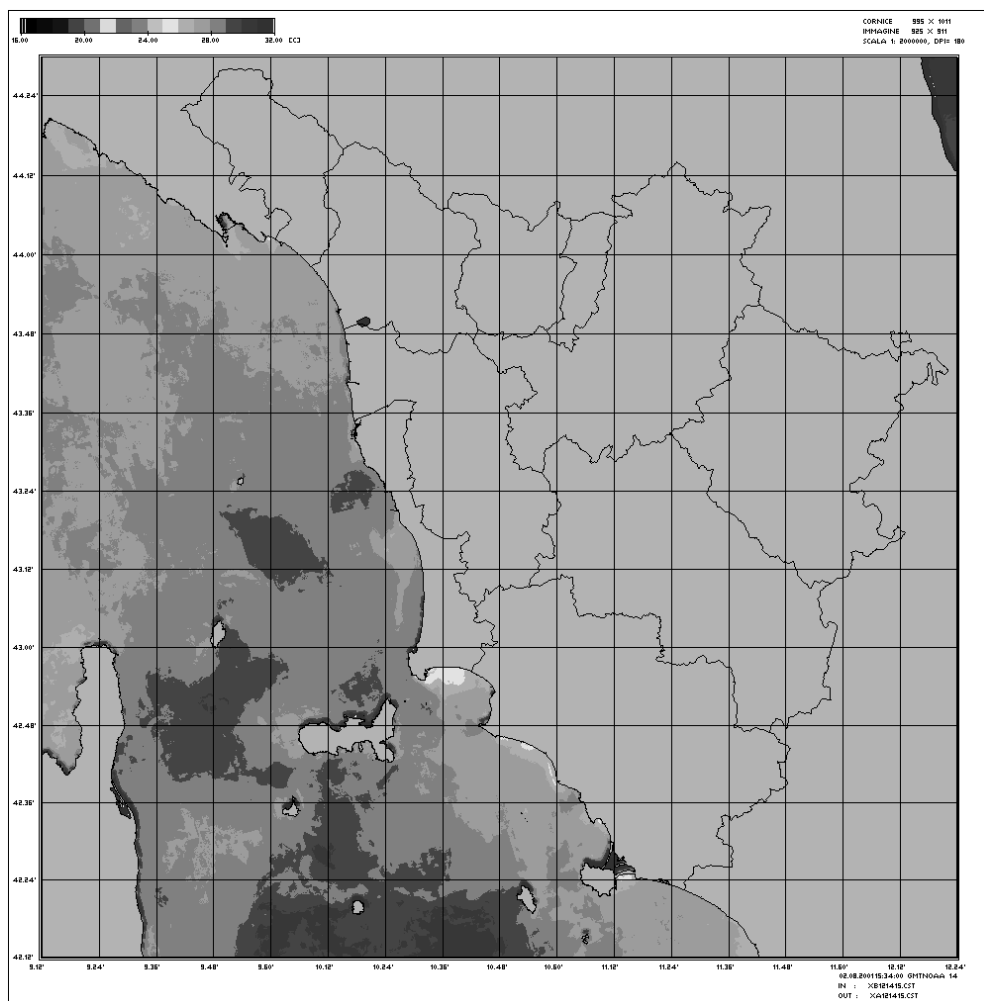


Fig. 17.5 Interpolazione segmentata: immagine di temperatura superficiale del mare (SST) della Toscana (2 agosto 2001, 15:34 UTC); limiti geografici (latitudine, longitudine) $\lambda = 9^{\circ}12' - 12^{\circ}24'$, $\varphi = 42^{\circ}12' - 44^{\circ}30'$; scala immagine 1:2.000.000; dimensioni reali immagine (larghezza, altezza) 995×1011 pixel, 14×14.3 cm

Attraverso le Figg. 17.1 e 17.2 è possibile osservare il confronto tra un'immagine ottenuta con l'algoritmo bilineare tradizionale e un'immagine ottenuta con l'algoritmo di interpolazione realizzato.

L'algoritmo di interpolazione segmentata effettua, come l'algoritmo ordinario, un'interpolazione bilineare dei pixel griglia (u,v) . La differenza rispetto al precedente algoritmo sta nel fatto che quello realizzato ricalca opportunamente la coordinata z dei punti acquisiti da satellite prima di effettuare l'interpolazione di un dato pixel (u,v) .

Vengono presentate di seguito altre immagini ottenute dall'elaborazione con algoritmo segmentato: le Figg. 17.3 e 17.4 riportano le immagini di SST (*Sea Surface Temperature*) dell'Arcipelago Toscano, l'immagine di Fig. 17.3 è stata ottenuta con l'algoritmo tradizionale, mentre l'immagine della Fig. 17.4 con l'algoritmo segmentato. La Fig. 17.5 riporta un'immagine di SST della Toscana; nella Fig. 18.7 (vedi Capitolo 18) viene riportato un dettaglio ingrandito del porto di Livorno tratto dall'immagine della Fig. 17.5 stessa.

17.3 Identificazione automatica delle nuvole

La presenza di nuvole nelle immagini telerilevate col sensore AVHRR, a bordo dei satelliti NOAA ed operante nelle frequenze dell'infrarosso, limita lo studio dei parametri marini causando un'erronea stima della Temperatura Superficiale del Mare (SST). Acquista dunque una notevole importanza la capacità di identificare e mascherare i pixel nuvolosi, in maniera automatica ed accurata, nelle immagini ricevute.

Il calcolo dei pixel nuvolosi richiede la conoscenza dei seguenti elementi:

- maschera Terra-Mare;
- soglie della Temperatura Virtuale della Superficie Marina (SSTv);
- mappa della SSTv.

Il termine "virtuale" deriva dal fatto che la temperatura superficiale è ottenuta con l'algoritmo MCSST (vedi Capitolo 12) che ha validità esclusivamente sui pixel di mare non nuvolosi.

I test per l'identificazione delle nuvole, svolti solo sui pixel di mare, si basano su due punti [Cayula 96] [Maturi 93]:

Discriminazione del valore della SSTv rispetto al sottofondo	=>	La presenza di una nube è contraddistinta da un livello del pixel più basso della SSTv attesa
Controllo dell'uniformità spaziale della grandezze SSTv	=>	La presenza del bordo della nube determina una notevole varianza spaziale della SSTv

I risultati ottenuti vengono illustrati facendo riferimento ad un esempio relativo all'immagine del 25 ottobre 2002 delle ore 12:05 UTC (13:05 ore italiana) (Fig. 17.6). Dalla maschera Terra-Mare-Nuvole (Fig. 17.7) risulta una formazione nuvolosa al largo dell'Argentario. Con molta probabilità si tratta di cirrostrati che, a causa della loro natura, sono di difficile identificazione. Tali nubi si formano a quote di oltre 5.000 m e, pur essendo unicamente composti da cristalli di ghiaccio, si presentano come un sottile e vasto velo, la cui caratteristica esilità facilita l'erronea classificazione. Si nota inoltre la presenza di nubi sul Mar Ligure, al largo di Cap Corse e di Bastia e a Est, Sud-Est dell'Isola di Pianosa.

Della stessa immagine è stata realizzata una mappa di Temperatura Superficiale del Mare con l'identificazione automatica delle nuvole (Fig. 17.8).

L'algoritmo di riconoscimento automatico delle nubi, basato sia sulla discriminazione della SSTv che sul controllo della sua uniformità spaziale, assicura una buona affidabilità della classificazione, perché possiamo considerare realmente nuvolosi i pixel riconosciuti come tali (Fig. 17.9).

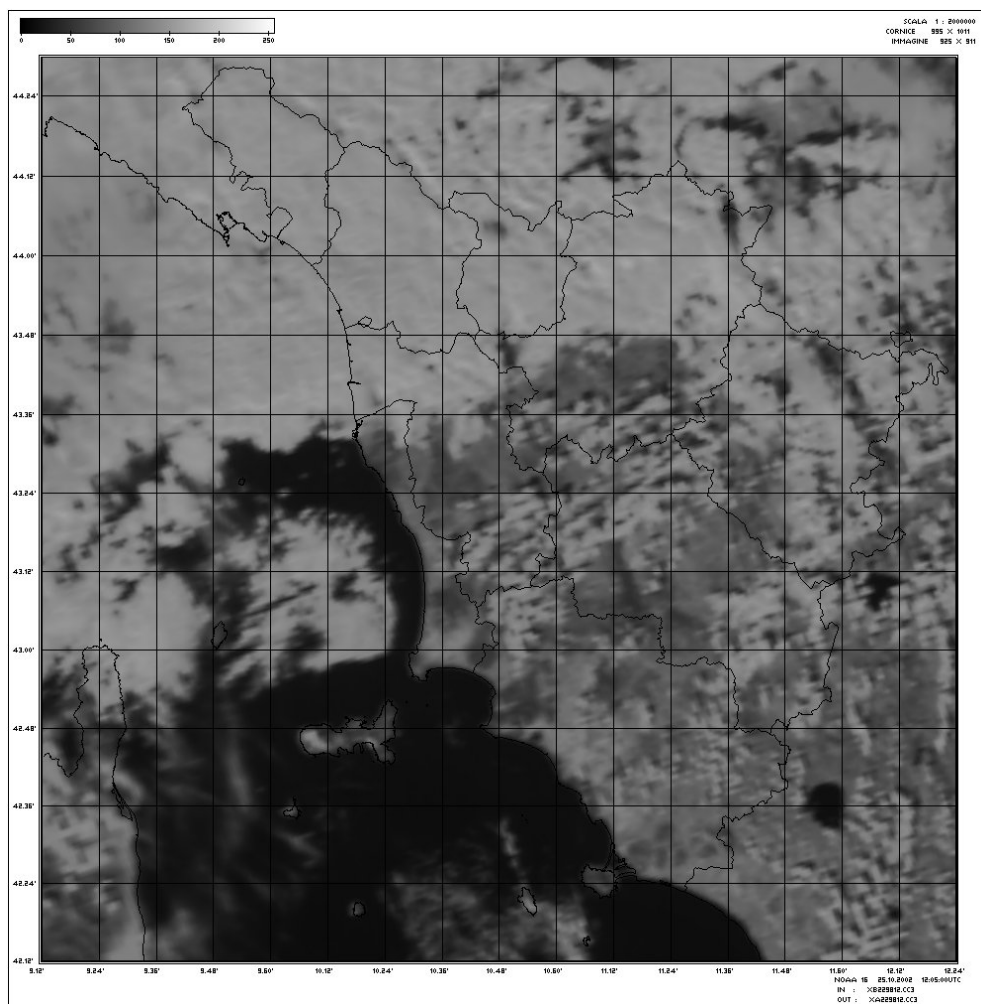


Fig. 17.6 File *xa229812.CC3*, count canale 3 del sensore AVHRR georeferenziato in proiezione di Mercatore 8 bit/pixel, del 25 ottobre 2002 delle ore 12:05 UTC con massiccia presenza nuvolosa sull'Arcipelago Toscano



Fig. 17.7 File xb229812.CCL, maschera Terra-Mare-Nuvole dell'immagine del 25 ottobre 2002 delle ore 12:05 UTC, telerilevata col sensore AVHRR a bordo del satellite NOAA16. L'identificazione delle nubi è stata svolta con la procedura automatica descritta in paragrafo 17.3; la parte scura identifica le nubi

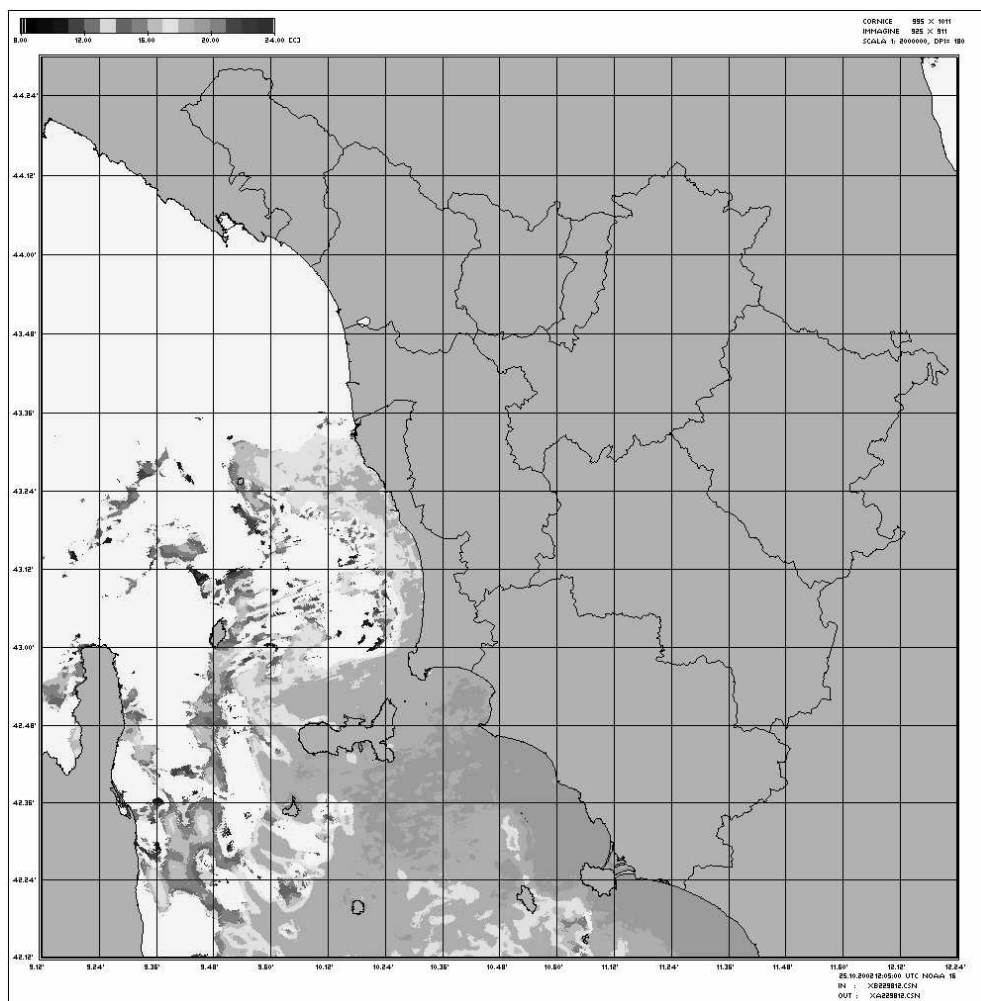


Fig. 17.8 File xa229812.CST, mappa di Temperatura Superficiale del Mare, con mascheramento dei pixel nuvolosi, del 25 ottobre 2002 delle ore 12:05 UTC. L'identificazione delle nubi è stata svolta con la procedura automatica descritta al paragrafo 17.3

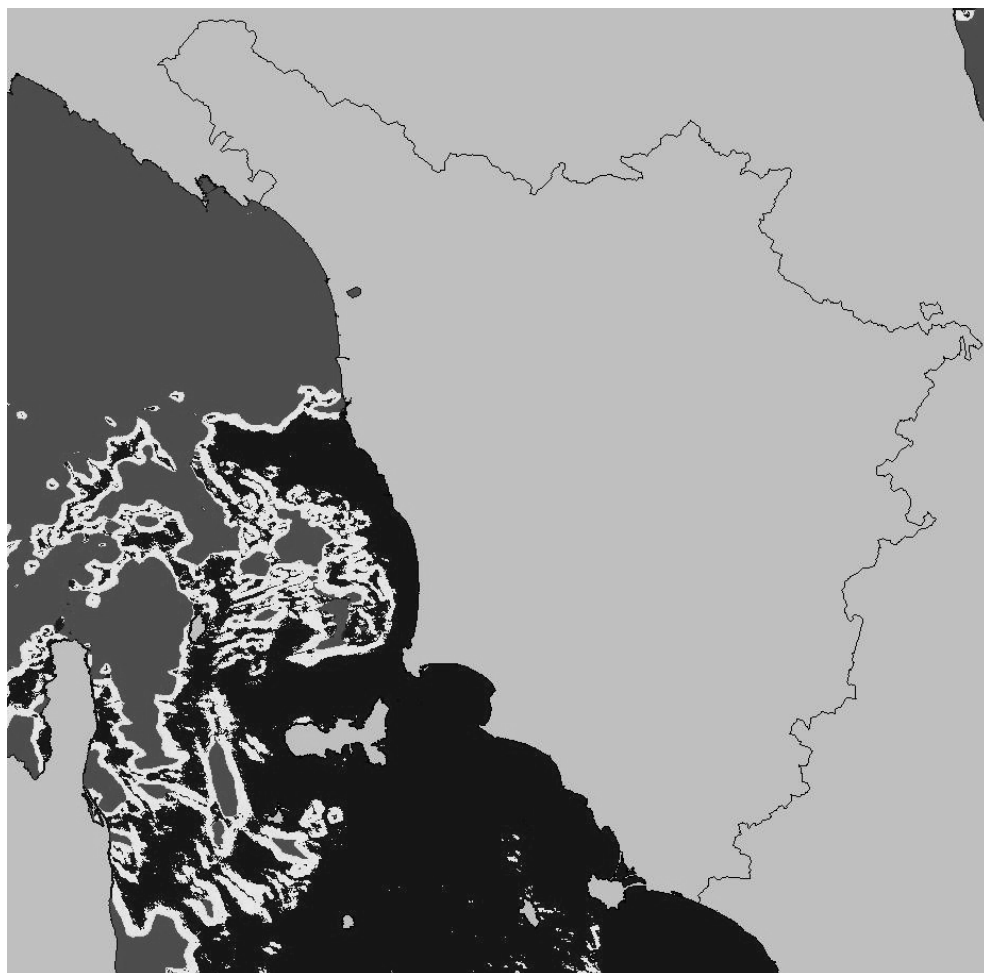


Fig. 17.9 File xa229812.cct, mappa di Temperatura Superficiale del Mare, con mascheramento dei pixel nuvolosi basato su due algoritmi diversi, del 25 ottobre 2002 delle ore 12:05 UTC. (Pixel nuvolosi: grigio chiaro – identificazione basata sulla discriminazione del valore della SSTv; bianco - identificazione basata sul Controllo dell'uniformità spaziale del valore della SSTv)

17.4 Metodo dei momenti per l'individuazione del moto di fronti termici (SST)

Un'applicazione multitemporale basata sul metodo dei momenti è stata investigata utilizzando le mappe di SST ottenute da sensori NOAA-AVHRR.

Gli algoritmi sviluppati hanno fatto uso dei dati elaborati su cui è stata identificata un'area di studio; il metodo dei momenti è stato applicato a insiemi di pixel di temperatura appartenenti a tali aree, con temperature rilevate superiori ad un livello di soglia prefissato. Dalle zone termiche evidenziate in Fig. 17.10, si rileva che le aree sono compatte e mantengono forme simili. L'informazione utile che possiamo ricercare è una ipotetica velocità di spostamento della massa (qui intesa come l'insieme di pixel che costituiscono l'isola di calore) o al più una rotazione.

Il metodo dei momenti è sfruttato per calcolare il centroide della zona termica in un sistema di riferimento da noi scelto. Valutando la massa della zona e la posizione temporale del centroide possiamo poi calcolare facilmente la velocità di spostamento.

Sono elencate di seguito le formule sfruttate nella trattazione [Pellegrini 95].

Momento del primo ordine rispetto all'asse u:

$$m_{10} = \sum_{i,j} u_{i,j} T_{i,j} \quad (17.1)$$

Momento del primo ordine rispetto all'asse v:

$$m_{01} = \sum_{i,j} v_{i,j} T_{i,j} \quad (17.2)$$

Coordinate del centroide :

$$U_{cd} = \frac{\sum_{i,j} u_{i,j} T_{i,j}}{\sum_{i,j} T_{i,j}} \quad (17.3)$$

$$V_{cd} = \frac{\sum_{i,j} v_{i,j} T_{i,j}}{\sum_{i,j} T_{i,j}} \quad (17.4)$$

Le coordinate prese in considerazione sono misurate in pixel e l'origine del nostro sistema di riferimento è l'angolo inferiore a sinistra dell'immagine. Riferendosi alle formule precedenti si ha che:

- l'asse u è l'asse delle ascisse (per un pixel il numero della colonna a cui esso appartiene);
- l'asse v è l'asse delle ordinate (per un pixel il numero della riga a cui esso appartiene).

Nella sommatoria per il calcolo del momento del primo ordine sull'asse u , il fattore che si somma è la coordinata u per la temperatura corrispondente. Le stesse ipotesi sono state utilizzate nelle applicazioni delle altre relazioni.

Il calcolo dei momenti centrali, è un'altra informazione utile per studiare il movimento della zona termica. In particolare si può valutare come si modifica la disposizione della massa rispetto agli assi principali di inerzia. Per questo si calcolano i momenti centrali, rispetto al centroide, e l'angolo rispetto al nord (azimuth) che identifica l'asse principale di inerzia.

Formula per il calcolo dei momenti:

$$m_{ab} = \sum_{i,j} v_{i,j}^b u_{i,j}^a T_{i,j} \quad (17.5)$$

Formula per il calcolo dei momenti centrali rispetto al centroide:

$$\mu_{2,0} = \sum_{i,j} u_{i,j}^2 T_{i,j} = m_{20} - (m_{00} U_{cd}^2) \quad (17.6)$$

$$\mu_{1,1} = \sum_{i,j} v'_{i,j} u'_{i,j} T_{i,j} = m_{11} - (m_{00} U_{cd} V_{cd}) \quad (17.7)$$

$$\mu_{0,2} = \sum_{i,j} v_{i,j}^2 T_{i,j} = m_{02} - (m_{00} V_{cd}^2) \quad (17.8)$$

Formula per il calcolo del momento di inerzia rispetto al centroide in funzione di un angolo φ rispetto all'asse u :

$$\begin{aligned}
 I(\varphi) &= \mu_{20} \sin(\varphi) + \mu_{02} \cos(\varphi) - 2\mu_{11} \sin(\varphi) \cos(\varphi) \\
 \frac{dI(\varphi)}{d\varphi} &= (\mu_{20} - \mu_{02}) \sin(2\varphi) - 2\mu_{11} \cos(2\varphi) = 0 \\
 \frac{d^2 I(\varphi)}{d\varphi^2} &= 4\mu_{11} \sin(2\varphi) + 2(\mu_{20} - \mu_{02}) \cos(2\varphi)
 \end{aligned} \tag{17.9}$$

Calcolo dell'angolo φ_M :

$$\varphi_M = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{2 * \mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}}\right) \quad \varphi_M = -\frac{\pi}{2} \div \frac{\pi}{2} \tag{17.10}$$

Verifica se la soluzione è minima o massima:

$$\text{Se } \left. \frac{d^2 I(\varphi)}{d\varphi^2} \right|_{\varphi_M} > 0 \quad \varphi_M = \varphi_M + \frac{\pi}{2} \quad \varphi_M = -\frac{\pi}{2} \div \pi \tag{17.11}$$

$$\text{Se } \left. \frac{d^2 I(\varphi)}{d\varphi^2} \right|_{\varphi_M} < 0 \quad \varphi_M = \varphi_M \quad \varphi_M = -\frac{\pi}{2} \div \frac{\pi}{2} \tag{17.12}$$

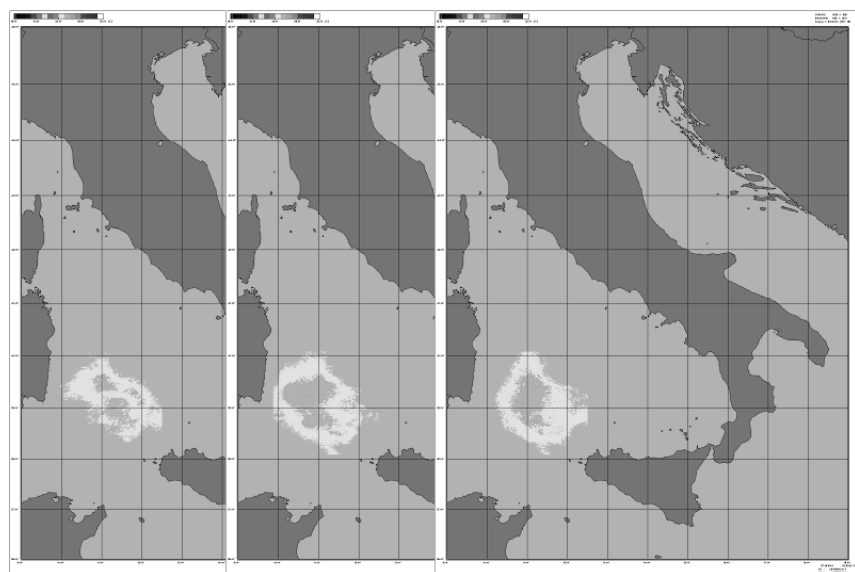


Fig. 17.10 *Evoluzione temporale dell'isola di calore individuata da una temperatura di soglia di 25 °C*

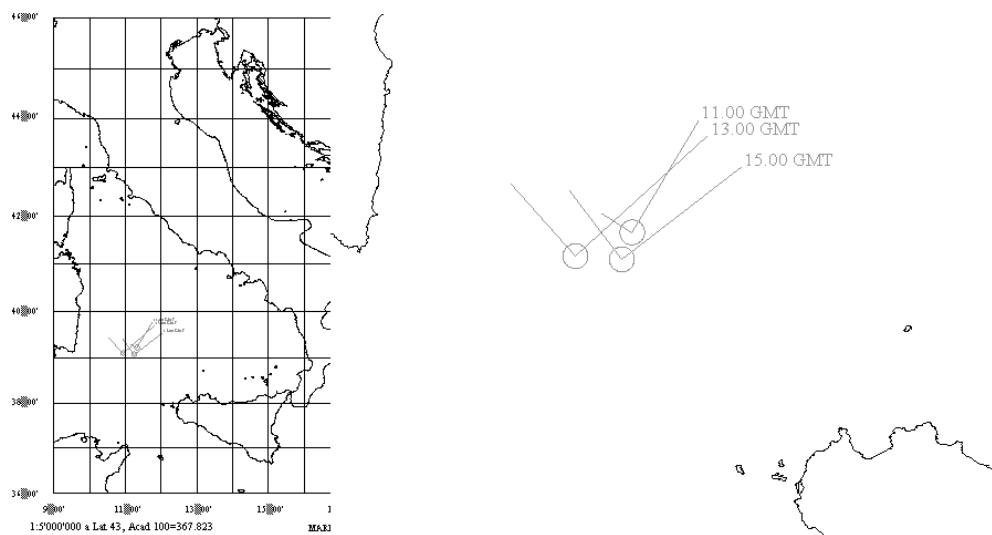


Fig. 17.11 *Posizione temporale del centroide e degli assi di inerzia principali che tengono conto della rotazione della massa. Sulla destra è riportato un ingrandimento della regione di interesse*

Un altro esempio di applicazione del metodo dei momenti è stato realizzato sul formato “Toscana” per il giorno 12.07.2002; in Tab.17.1 sono riportate le caratteristiche principali delle immagini elaborate. Nelle Fig.17.12-17.15 sono riportate le isole di calore ottenute mantenendo la soglia delle mappe di temperatura al valore di 24.5 °C, e in Fig. 17.16 sono visualizzati i risultati.

Immagine	Sat NOAA	Ora UTC (HH.MM.SS)	Ora Solare (HH.MM.SS)
b0219306.cst	14	06.03.00	06.06.30
b0219312.cst	16	12.58.00	13.05.00
b0219315.cst	12	15.40.00	15.47.30
b0219317.cst	15	17.11.00	17.17.30

Tab. 17.1 *Caratteristiche delle immagini utilizzate per il calcolo*

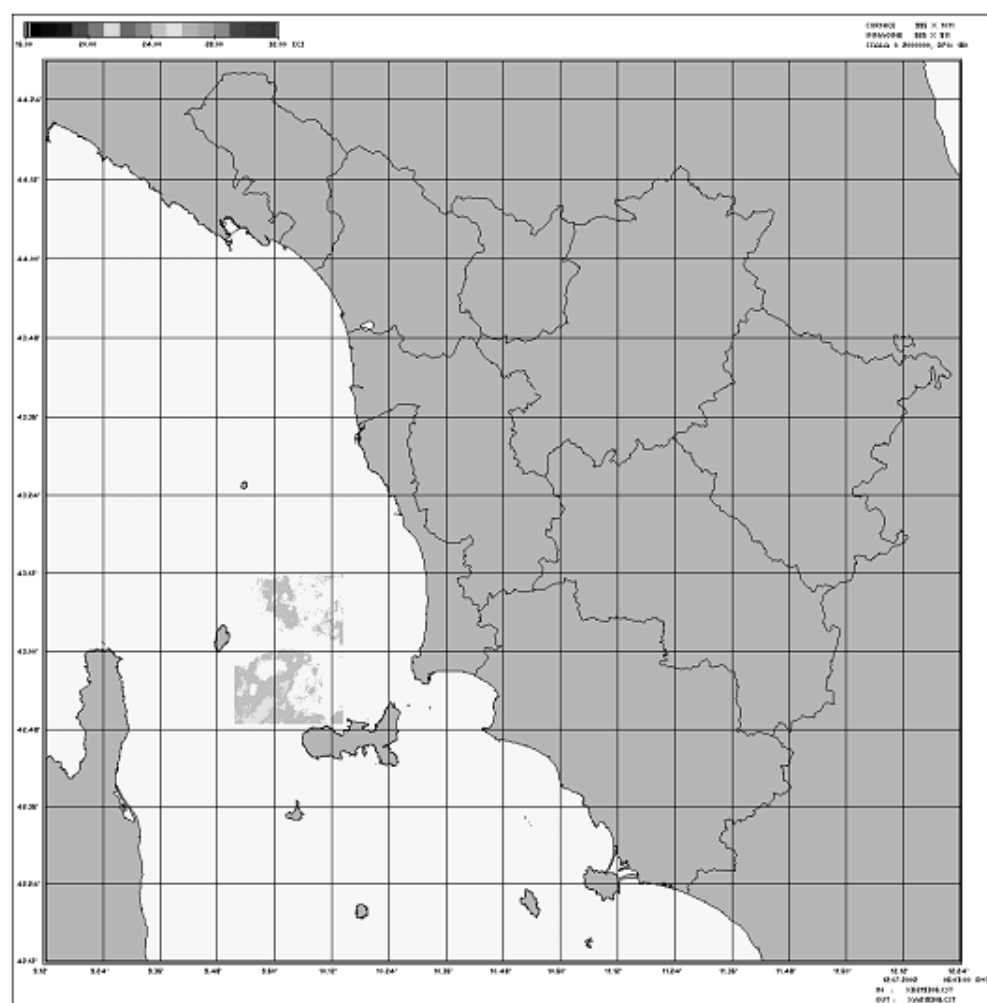


Fig. 17.12 Immagine xa0219306.cst del 12.07.2002 delle ore 06.03 (UTC - ora inizio passaggio) con evidenziati i pixel che appartengono all'area monitorizzata e superiori alla temperatura di soglia (24.5°C)

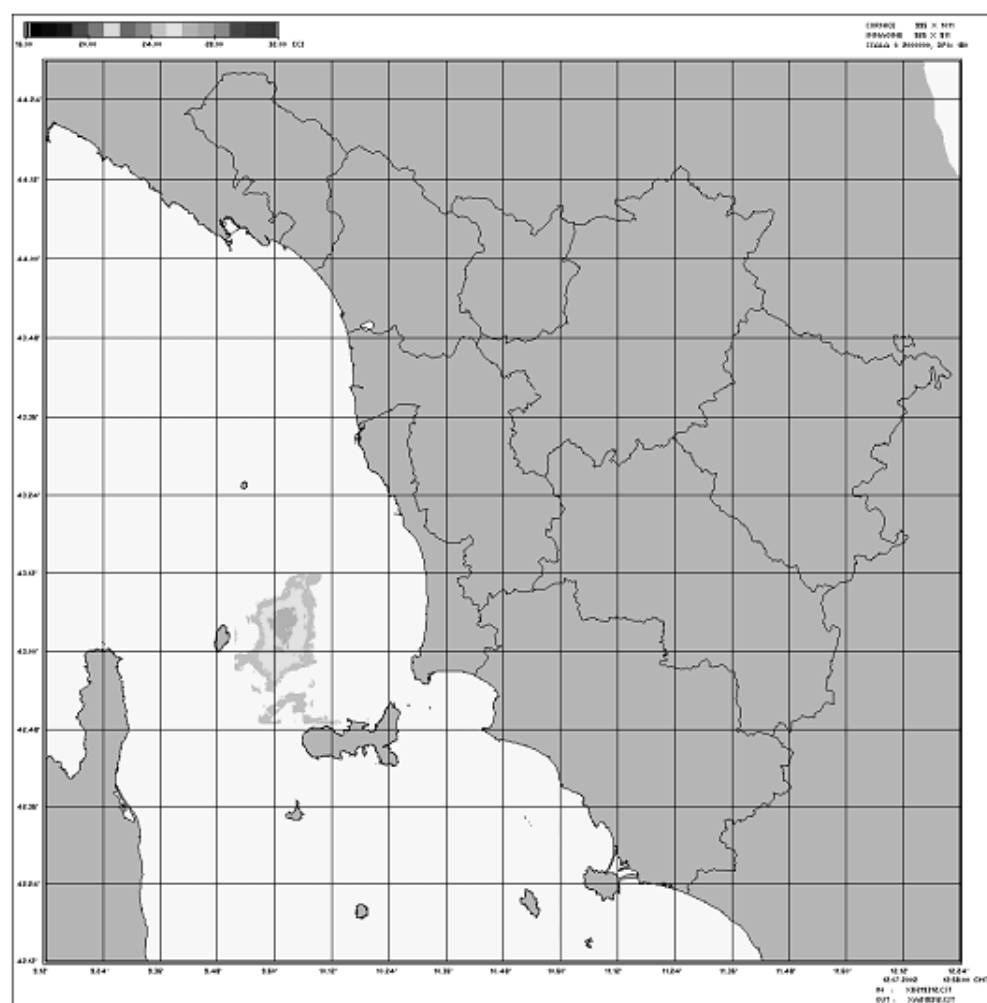


Fig. 17.13 Immagine xa0219312.cst del 12.07.2002 delle ore 12.58 (UTC - ora inizio passaggio) con evidenziati i pixel che appartengono all'area monitorizzata e superiori alla temperatura di soglia (24.5 °C)

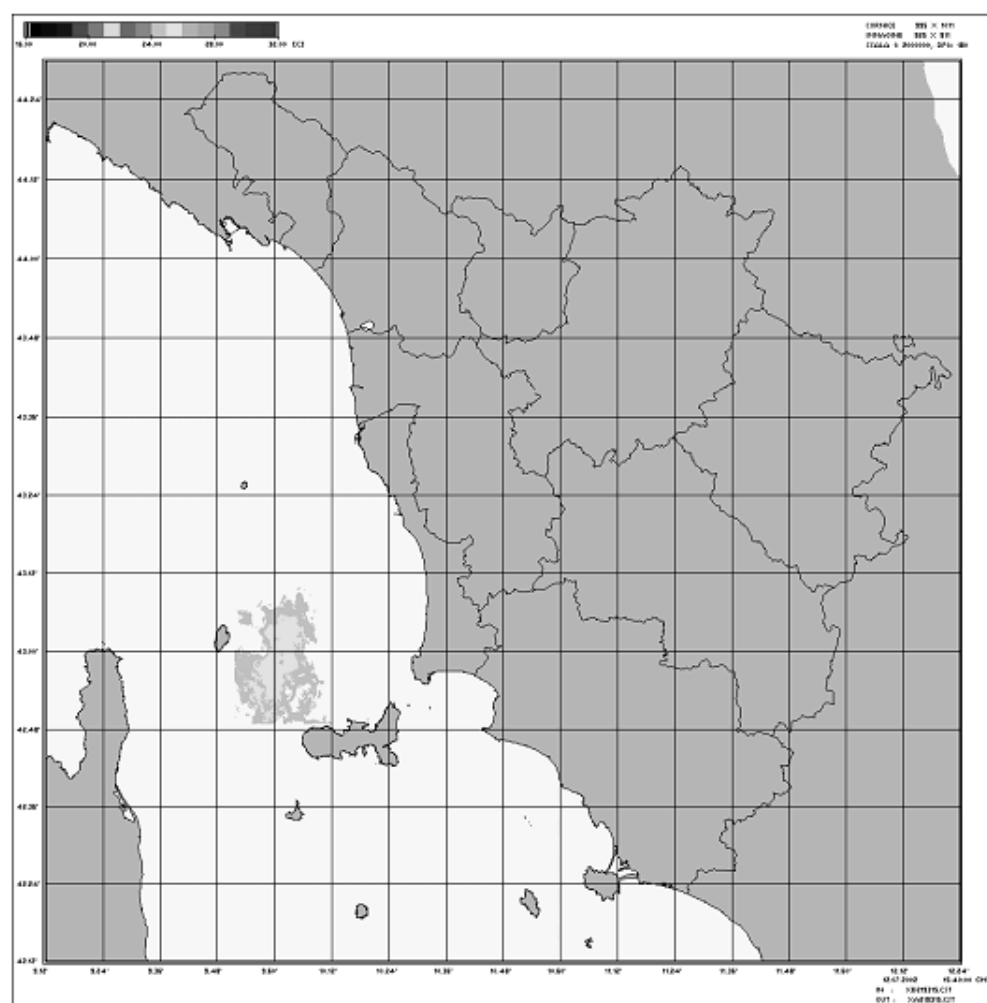


Fig. 17.14 Immagine xa0219315.cst del 12.07.2002 delle ore 15.40 (UTC - ora inizio passaggio) con evidenziati i pixel che appartengono all'area monitorizzata e superiori alla temperatura di soglia (24.5°C)

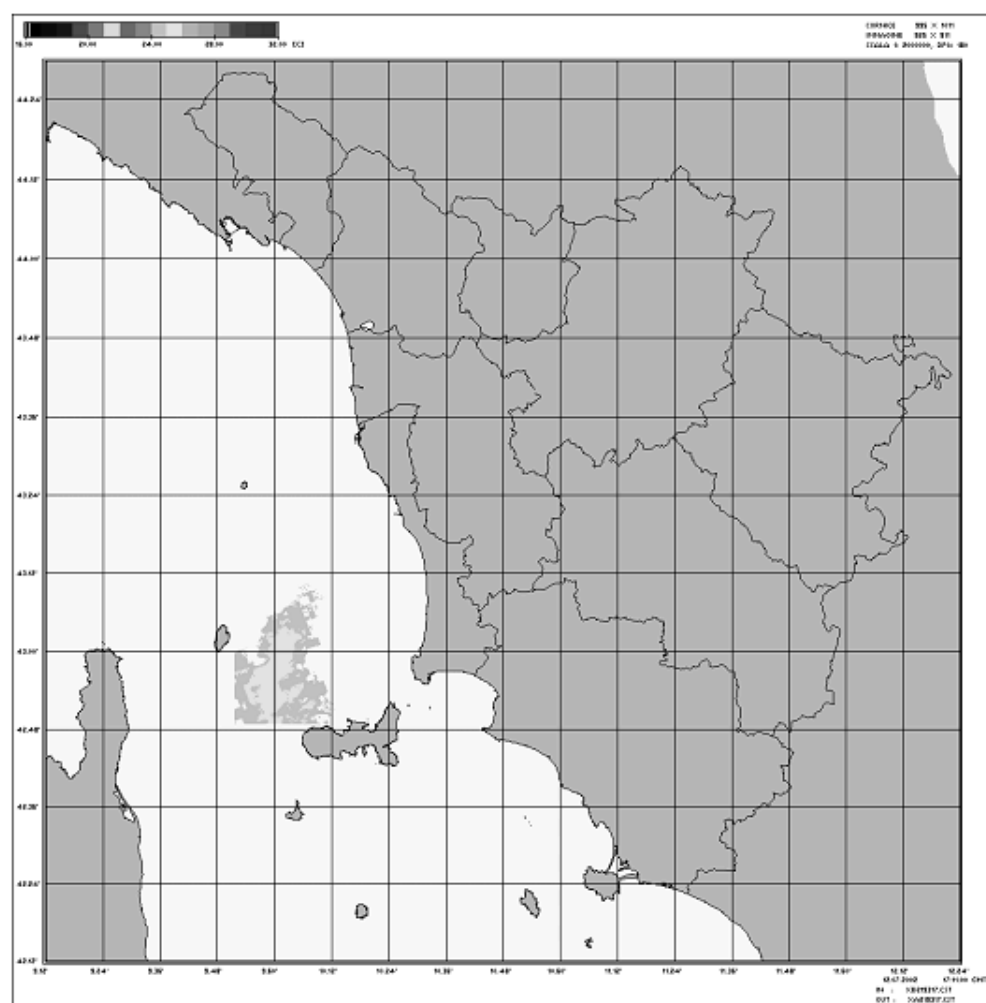


Fig. 17.15 Immagine xa0219317.cst del 12.07.2002 delle ore 17.11 (UTC - ora inizio passaggio) con evidenziati i pixel che appartengono all'area monitorizzata e superiori alla temperatura di soglia (24.5 °C)

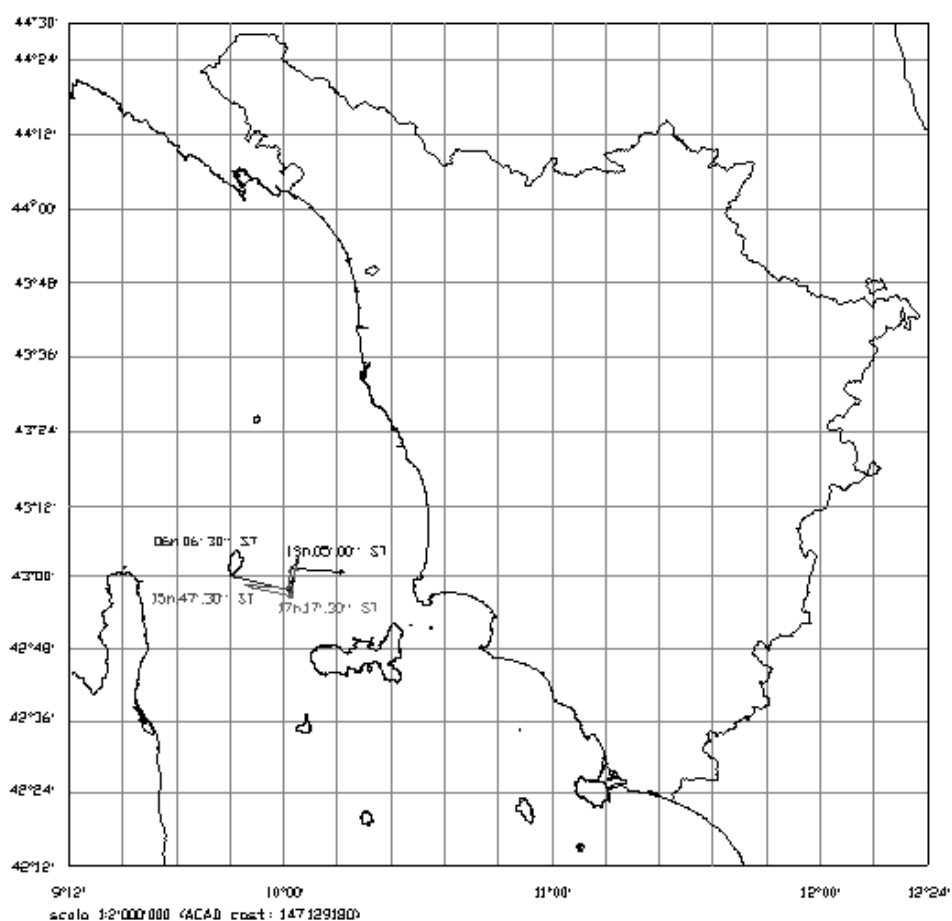


Fig. 17.16 *Posizione temporale del centroide e degli assi di inerzia principali che tengono conto della rotazione della massa. A destra è riportato un ingrandimento della regione di interesse dove è evidenziato il movimento temporale del moto dei centroidi di inerzia e degli assi di inerzia principali che tengono conto della rotazione della massa*

18 MEDIE MENSILI DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE (SST) IN TOSCANA

Dai rilievi sulla Temperatura Superficiale del Mare (SST) ottenuti giornalmente sono state calcolate le medie mensili di tali grandezze sul mare interessante la Toscana.

18.1 Le immagini con le temperature medie

La media è stata effettuata pixel per pixel delle immagini per il formato Toscana (vedi Capitolo 3) dopo aver scartato i pixel nuvolosi (vedi paragrafo 17.3). Le immagini si riferiscono quindi alle medie mensili delle SST relative ai soli giorni soleggiati (ai pixel soleggiati per ogni ripresa). Per queste elaborazioni sono stati usati “passaggi” ricevuti dal satellite NOAA-16. La consistenza del campione è di circa 2-3 riprese/giorno per circa 12-30 riprese mese. Nelle Figg. 18.3-18.6 sono riportati i risultati ottenuti dal luglio 2001 al luglio 2002. Queste rappresentano in falsi colori, secondo la palette di Fig. 18.22, la SST per una valutazione visiva dei risultati. Risultati che sono invece disponibili con risoluzione di almeno 0.1 °C (vedi paragrafo seguente). Questi ultimi sono stati utilizzati per ottenere informazioni su diverse zone del mare Toscano.

18.2 Descrizione delle zone geografiche scelte

All'interno del formato geografico Toscana (vedi Fig. 3.5) sono state scelte delle aree geografiche, in modo da ottenere risultati differenziati per le diverse zone di interesse. Sono state considerate zone ellittiche, adiacenti alla costa, e rettangolari al largo. Come ulteriore criterio, è stato stabilito che i rettangoli avessero tutti la stessa superficie, mentre per le ellissi, pur cercando di rispettare tale criterio, si è deciso di consentire una maggiore flessibilità. La Fig. 18.1 mostra in dettaglio l'area geografica compresa dal formato Toscana. Sono indicate le varie zone che risultano caratterizzate da un numero da 100 a 122. Quelle ellittiche in prossimità della costa coprono aree di circa 102 NM² in genere distanti da 2 a 9 NM dalle coste stesse. Le zone rettangolari hanno una superficie di circa 543 NM². Nelle Tabelle 18.1 e 18.2 è riportato un quadro sintetico sull'ubicazione delle zone scelte, secondo il criterio specificato in precedenza.

L'andamento delle temperature medie relative alle diverse zone è riportato nelle Figg. 18.8 e 18.9, rispettivamente per mare costiero e mare aperto. Per maggior chiarezza sono riportati gli stessi andamenti per le sole zone evidenziate nella Fig.

18.2. Questi andamenti, riportati nelle Figg. 18.10 e 18.11 presentano interessanti aspetti dal punto di vista climatico. Si può notare come gli andamenti relativi al mare costiero dalla foce del Magra fino a Livorno dall'ottobre 2001 al maggio 2002 presentino temperature ben al di sotto (fino a 2 °C e oltre) della media della zona di mare Totale del formato "Toscana" o delle altre zone costiere tra Piombino e la zona sud dell'Argentario. Per le zone al largo differenze sostanziali (fino a 2 °C) si trovano principalmente nei mesi di settembre e ottobre, ad esempio tra il mare aperto tra Corsica e 5 Terre e il mare a Nord e a Sud dell'Elba. Queste ultime zone risultano avere temperature medie più alte delle altre durante gli stessi mesi.

Zona	Asse maggiore.				Località
	Lon. S	Lat. S	Lon. N	Lat. N	
100	10°13'	43°50'	09°59'	44°01'	Versilia
101	10°12'	43°33'	10°12'	43°48'	Viareggio - Livorno
102	10°22'	43°17'	10°15'	43°31'	Livorno - Cecina
103	10°28'	43°01'	10°27'	43°16'	Cecina - Baratti
104	10°34'	42°48'	10°24'	42°57'	Canale di Piombino
105	10°44'	42°50'	10°34'	42°55'	Golfo di Follonica
106	10°57'	42°41'	10°37'	42°45'	Da Canale di Piombino a Castiglion della Pescaia
107	10°68'	42°27'	10°55'	42°39'	Da Castiglion della Pescaia ad Argentario
108	10°93'	42°16'	10°74'	42°22'	Costa a SE dell'Argentario
109	09°48'	44°00'	09°13'	44°16'	Cinque Terre
110	09°15'	42°44'	09°15'	43°00'	Da Capo Corso a St. Florent

Tab. 18.1 Ubicazione geografica delle zone ellittiche. Sono indicate latitudine e longitudine degli estremi dell'asse maggiore, e la località corrispondente.

Zona n.	Lon. SW	Lat. SW	Lon. NE	Lat. NE	Località
111	09°13'	43°44'	09°42'	43°57'	Zona a circa 18 miglia a S delle 5 Terre
112	09°44'	43°33'	10°02'	43°54'	Zona a 18 NM a S del Tino
113	09°13'	43°28'	09°42'	43°41'	Zona a circa 35 NM a N della Giraglia
114	09°13'	43°02'	09°31'	43°24'	Zona a circa 15 NM a N della Giraglia
115	09°32'	43°05'	09°51'	43°27'	NW della Capraia e SW della Gorgona
116	09°55'	43°12'	10°14'	43°33'	Zona a Est della Gorgona
117	10°02'	42°50'	10°21'	43°11'	Zona a N dell'Elba ed E di Capraia
118	09°31'	42°44'	09°60'	42°58'	Zona a S di Capraia ed E di Capo Corso
119	09°33'	42°28'	10°02'	42°42'	Zona tra Pianosa e la Corsica
120	10°08'	42°28'	10°37'	42°41'	Zona a S dell'Elba ed a E di Pianosa
121	09°42'	42°12'	10°14'	42°26'	Zona tra Corsica e Montecristo
122	10°21'	42°12'	10°50'	42°26'	Zona tra Montecristo e Giglio

Tab. 18.2 *Ubicazione geografica delle zone rettangolari. Sono indicate latitudine e longitudine dei vertici sud-ovest e nord-est, e la località corrispondente*

Le immagini delle temperature medie (Figg. 18.3-18.6) e i grafici dell'andamento di tali temperature nelle diverse zone di indagine (Figg. 18.8-18.9 e Figg. 18.10-18.11) sono state ricavate attraverso le immagini ricevute in tempo reale presso la Stazione di Ricezione Satelliti del Polo Universitario di Prato.

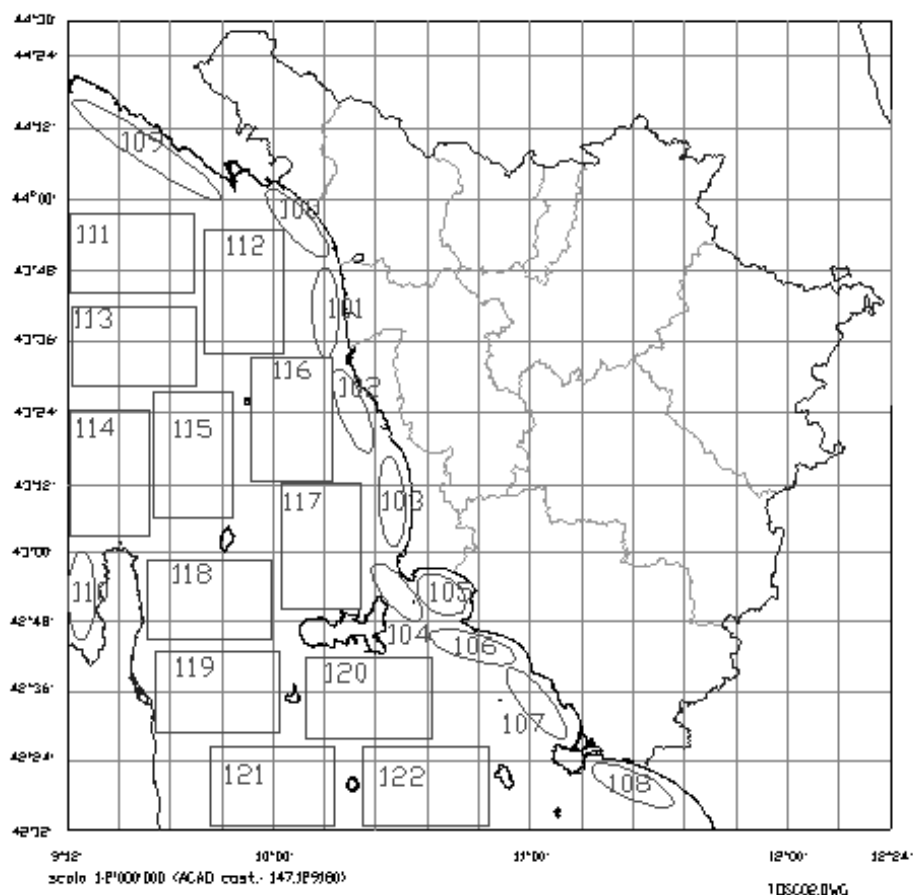


Fig. 18.1 Le varie zone di mare considerate per la determinazione della temperatura SST, specificate nelle Tab. 18.1 e 18.2.

I formati geografici standard per l'elaborazione delle immagini sono "Arcipelago Toscano", "Toscana", "Mari Italia" (vedi Figg. dalla 3.4 alla 3.6); nel presente Capitolo sono riportate le immagini delle medie nel formato "Toscana". Come esempio di altri possibili formati utilizzabili, vengono riportate le immagini di SST negli altri disponibili, tra cui anche nel formato "Mediterraneo Centrale-Occidentale" (Figg. 18.12-18.14 e Figg. 18.17-18.20).

Disponendo inoltre di dati SeaWiFS/SeaStar è possibile integrare le mappe di temperatura e temperatura media con mappe di altre grandezze fisiche di interesse come ad esempio la concentrazione di clorofilla (Fig. 18.15) o la radianza al sensore misurata su una certa banda spettrale (Fig. 18.16).

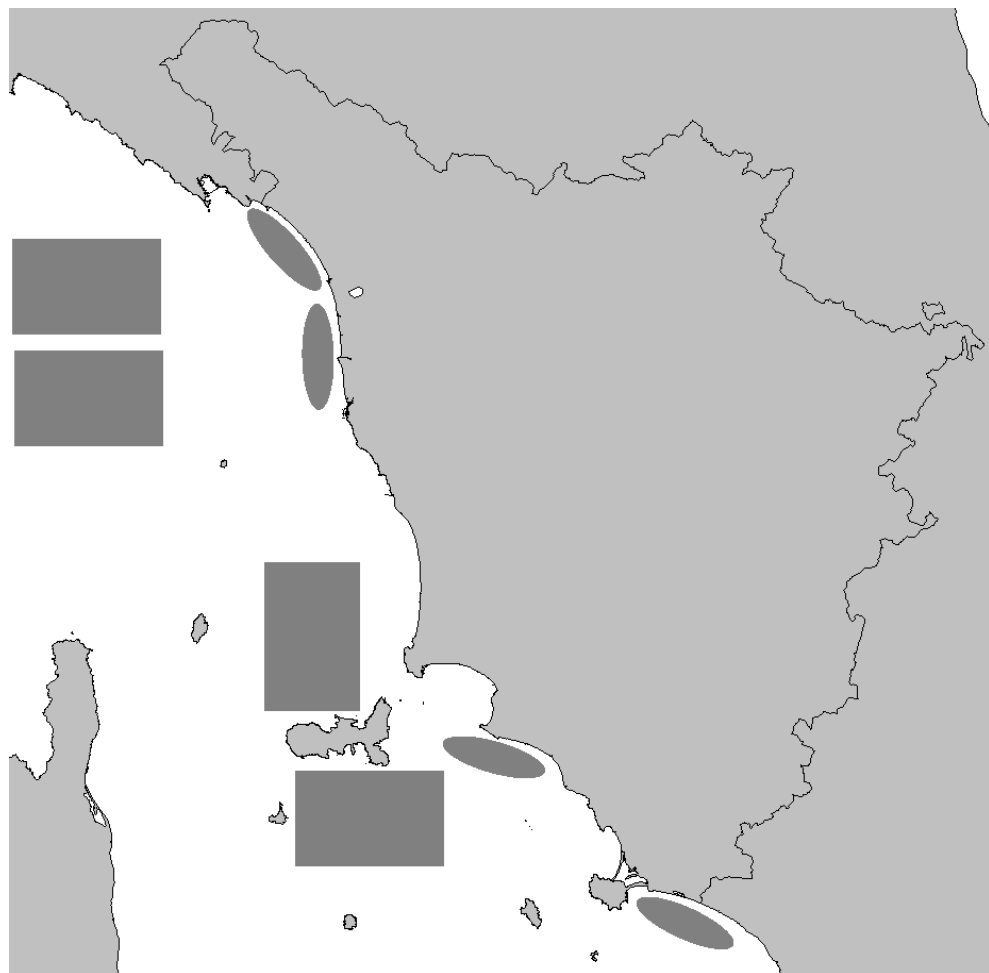


Fig. 18.2 *Mappa terra con identificate le zone ellittiche e rettangolari utilizzate per il calcolo della temperatura SST, specificate nelle Tabelle 18.1 e 18.2*

Per completezza, nella Fig. 18.7 viene schematizzata in dettaglio la modalità di trattamento dei pixel in gioco nella procedura di interpolazione segmentata (vedi paragrafo 17.2), utilizzata al fine di ottenere una migliore approssimazione del valore di temperatura superficiale del mare in prossimità della costa.

Nelle Figg. 18.21-18.22 vengono infine mostrati i codici dei colori utilizzati per la rappresentazione di tutte le immagini riportate in questo Capitolo.

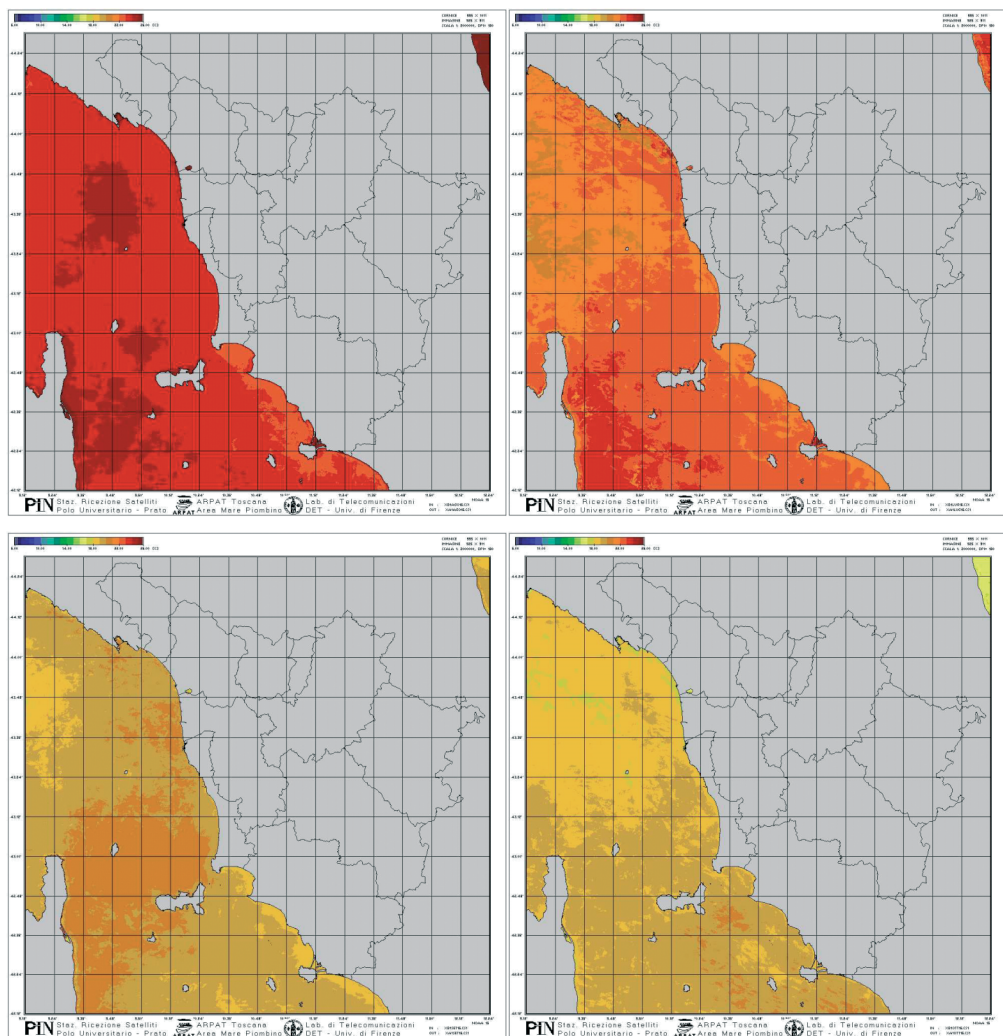


Fig. 18.3 Valore medio della temperatura del mare (SST), nei periodi di assenza nubi per i mesi da luglio a ottobre 2001, elaborato da dati NOAA-16

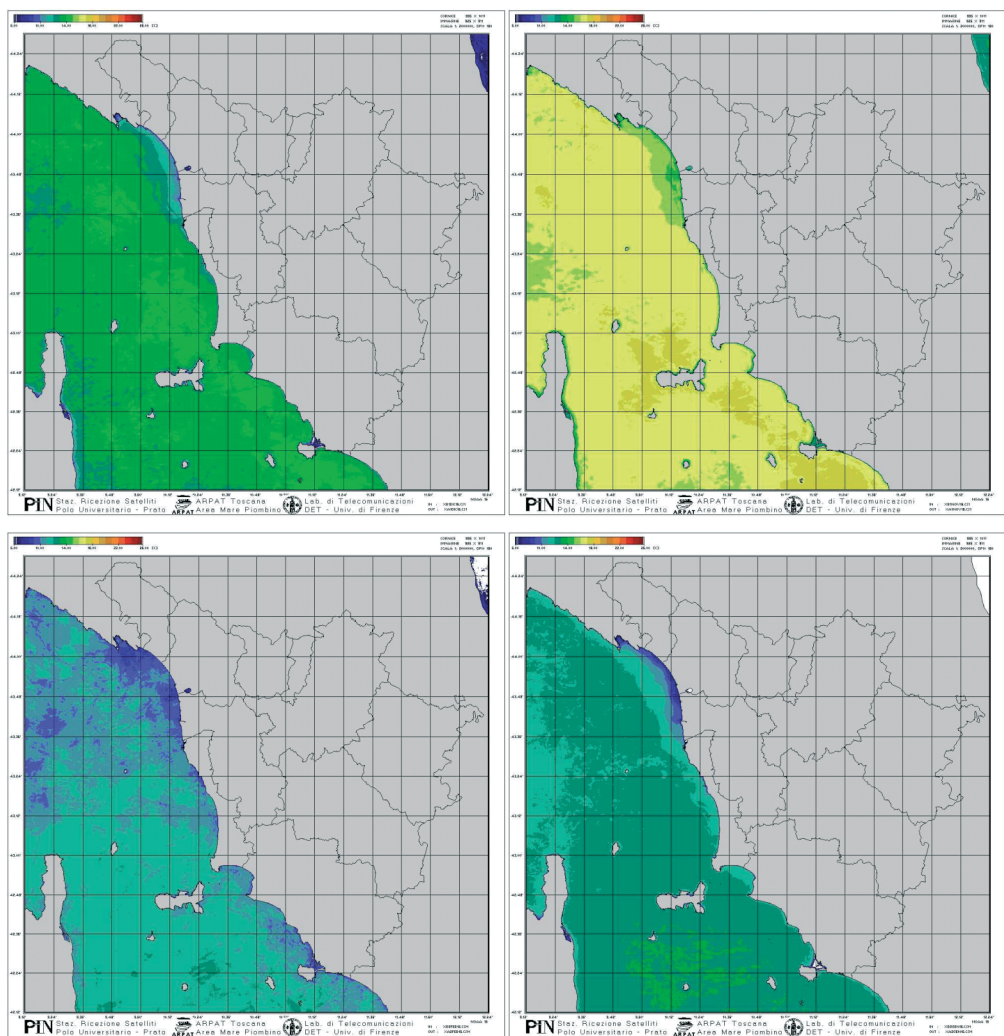


Fig. 18.4 Valore medio della temperatura del mare (SST), nei periodi di assenza nubi per i mesi da novembre 2001 a febbraio 2002, elaborato da dati NOAA-16

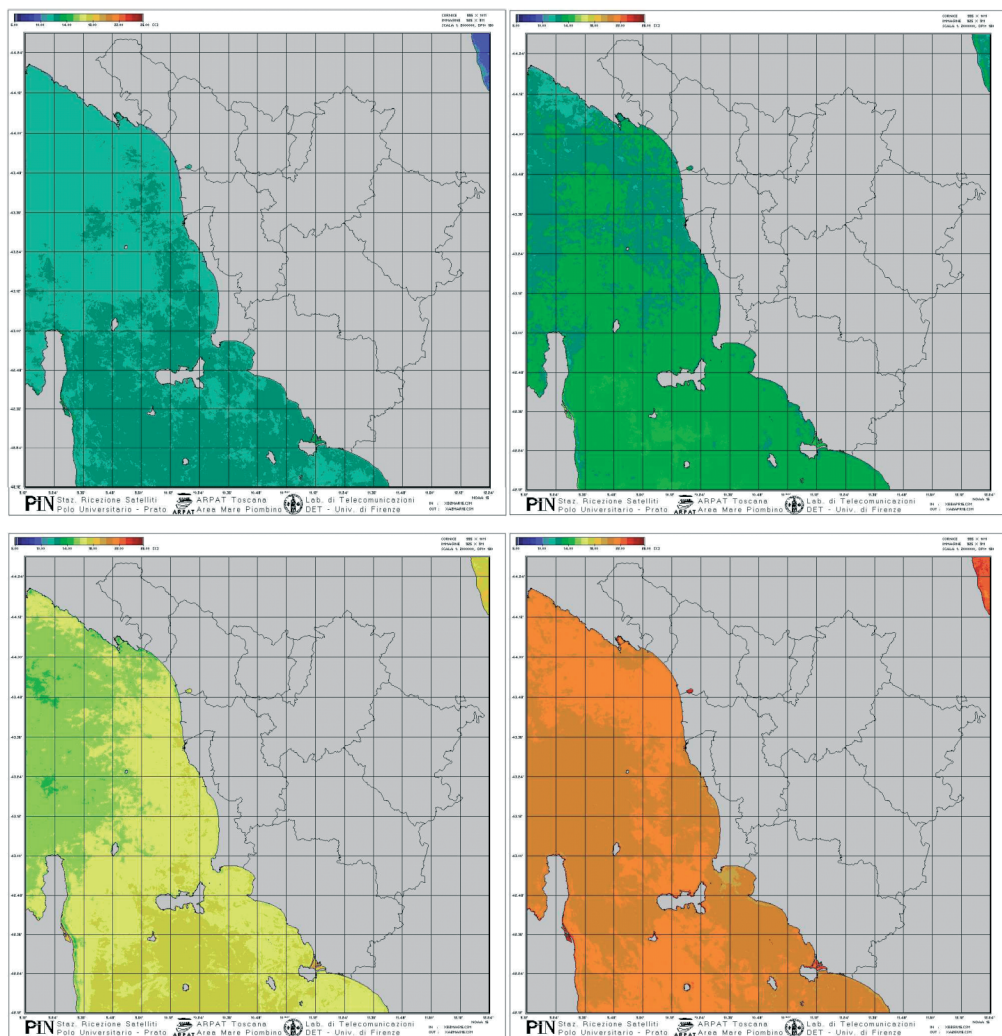


Fig. 18.5 Valore medio della temperatura del mare (SST), nei periodi di assenza nubi per i mesi da marzo a giugno 2002, elaborato da dati NOAA-16

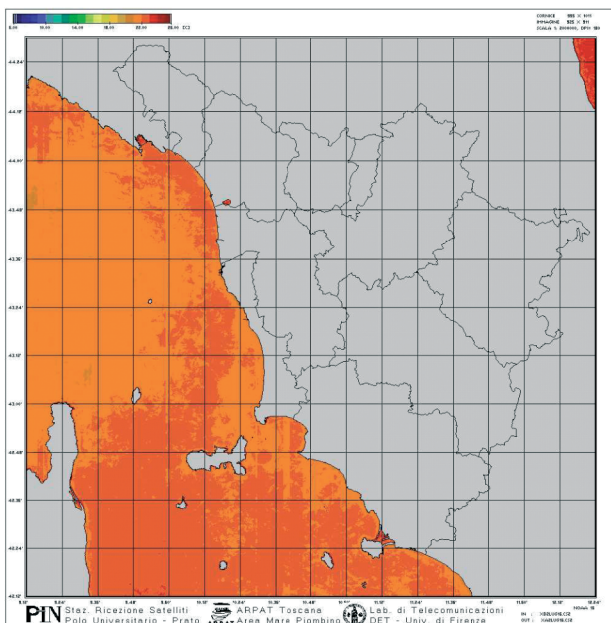


Fig. 18.6 *Valore medio della temperatura del mare (SST), nei periodi di assenza nubi per il mese di luglio 2002, elaborato da dati NOAA-16*

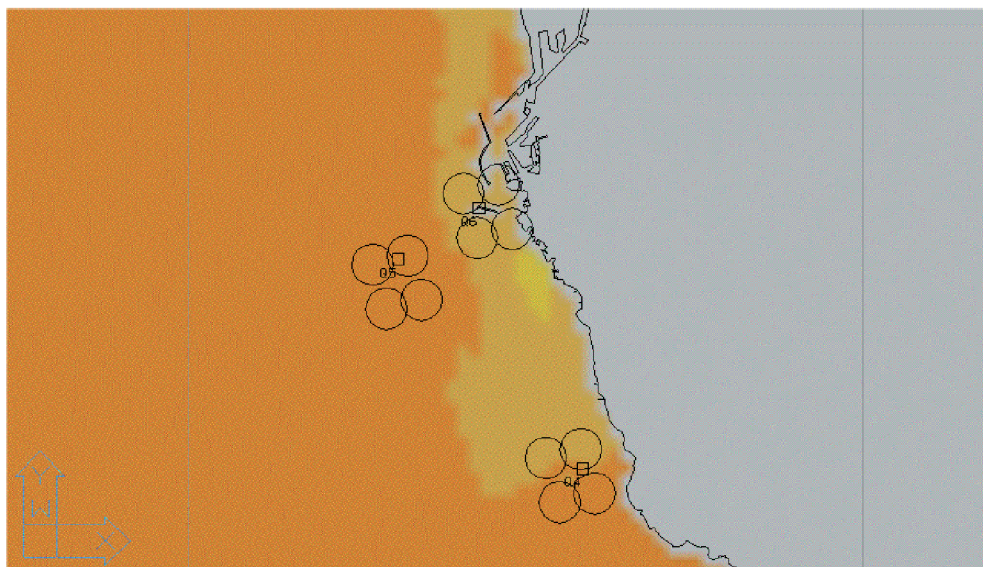


Fig. 18.7 *Dettaglio del porto di Livorno, ingrandito dalla Fig.17.4; nella figura vengono considerati tre pixel di mare (di forma quadrata) e, intorno ad essi, i vertici del quadrilatero di riferimento per l'interpolazione (di forma rotonda) usati per il ricampionamento*

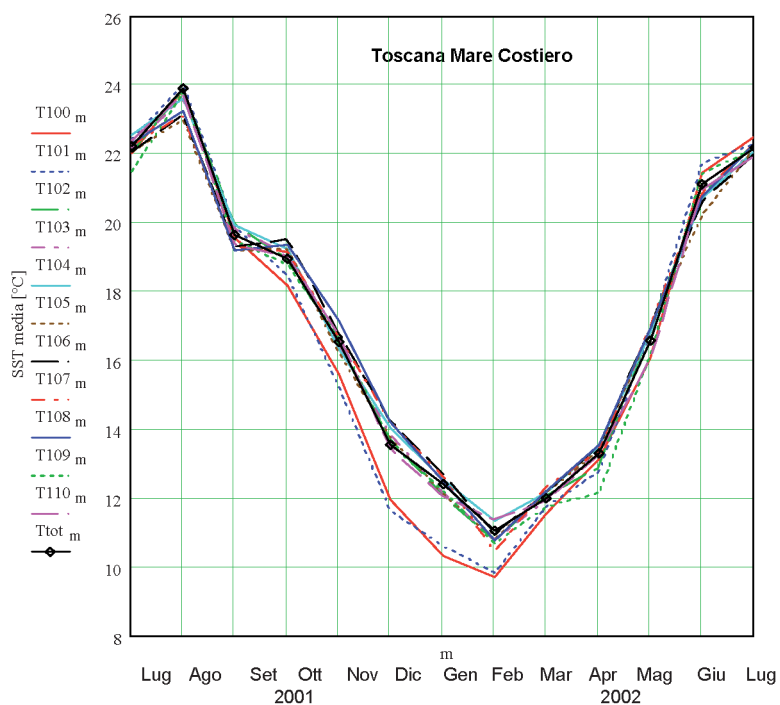


Fig. 18.8
Andamento
della
temperatura
media nelle
zone costiere di
mare
considerate

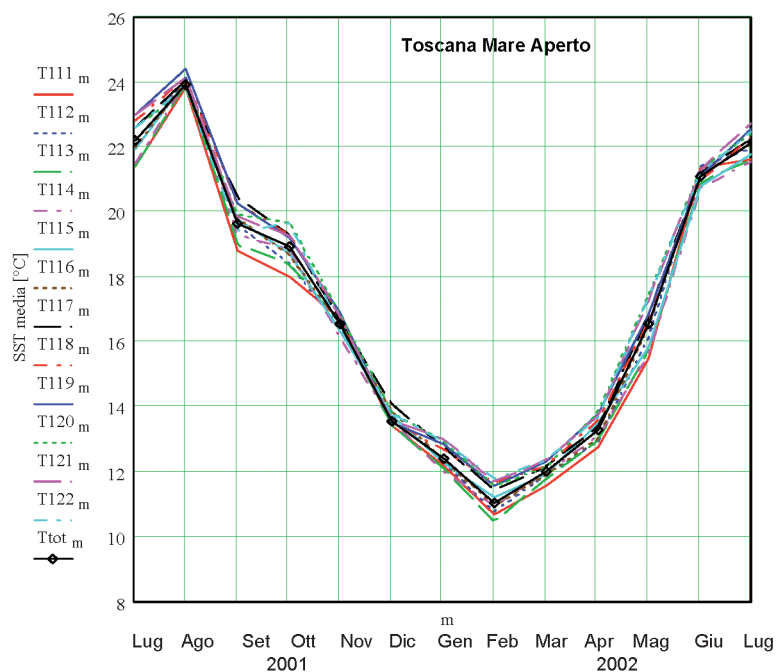


Fig. 18.9
Andamento
della
temperatura
media nelle
zone di mare
aperto
considerate

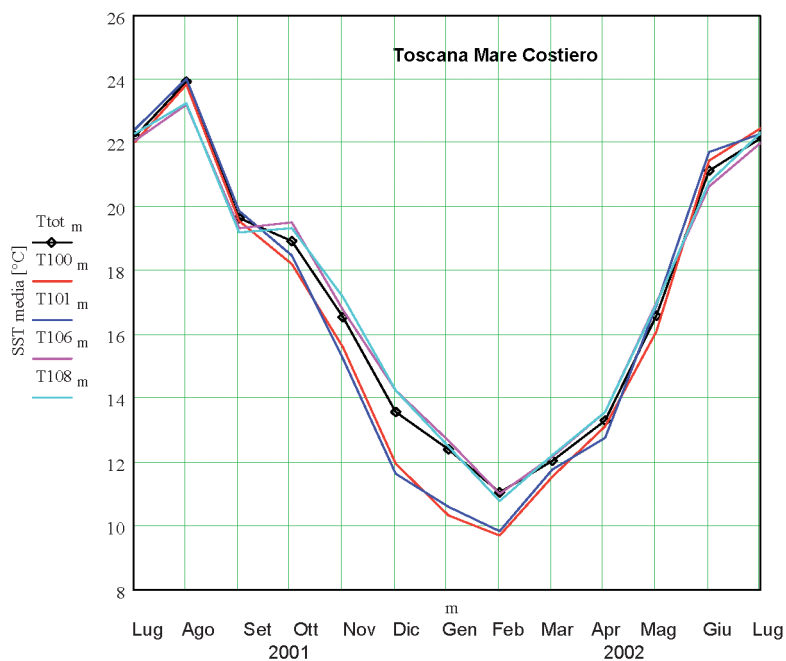


Fig. 18.10
Andamento della
temperatura
media nelle zone
di mare costiero
dalla foce del
Magno fino a
Livorno e delle
zone costiere tra
Piombino e la
zona sud
dell'Argentario

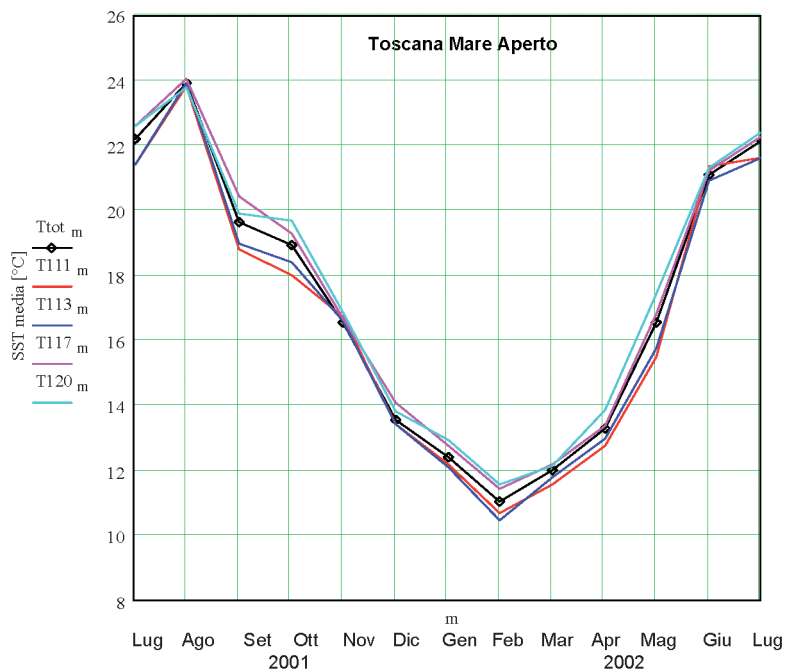


Fig. 18.11
Andamento della
temperatura
media nelle zone
di mare aperto
tra Corsica e
5 Terre e il mare a
Nord e a Sud
dell'Elba

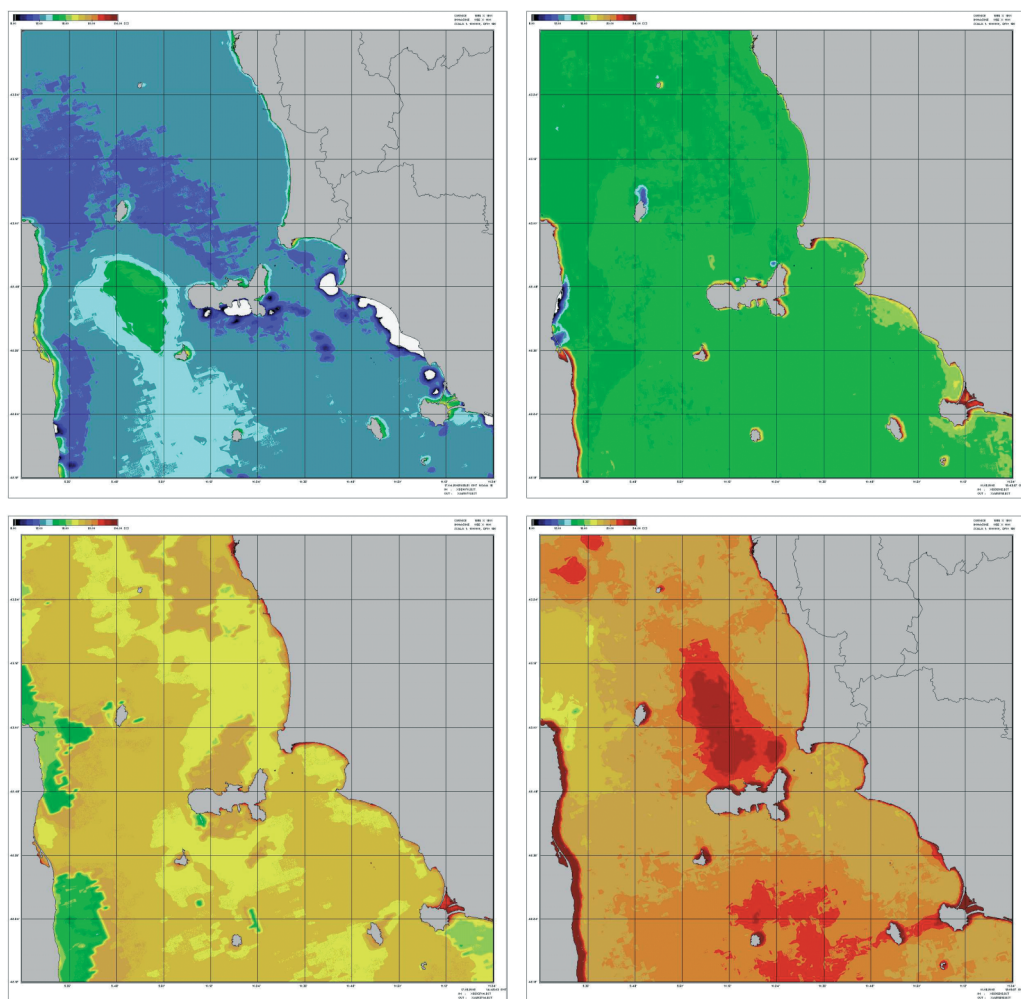


Fig. 18.12 Esempi di immagini della temperatura superficiale del mare [$^{\circ}\text{C}$] per il formato “Arcipelago Toscano”, riferite a 6 passaggi dei satelliti NOAA ricevuti tra il 01.04.2002 e il 14.06.2002

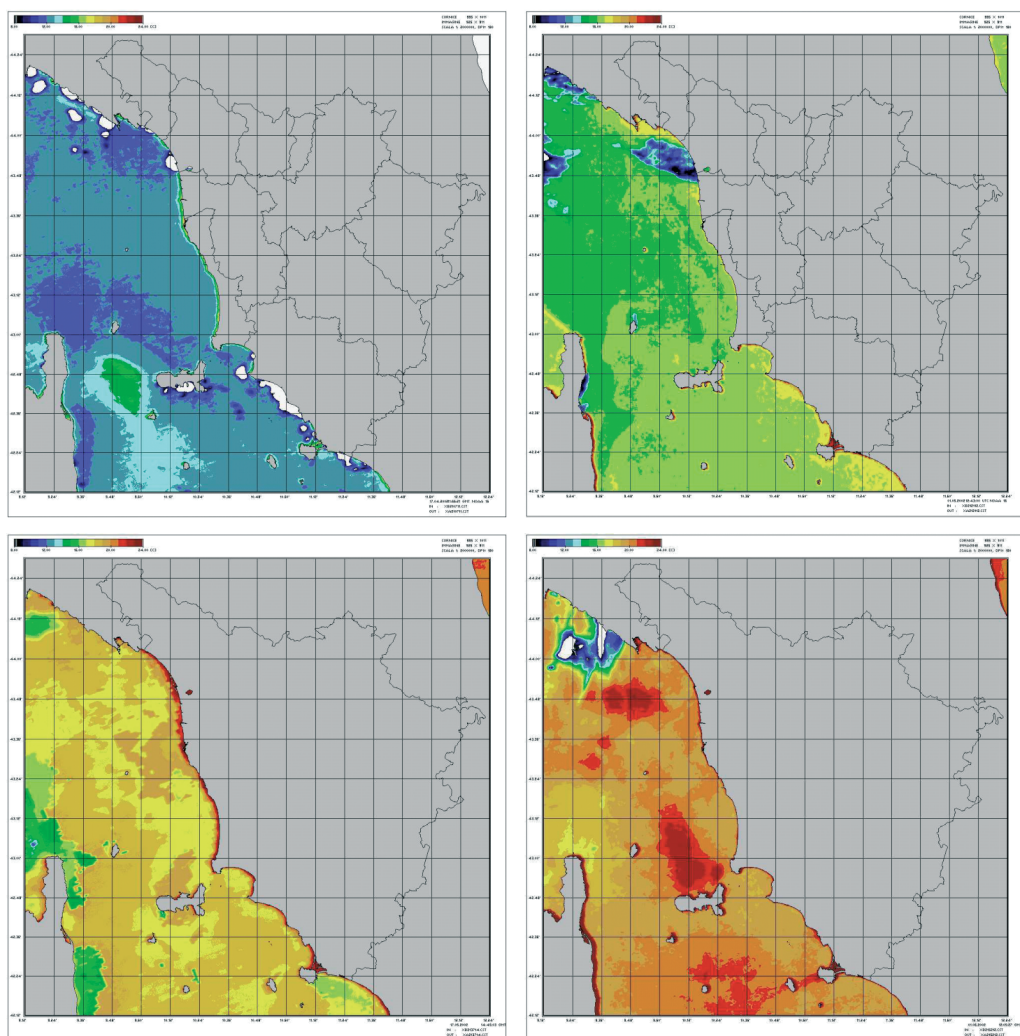


Fig. 18.13 Esempi di immagini della temperatura superficiale del mare [°C] per il formato “Toscana”, riferite a 6 passaggi dei satelliti NOAA ricevuti tra il 01.04.2002 e il 14.06.2002

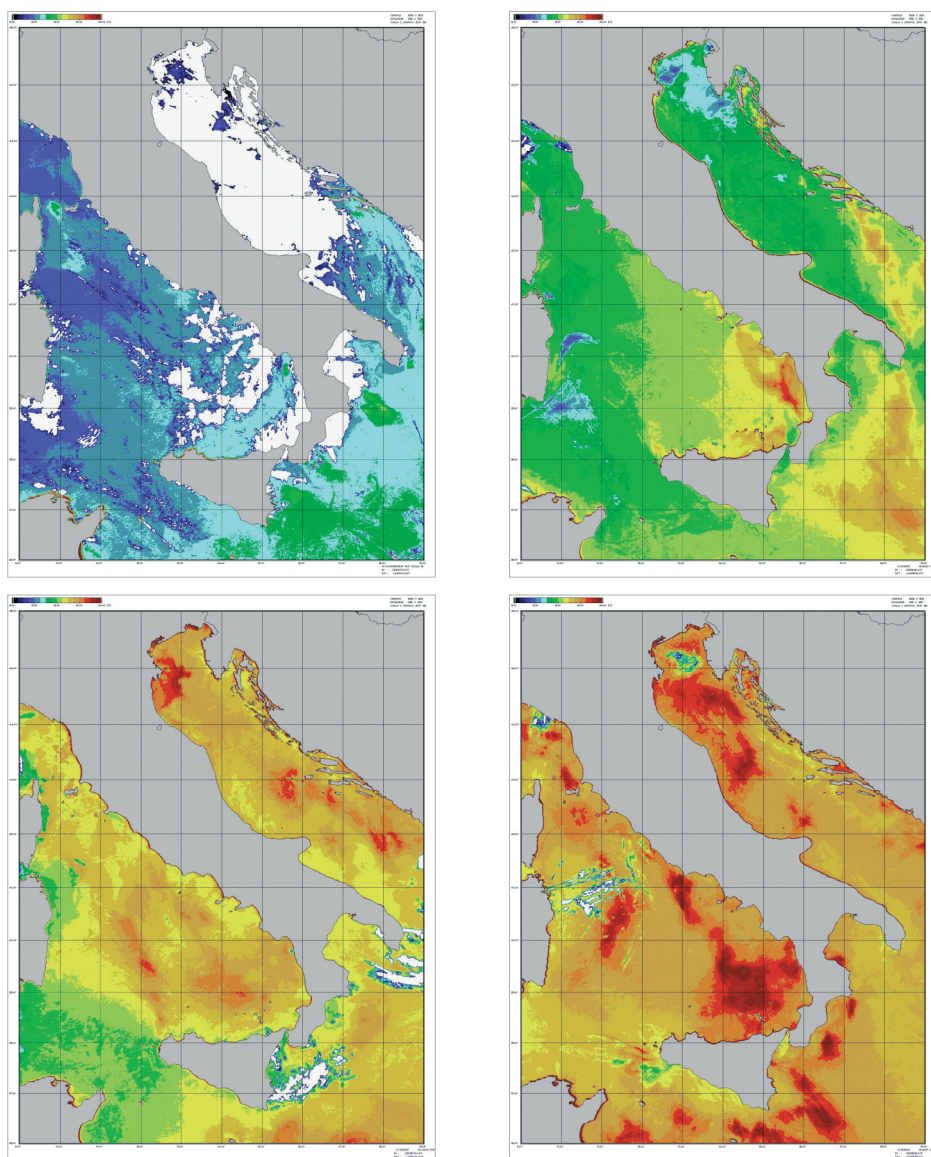


Fig. 18.14 Esempi di immagini della temperatura superficiale del mare [°C] per il formato “Mare Italia”, riferite a 6 passaggi dei satelliti NOAA ricevuti tra il 01.04.2002 e il 14.06.2002

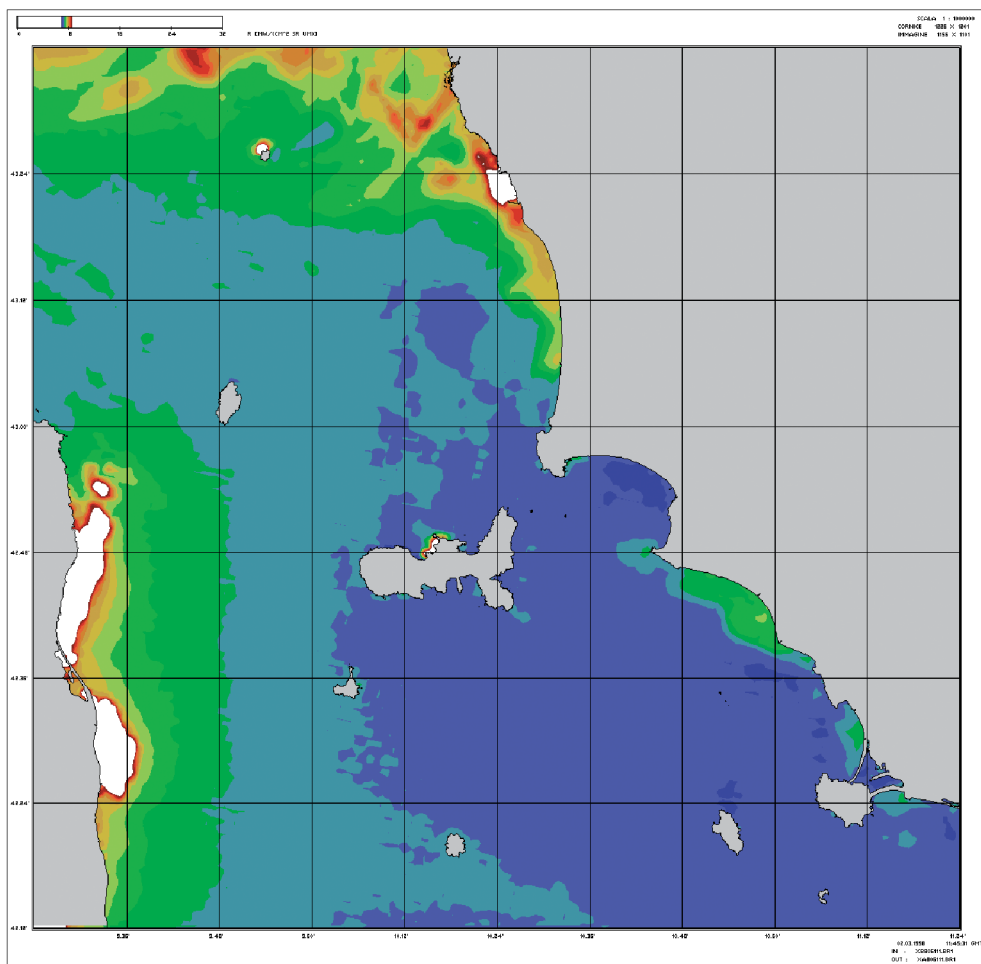


Fig. 18.16 Immagine interpolata con artefatti della radianza al sensore in $mW\ cm^{-2}\ \mu m^{-1}\ sr^{-1}$ della banda 1 (lunghezza d'onda centrale 412 nm) SeaWiFS in scala 1:1000000, estratta dal file immagine S1998061114532.L1A_HROM, del 2 marzo 1998, ora UTC 11:45:32, nel formato "Arcipelago Toscano", in falsi colori (Fig. 18.21 punto b); le dimensioni dell'immagine con artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1226×1201, le dimensioni reali su carta con artefatti sono 17.2×15.8 cm; la stampa è stata effettuata con una risoluzione di 180 dpi

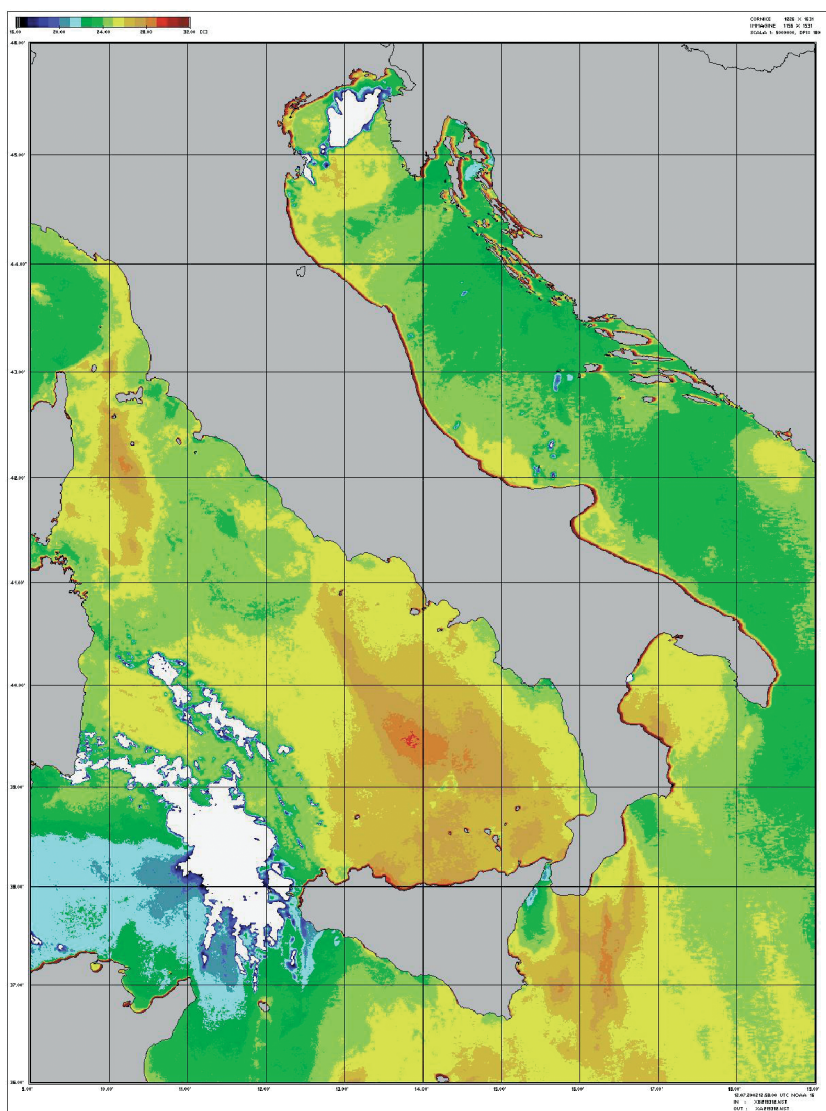


Fig. 18.17 File della temperatura superficiale del mare [$^{\circ}\text{C}$], interpolata e in proiezione Mercatore, in falsi colori (Fig. 18.22d), per il formato “Mare Italia 02”. L’immagine è riferita al passaggio del NOAA16 del 12.07.2002 alle 12:58 UTC; le dimensioni dell’immagine con artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1226×1631, le dimensioni reali su carta 23.01×17.3 cm; la stampa è stata effettuata con una risoluzione di 180 dpi. L’immagine è stata ottenuta utilizzando l’algoritmo di interpolazione segmentata terra-mare

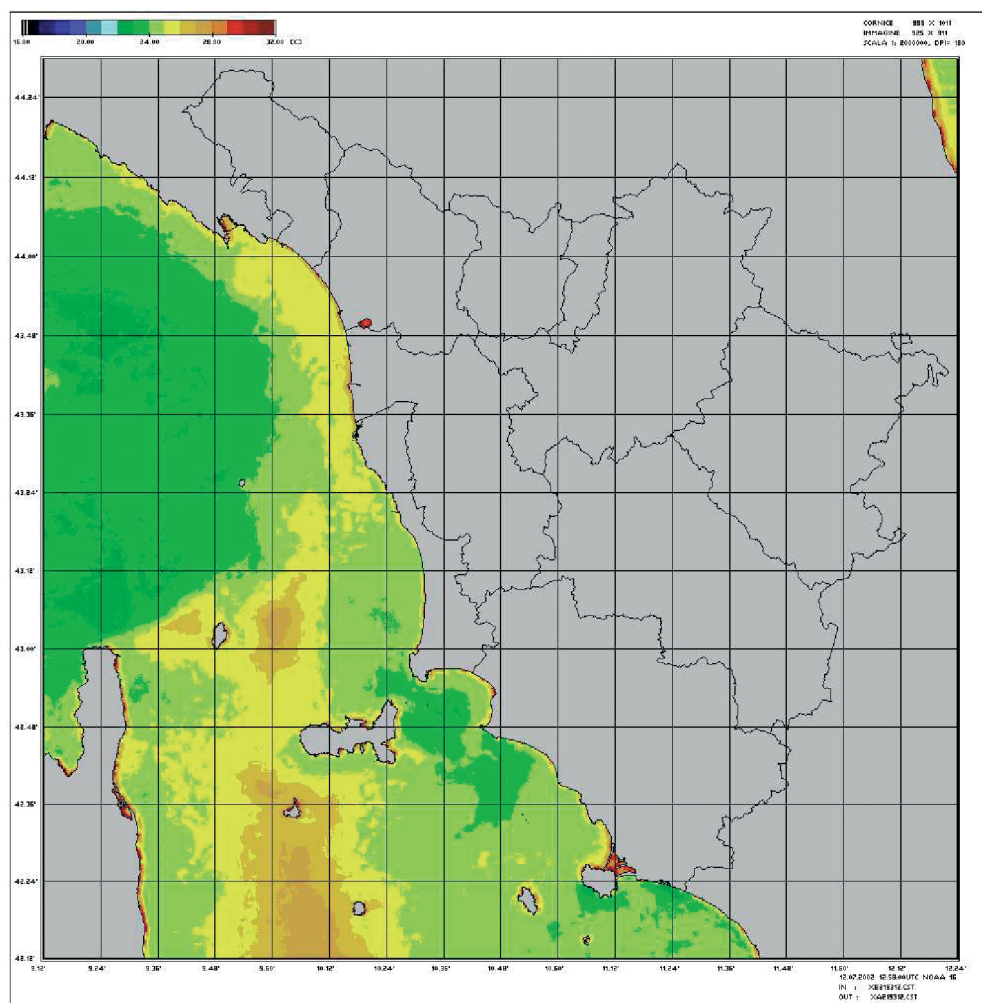


Fig. 18.18 File della temperatura superficiale del mare [°C], interpolata e in proiezione Mercatore, in falsi colori (Fig. 18.22d), per il formato "Toscana 02". L'immagine è riferita al passaggio del NOAA16 del 12.07.2002 alle 12:58 UTC; le dimensioni dell'immagine con artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 995×1011, le dimensioni reali su carta con artefatti sono 14.04×14.25 cm; la stampa è stata effettuata con una risoluzione di 180 dpi; l'immagine è stata ottenuta utilizzando l'algoritmo di interpolazione segmentata terra-mare

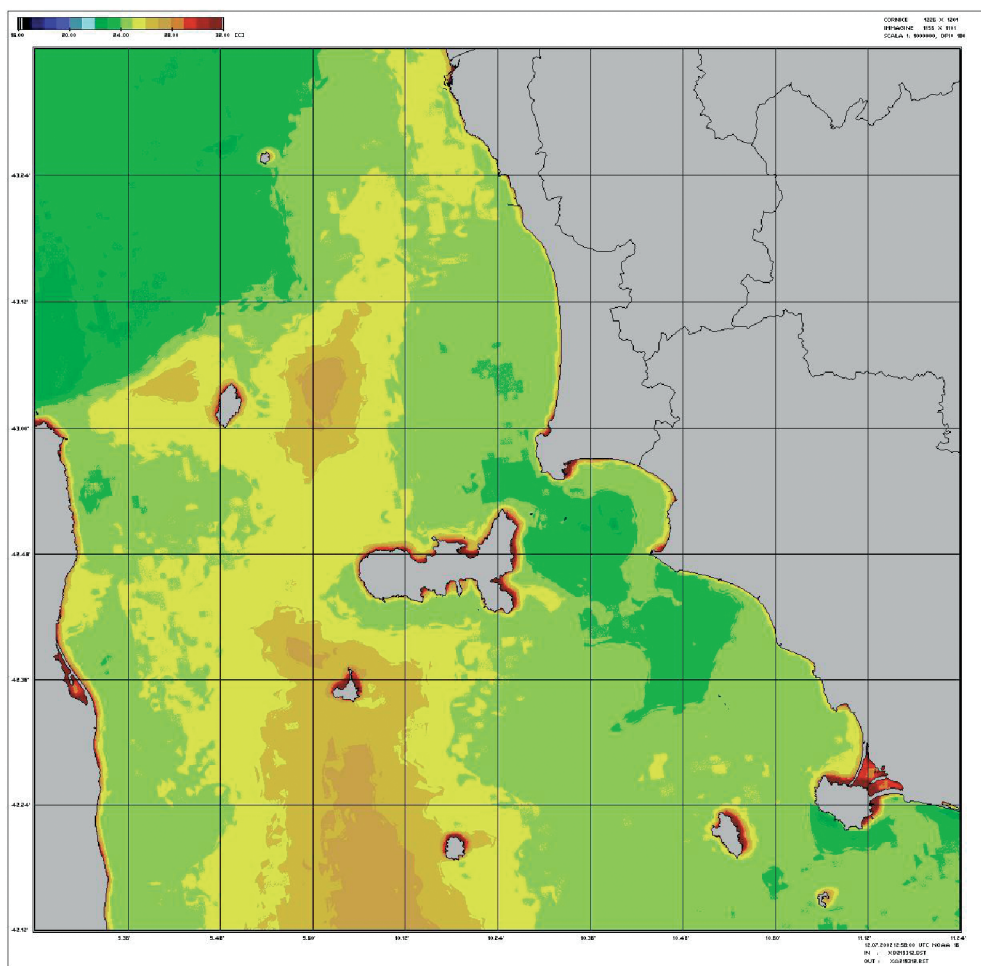
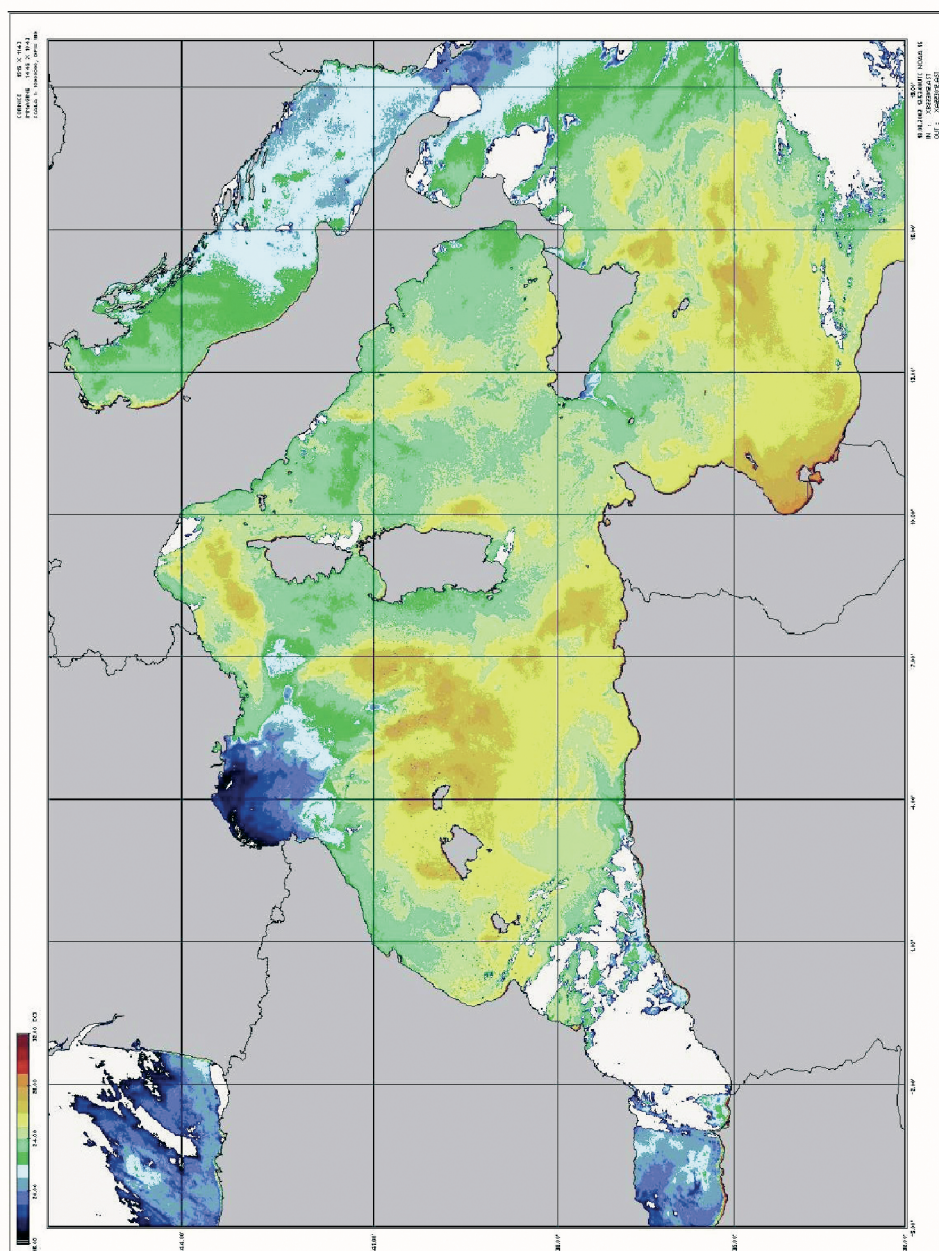


Fig. 18.19 File della temperatura superficiale del mare [$^{\circ}\text{C}$], interpolata e in proiezione Mercatore, in falsi colori (Fig. 18.22d), per il formato “Arcipelago Toscano”. L’immagine è riferita al passaggio del NOAA16 del 12.07.2002 alle 12:58 UTC; le dimensioni dell’immagine con artefatti in pixel sono (larghezza, altezza) 1226×1201, le dimensioni reali su carta con artefatti sono 17.3×17 cm; la stampa è stata effettuata con una risoluzione di 180 dpi; l’immagine è stata ottenuta utilizzando l’algoritmo di interpolazione segmentata terra-mare



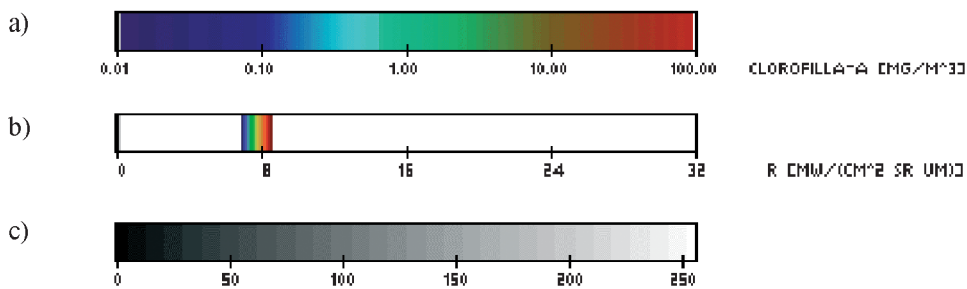


Fig. 18.21 Palette usate per la rappresentazione in falsi colori delle immagini ottenute dai dati SeaWiFS/SeaStar:

- (a) palette associata alla concentrazione di clorofilla tipo a in mg m^{-3} , ottenuta dai dati SeaWiFS (Fig. 18.15);
- (b) palette associata alla radianza al sensore in $\text{mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$, interpolata con artefatti per banda 1 del sensore SeaWiFS (Fig. 18.16);
- (c) palette associata ai count interpolati per banda 1 del sensore SeaWiFS (Fig. 15.1).

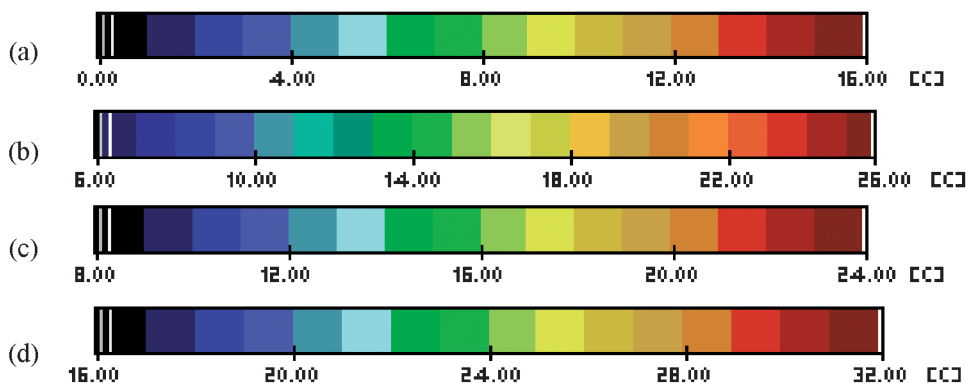


Fig.18.22 Palette usate per la rappresentazione in falsi colori della Temperatura Superficiale del Mare (SST) ottenuta dai dati NOAA-AVHRR. Per le palette sono stati considerati diversi intervalli di temperature a seconda della stagione e del tipo di immagine:

- (a) palette 0 – 16 °C (stagione invernale), Fig. 16.1 (dal 06.01.2002 al 22.03.2002);
- (b) palette 6 – 26 °C (per le temperature medie), Figg. 18.3, 18.4, 18.5, 18.6;
- (c) palette 8 – 24 °C (stagione autunnale), Figg. 18.12, 18.13 e 18.14 (dal 17.04.2002 al 01.06.2002), Fig. 16.3 (dal 05.10.2002 al 19.12.2002);
- (d) palette 16 – 26 °C (stagione estiva), Figg. 18.17, 18.20, Fig. 16.2 (dal 03.07.2002 al 18.09.2002).

19 OPERAZIONI PREVISTE

Attualmente sono in corso di sviluppo le elaborazioni che si riferiscono alla parte di generazione, trasmissione, messa a punto di prodotti telerilevati sul mare, inclusa l'analisi delle variazioni nel tempo dei parametri di interesse, considerando anche riprese multisensore.

Più precisamente sono sotto studio gli algoritmi, e la loro implementazione software, per l'estrazione di altri parametri significativi del mare da dati telerilevati dal radiometro AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), oltre che da altri satelliti (es. torbidità, pigmento, velocità del vento).

Per l'ottenimento dei parametri fisici (particolare attenzione è rivolta al calcolo della Temperatura Superficiale del Mare – SST) sono sfruttati algoritmi, noti in letteratura, ampiamente ottimizzati per lo studio del bacino del Mediterraneo. Dovranno essere incrementate le operazioni di calibrazione sfruttando i dati di verità a terra ottenuti nella campagne di misura a mare effettuate da ARPAT – Area Mare a Piombino [Bucci 02]. Altri progetti potranno riguardare:

- lo sviluppo di tecniche per l'integrazione di dati provenienti da sensori di nuova generazione (SeaWiFS, ATOVS, MODIS) con applicazione finalizzata all'estrazione di alcuni dei seguenti parametri: colore del mare, clorofilla, inquinanti; studio dell'applicabilità a dati ENVISAT [ESA 02];
- lo sviluppo di tecniche per l'ottenimento in tempo reale di profili e mappe di parametri atmosferici (temperatura, vapor acqueo) dai sensori satellitari NOAA-ATOVS, per le correzioni atmosferiche;
- lo sviluppo di metodi di analisi di serie di immagini satellitari;
- l'analisi della catena di elaborazione del segnale dati SeaWiFS [O'Reilly 00];
- lo sviluppo di tecniche per la classificazione automatica di immagini telerilevate basate su funzioni di selezione dinamica;
- il confronto teorico-sperimentale delle metodologie di combinazione e selezione per la classificazione di immagini telerilevate su mare;
- l'individuazione delle tecniche più adatte per l'integrazione in un sistema per la produzione automatica di mappe tematiche;
- l'affinamento delle procedure di georeferenziazione e ricampionamento spaziale di dati provenienti da sensori differenti, al fine di permetterne la fusione, anche su larga scala.

L'attività futura della Stazione di Ricezione Satelliti del PIN – Polo Universitario di Prato e del Laboratorio Telerilevamento ARPAT - Area Mare a Piombino,

prevede la possibilità di ricezione di dati , in tempo reale, dal satellite METEOSAT Seconda Generazione (MSG). In particolare si prevede la ricezione dei dati del sensore SEVIRI (un'immagine ogni 15 minuti, con risoluzione a terra di circa 1 km), le cui bande spettrali sono in numero maggiore e confrontabili con quelle del sensore AVHRR montato sui satelliti NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Fig. 19.1).

Il satellite MSG-1, lanciato il 28 agosto 2002 e rinominato METEOSAT-8, è operativo dal 29 gennaio 2004. Esso è posizionato a 3.4° Ovest, mentre il precedente satellite METEOSAT-7 ha mantenuto la sua posizione a 0°.

La disseminazione dei dati avviene in due formati HRIT (*High Rate Information Transmission*) e LRIT (*Low Rate Information Transmission*), il primo (HRIT) è dedicato alla sola trasmissione delle immagini ad alta risoluzione, acquisite dal sensore SEVIRI, mentre il secondo (LRIT) è dedicato alla trasmissione di immagini a bassa risoluzione e di prodotti elaborati da EUMETSAT; nel formato LRIT vengono trasmessi anche altri servizi (v. Tab. 19.1) ai quali si può accedere con una particolare licenza aggiuntiva a quella già attiva per l'Università di Firenze.

Servizi della trasmissione dati HRIT	Servizi della trasmissione dati LRIT
Immagini a piena risoluzione acquisite dal sensore SEVIRI	Immagini a risoluzione ridotta acquisite dal sensore SEVIRI
	Prodotti Meteorologici Estratti (es. Tasso di Pioggia stimato)
	Distribuzione di Dati Meteorologici (MDD) (es. mappe delle isobare)
	Trasmissioni di dati da parte di operatori abilitati (Data Collection e Retrasmission)
	Ripetitore per dati trasmessi da altri satelliti

Tab. 19.1 *Descrizione dei dati contenuti nei formati HRIT e LRIT presenti nei protocolli di trasmissione dei satelliti MSG.*

Confronto tra le bande spettrali dei sensori SEVIRI (MSG) e AVHRR (NOAA)

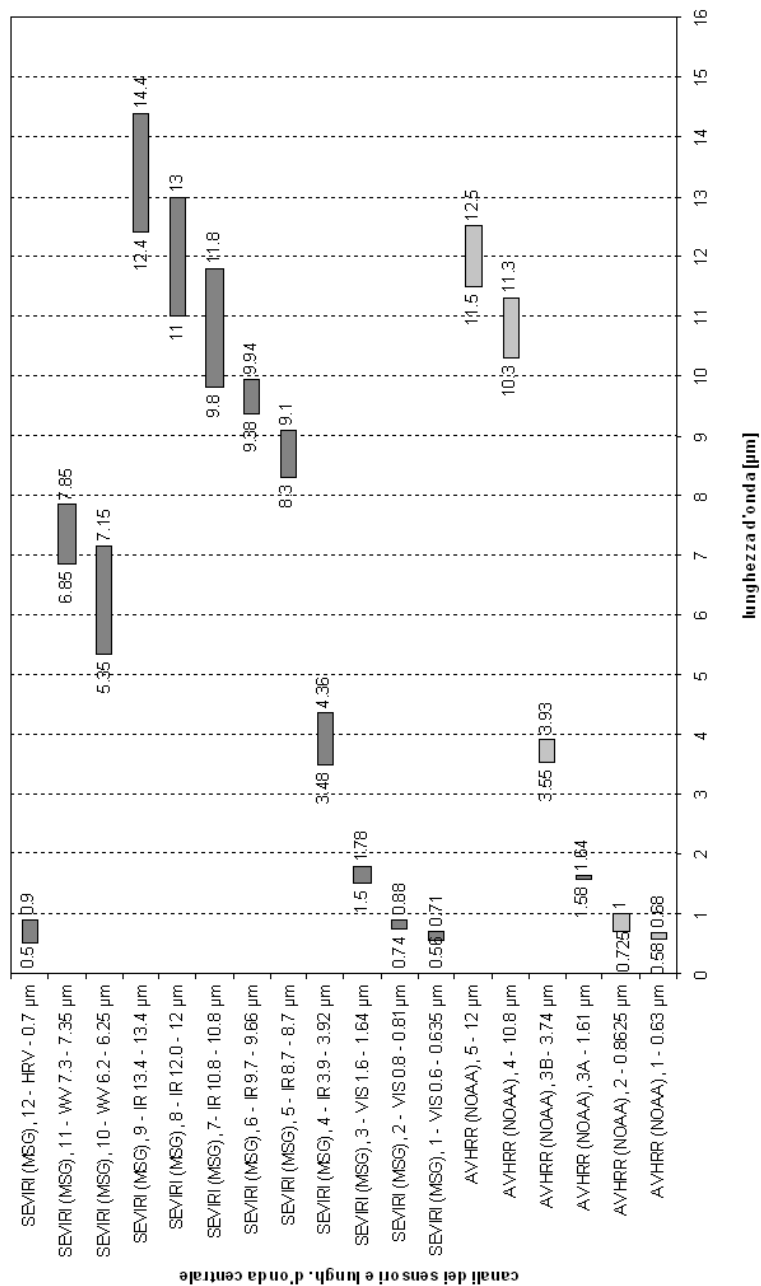


Fig. 19.1 Confronto tra le bande spettrali dei sensori SEVIRI (MSG) e AVHRR/3 (NOAA)

L'accesso ai dati sarà possibile aggiornando la stazione di acquisizione Meteosat presente presso la Stazione Ricezione Satelliti del PIN - Polo Universitario di Prato. In aggiunta sono necessarie una o più chiavi di decriptaggio il cui costo è in funzione del/dei servizi a cui si richiede l'accesso: per scopi di ricerca queste chiavi sono gratuite.

In Tab. 19.2 sono riportate le frequenze di trasmissione delle immagini in funzione del tipo di accesso ai dati richiesto ad EUMETSAT: nel formato HRIT a più alta definizione temporale vengono trasmesse immagini ad intervalli di 15 minuti.

Servizi	Frequenza di disseminazione in ore delle immagini acquisite in funzione del tipo di accesso					Meccanismo di ricezione
	1/4	1/2	1	3	6	
HRIT SEVIRI						HRUS
LRIT SEVIRI						IRUS

Tab. 19.2 *Frequenze di trasmissione delle immagini per i vari pacchetti di distribuzione dei dati*

L'utilizzo dei dati MSG in attività di ricerca connesse al mare permetterà di replicare molti degli algoritmi sviluppati nel presente progetto. Infatti come indicato in Fig. 19.1, molte delle frequenze del sensore SEVIRI sono in corrispondenza di quelle NOAA-AVHRR. Il maggiore numero di frequenze permetterà di estrarre un maggior numero di parametri fisici e con una maggiore precisione. La risoluzione a terra delle immagini a più alta definizione è dell'ordine del km/pixel, più che doppia rispetto a quella del METOSAT di prima generazione e simile a quella del sensore NOAA-AVHRR. L'alta frequenza temporale potrà permettere di seguire l'evoluzione dei parametri fisici osservati.

Un'ulteriore opzione che potrà essere sfruttata nelle future attività di ricerca riguarda l'utilizzo dei canali, presenti su MSG, dedicati alla trasmissione di dati da parte di utenti abilitati. Una possibile applicazione di questa opzione potrà riguardare la trasmissione in tempo reale dei dati ottenuti dalle misurazioni a mare da parte del Poseidon verso le stazioni di terra.

APPENDICE - ARCHIVIO DATI DA SATELLITE DAL 25.03.1995 AL 30.11.2002

I dati ricevuti alla Stazione Ricezione Satelliti di Prato vengono settimanalmente archiviati su CD aventi la nomenclatura CDXXX, dove XXX è un numero decimale progressivo. I periodi in cui sono stati archiviati immagini dei satelliti della serie NOAA sono elencati in Tab. A1.1; i periodi di cui abbiamo i file del sensore SeaWiFS sono riportati in Tab. A1.2.

Tab. A1.1 *Periodi temporali di raccolta delle immagini NOAA, presso la Stazione di Ricezione del PIN di Prato, tra il 25.03.1995 e il 30.11.2002*

PERIODO	IMMAGINI
25.03.1995	NOAA: 1 imm/giorno
04.04.1995	NOAA: 1 imm/giorno
07.04.1995	NOAA: 1 imm/giorno
04.05.1995	NOAA: 1 imm/giorno
07.06.1995	NOAA: 4 imm/giorno
11.09.1995	NOAA: 1 imm/giorno
14.09.1995	NOAA: 2 imm/giorno
18.09.1995	NOAA: 1 imm/giorno
21.09.1995	NOAA: 1 imm/giorno
04.10.1995	NOAA: 1 imm/giorno
23.10.1995	NOAA: 1 imm/giorno
25.10.1995	NOAA: 1 imm/giorno
10.11.1995	NOAA: 1 imm/giorno
03.12.1995	NOAA: 1 imm/giorno
31.01.1996	NOAA: 1 imm/giorno
19.04.1996 - 24.04.1996	NOAA: 1 imm/giorno
29.04.1996 - 30.04.1996	NOAA: 1 imm/giorno
21.05.1996	NOAA: 1 imm/giorno
28.05.1996	NOAA: 1 imm/giorno
02.07.1996 - 12.07.1996	NOAA: 1 imm/giorno
03.10.1996 - 07.10.1996	NOAA: 1 imm/giorno
01.11.1996	NOAA: 1 imm/giorno
08.01.1997 - 11.01.1997	NOAA: 1 imm/giorno

segue ...

...segue

PERIODO	IMMAGINI
29.01.1997 - 30.01.1997	NOAA: 1 imm/giorno
04.02.1997 - 07.02.1997	NOAA: 1 imm/giorno
08.04.1997 - 11.04.1997	NOAA: 1 imm/giorno
30.04.1997 - 01.05.1997	NOAA: 1 imm/giorno
22.05.1997 - 26.05.1997	NOAA: 1 imm/giorno
05.06.1997 - 08.06.1997	NOAA: 1 imm/giorno
22.06.1997 - 30.07.1997	NOAA: > 1 imm/giorno
22.08.1997 - 31.12.1997	NOAA: > 1 imm/giorno
12.01.1998 - 13.03.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
13.03.1998 - 14.03.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
14.03.1998 - 26.03.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
26.03.1998 - 13.04.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
13.04.1998 - 24.04.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
25.04.1998 - 30.05.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
01.05.1998 - 06.05.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
06.05.1998 - 21.05.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
21.05.1998 - 25.05.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
24.05.1998 - 28.05.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
06.06.1998 - 11.06.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
11.06.1998 - 11.07.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
11.07.1998 - 21.07.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
20.07.1998 - 24.07.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
28.07.1998 - 03.07.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
03.08.98 - 24.09.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
24.09.1998 - 30.09.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
01.10.1998 - 06.10.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
10.10.1998 - 22.10.1998	NOAA: > 1 imm/giorno
22.10.1998 - 27.03.1999	NOAA: > 1 imm/giorno
28.03.1999 - 05.08.1999	NOAA: > 1 imm/giorno
09.08.1999 - 20.09.1999	NOAA: > 1 imm/giorno
21.12.1999 - 24.12.1999	NOAA: > 1 imm/giorno
24.12.1999 - 31.12.1999	NOAA: > 1 imm/giorno
02.01.2000 - 11.02.2000	NOAA: > 1 imm/giorno

segue...

...segue

PERIODO	IMMAGINI
11.02.2000 - 14.02.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
04.02.2000 - 18.02.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
18.02.2000 - 09.03.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
09.03.2000 - 12.03.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
12.03.2000 - 20.03.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
20.03.2000 - 21.04.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
22.04.2000 - 29.04.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
29.04.2000 - 03.08.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
12.08.2000 - 13.08.2000	NOAA: > 1 imm/giorno.
14.08.2000 - 15.08.2000	NOAA: > 1 imm/giorno del mattino
23.08.2000	NOAA: > 1 imm/giorno del pomeriggio
24.08.2000	NOAA: > 1 imm/giorno del mattino
27.08.2000 - 23.12.2000	NOAA: > 1 imm/giorno
08.01.2001 - 23.02.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
27.02.2001 - 02.03.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
16.05.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
24.05.2001 - 25.05.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
28.05.2001 - 31.05.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
08.06.2001 - 30.06.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
03.07.2001 - 09.07.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
17.07.2001 - 18.07.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
25.07.2001 - 04.08.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
06.08.2001 - 10.08.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
12.08.2001 - 13.08.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
20.08.2001 - 21.08.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
23.08.2001 - 31.08.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
03.09.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
06.09.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
10.09.2001 - 13.09.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
18.09.2001 - 06.10.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
11.10.2001 - 12.10.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
15.10.2001 - 20.10.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
24.10.2001 - 31.10.2001	NOAA: > 1 imm/giorno

segue...

...segue

PERIODO	IMMAGINI
02.11.2001 - 07.11.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
13.11.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
15.11.2001 - 21.11.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
27.11.2001 - 28.11.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
02.12.2001 - 06.12.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
10.12.2001 - 13.12.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
16.12.2001 - 21.12.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
25.12.2001 - 28.12.2001	NOAA: > 1 imm/giorno
31.12.2001 - 24.01.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
04.02.2002 - 15.02.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
18.02.2002 - 06.04.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
08.04.2002 - 20.04.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
22.04.2002 - 09.05.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
10.05.2002	NOAA: > 1 imm/giorno del mattino
13.05.2002	NOAA: > 1 imm/giorno del pomeriggio
14.05.2002 - 14.06.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
17.06.2002 - 29.07.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
30.07.2002	NOAA: > 1 imm/giorno del mattino
31.07.2002 - 15.11.2002	NOAA: > 1 imm/giorno
18.11.2002 - 30.11.2002	NOAA: > 1 imm/giorno

Tab. A1.2 *Periodi temporali di acquisizione delle immagini SeaWiFS, presso la Stazione di Ricezione del PIN di Prato, tra il 25.03.1995 e il 30.11.2002*

PERIODO	IMMAGINI
01.12.1997	SeaWiFS: 1 imm/giorno
03.12.1997	SeaWiFS: 1 imm/giorno
10.12.1997	SeaWiFS: tre immagini
12.12.1997 - 13.12.1997	SeaWiFS: 1 imm/giorno
19.12.1997 -	SeaWiFS: 2 imm/giorno
20.12.1997	SeaWiFS: 1 imm/giorno
23.12.1997	SeaWiFS: 1 imm/giorno
06.01.1998 - 08.01.1998	SeaWiFS: 2 imm/giorno
09.01.1998	SeaWiFS: 1 imm/giorno
10.01.1998	SeaWiFS: 2 imm/giorno
02.02.1998	SeaWiFS: 1 imm/giorno
03.02.1998 - 04.02.1998	SeaWiFS: 2 imm/giorno
05.02.1998	SeaWiFS: 2 imm/giorno
06.02.1998	SeaWiFS: 1 imm/giorno
07.02.1998	SeaWiFS: 2 imm/giorno
08.02.1998	SeaWiFS: 1 imm/giorno
09.02.1998	SeaWiFS: 2 imm/giorno
10.02.1998	SeaWiFS: 1 imm/giorno
02.03.1998	SeaWiFS: 2 imm/giorno
03.03.1998	SeaWiFS: 1 imm/giorno

BIBLIOGRAFIA E SITI WEB DI RIFERIMENTO

[Aiken 02] Aiken J., Moore G., “Enviview & Envisat, Simulated Product v. 4, Meris”, ATBD 2.6, ATBD 2.7, ATBD 2.18, Plymouth Marine Laboratory, marzo 2002

[Aleman 99] Aleman R., Goodrum G. *et al.*, “NOAA KLM user’s guide”, U.S. Department of Commerce, National Climatic Data Center, Climate Service Division, Satellite Services Branch , Goodrum G., Kidwell K.B. and Wiston W. editors, Suitland, MD. Ultimo aggiornamento maggio 1999
URL: <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/>

[Aoki 82] Aoki T., Nakajima S., and Kato K., 1982, “Remote measurements of sea surface temperature by multichannel observation from orbital satellite” *Journal of Meteorological Society of Japan*, 60, pp. 1238-1248, 1982

[Arbelo 96] Arbelo M., Herrera F., Exposito F.J., Caselles V., Coll C., “Determination of Sea Surface Temperature using combined TOVS and AVHRR data. Application to the Canary Islands area, Spain”, *Int. J. Remote Sensing*, vol. 17, no. 2, p. 359, 1996

[atovs 02] “ATOVS (Advanced TIROS-N Operational Vertical Sounder)”, NASA 2002. Homepage.
URL: <http://poes.nesdis.noaa.gov/atovs/>

[Backus 70] Backus, G., Gilbert F., “Uniqueness in the inversion of inaccurate gross Earth data”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, vol. 266, pp. 123–192. 1970

[Barnes 94] Barnes R.A. *et al.*, “SeaWiFS Prelaunch Radiometric Calibration and Spectral Characterization”, NASA Technical Memorandum 104566, vol. 23, 1994

[Barton 95] Barton I.J., “Satellite-derived sea surface temperatures: current status”, *Journal of Geophysical Research - Oceans*, vol. 100 (C5), pp. 8777-8790, maggio 1995

[Bézy 00] Bézy J.L., Delwart S., Rast M., “Meris - A New Generation of Ocean Colour Sensor onboard Envisat”, *ESA bulletin*, p. 48-56, Noordwijk, agosto 2000

[Bo-Cai 00] Bo-Cai G. *et al.* “Atmospheric Correction algorithm for hyperspectral remote sensing of ocean color from space”, *Applied Optics* vol. 39, n.6, pagg. 887-896, 20 febbraio 2000

[BoMa 01] BoMA (Bureau of Meteorology Australia), “Meteorological Satellite Data”, “Sea Surface Temperatures Derived from NOAA Satellite Data”, Bureau of Meteorology (ABN 92 637 533 532), Commonwealth of Australia, 2001

[Bucci 02] Bucci M., “Monitoraggio marino costiero della Toscana e prima classificazione delle acque”, Conferenza “L’impegno di ARPAT per la tutela delle acque marine e costiere”, sessione “Lo stato del mare toscano”, Piombino (Li) maggio 2002

[Cayula 96], Cayula J.F., Cornillon P.,” Cloud Detection from a Sequence of SST Images”, *Remote sensing Environment*, pp. 80-88 vol. 55, 1996

[CCITT 92] “CCITT Recommendation T.81”, Terminal Equipment and Protocols for Telematic Services, ITU, settembre 1992

[Cognetti 99] Cognetti G., Sarà M., Magazzù G., “Biologia Marina”, Calderini, Bologna 1999

[Coll 94] Coll C., Caselles V., 1994, “Analysis of the atmospheric and emissivity influences on the split-window equation for sea surface temperature”, *International Journal of Remote Sensing*, 15, pp. 1915-1932, 1994

[daac 02] “GSFC Earth Sciences DAAC (Distributed Active Archive Data Center)”, NASA 2002. Homepage.
URL: <http://daac.gsfc.nasa.gov/>

[Dalu 92] Dalu G., “Temperatura della superficie del mare – Fondamenti del Telerilevamento ed Applicazioni all’Ambiente Marino”, ed. AIT, 1992

[dmSP 02] DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), Homepage.
URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/dmsp.html>

[Darzi 92] Darzi M., “Cloud Screening for Polar Orbiting Visible and Infrared (IR) Satellite Sensors”, *SeaWiFS Technical Report Series*, vol. 7, NASA, 1992

[Darzi 98] Darzi M., “SeaWiFS Science Algorithm Flow Chart”, report n. GSFC/CR – 1998 – 206848, NASA, gennaio 1998

[Derrien 93] Derrien M., Farki B., Harang L., LeGleau H., Noyalet A., Pochic D., Sairouni A., "Automatic Cloud detection Applied to NOAA-11/AVHRR Imagery", *Remote Sens. Environ.*, vol. 46, p. 246-267, Elsevier, 1993

[Diemer 00] Diemer C. Hill J., "A local correlation approach for the fusion of remote sensing data with different spatial resolution" *Fusion of Earth Data*, 26-28 gennaio 2000 (Sophia Antipolis, France)

[DET-FIPB 0502] Pellegrini P.F., Tommasini M., Francini C., Marconi M., "Trattamento dati da satellite su mare Manuale delle operazioni. Progetto pilota di monitoraggio dell'ambiente marino tramite telerilevamento dati da satellite", rapporto interno DET-FIPB 0502, Laboratorio di Telecomunicazioni, Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni, Facoltà di Ingegneria, Firenze 2001

[Due 95] La Due J., "Basics of Remote Sensing from Satellite", NOAA/NESDIS , FPDT (Forecast Products Development Team), NOAA Science Center, Camp Springs, MD, 1995

[Emery 91] Emery W.J., Fowler C. *et al.*, "Satellite image inferred sea ice motion in Fram Strait, the Greenland Sea and the Barents Sea", *J. Geophys. Res.*, vol. 96, pp. 4751-4768, 1991a

[Emery-2 91] Emery W.J., Radebaugh M. *et al.*, "A comparison of sea ice parameters computed from Advanced Very High Resolution Radiometer and LANDSAT satellite imagery, and from airborne passive microwave radiometry", *J. Geophys. Res.*, vol. 96, pp. 22075-22085, 1991 b

[Emery 94] Emery W.J., Yu Y., Wick G.A., *et al.*, "Correcting Infrared satellite estimates of sea surface temperature for atmospheric water vapor attenuation", *J. Geophys. Res.*, vol. 99, pp. 5219-5236, 1994

[Emery 96] Emery W.J., Donlon C.J., "Wind Speed Forcing of the Bulk-Skin Sea Surface Temperature Difference", IEEE IGARSS '96 conference, Lincoln (Nebraska) maggio 1996

[envisat 02] ENVISAT, ESA 2002.Homepage.
URL:<http://envisat.esa.int/>

[ESA 02] "ENVISAT Mission and System", ENVISAT-ESA web page, agosto 2002
URL:<http://www.envisat.esa.int/m-s/>

[Eugenio 00] Eugenio F., Marques F. *et al.*, “Accurate and automatic NOAA-AVHRR image navigation using a global contour matching approach”, Geoscience and Remoting Sensing Symposium, Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International, pp. 639-641, Honolulu Hawaii (USA) 24-28 luglio 2000

[Eumetsat 02] EUMETSAT Homepage,
URL:<http://www.eumetsat.de/> Eumetsat 2002

[Farrar, 1992] Farrar M. R., Smith E. A. “Spatial Resolution Enhancement of Terrestrial Feature Using Deconvolved SSM/I Microwave Brightness Temperature,” IEEE Transaction on Geoscience and Remoting Sensing, vol. 30, no. 2, pp. 349-355, marzo 1992

[Fischer 00] Fischer J., Schüller L., Preusker R., “Algorithm Theoretical Basis Document ATBD Cloud Top Pressure”, CD-ROM “Simulated Products v.4”, MERIS:\Documentation\Meris\MERIS_L2_Algorithms\atbd_2_03, Esa, Ref.: PO-TN-MEL-GS-005, Iss.:4, febbraio 2000

[Francois 96] Francois C., Ottlé C., “Atmospheric Correction in the Thermal Infrared: Global and Water Vapor Dependent Split-Window Algorithms-Applications to ATSR and AVHRR Data”, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. 35, no. 3, p. 718, maggio 1997

[Gordon 96] Gordon H.R., “MODIS Normalized Water-leaving Radiance Algorithm Theoretical Basis Document”, version 3, Department of Physics, University of Miami Coral Gables, FL 33124, UCN NAS5-31363, 15 agosto 1996

[Garcia-Consuegra 99] Garcia Consuegra J., Cisneros G., Gallud J.A., “Edge pixel classification at subpixel accuracy through resolution enhancement and deconvolution processing in Landsat-TM imagery”, IGRASS 99 Proceedings Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol. 1, pp. 128 – 130, 1999

[Gregg 92] Gregg W.W., “Analysis of Orbit Selection for SeaWiFS: Ascending vs. Descending Node” – NASA Technical Memorandum 104566, vol. 2, 1992

[Gregg 93] Gregg W.W. *et al.*, “The Simulated SeaWiFS Data Set, Version 1” – NASA Technical Memorandum 104566, vol. 9, 1993

[Gregg 94] Gregg W.W. *et al.*, “The Simulated SeaWiFS Data Set, Version 2” – NASA Technical Memorandum 104566, vol. 15, 1994

[Harris 99] Harris J.R., Viljoen D.W., Rencz A.N., “Integration and Visualization of Geoscience Data, Remote Sensing for the Earth Sciences” Manual of Remote Sensing, 3 ed., vol. 3, A.N. Rencz, ed. John Wiley & Sons, Inc., 1999

[Hastings 92] Hastings D.A., Emery W.J.: “The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR): A Brief Reference Guide”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 58, no. 8, pp.1183-1188, agosto 1992
URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/globsys/avhrr2.shtml>

[Hastings 94] Hastings D.A., Emery W.J., “The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR): A Brief Reference Guide”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 58, no. 8, pp. 1183-1188, agosto 1992
URL : <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/globsys/avhrr2.shtml>

[HDF 03] HDF Group, “The NCSA HDF Home Page - Information, Support, and Software from the Hierarchical Data Format (HDF) Group of NCSA”, 22 maggio 2003.
URL : <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>

[Hastings 98] Hastings D.A., “The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR): Overview”, NOAA National Data Centers, NGDC, Boulder, CO; ultima edizione 28 maggio 1998

[Holasek 91] Holasek R.E., Rose W.I., “Anatomy of 1986 Augustine Volcano eruptions as recorded by multispectral image processing of digital AVHRR weather satellite data”, Bulletin of Volcanology, vol. 53, pp. 420-435, 1991

[Hooker 92] Hooker S.B., Esaias W.E., Feldman G.C., Gregg W.W., McClain C.R., “An Overview of SeaWiFS and Ocean Color” – NASA Technical Memorandum 104566, Vol.1, 1992

[Innocenti 00] Innocenti M., Pellegrini P.F., Tommasini M., “Elaborazioni dei dati da radiometri a microonde”, Atti della X “Riunione Annuale del Centro di Telerilevamento a Microonde- CeTeM - Polo Universitario Città di Prato – PIN - Prato 26-27 ottobre 2000

[Kawamura 96] Kawamura H., Kawai Y., “Characteristics of the AVHRR-derived Sea Surface Temperature in the oceans around Japan”, IEEE IGARSS ‘96 conference, Lincoln (Nebraska) maggio 1996

[Kelso 00] Kelso T. S., URL: <http://www.celestrak.com/>, Riferimento: TS.Kelso@celestrak.com, 2000

[Kidwell 90] Kidwell K.B., comp. and ed.: "Global Vegetation Index User's Guide"; NOAA/NESDIS/NCDC/SDSD (NOAA/National Environmental Satellite, Data and Information Services/National Climatic Data Center/SDSD), Washington D.C. 1990

[Kidwell 91] Kidwell K.B., comp. and ed.: "NOAA Polar Orbiter Data User's Guide"; NOAA/NESDIS/NCDC/SDSD, Washington D.C. 1991

[Kidwell 98] Kidwell K.B., "NOAA Polar Orbiter Data User's Guide (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11, NOAA-12, NOAA-13 AND NOAA-14)"("NOAA POD GUIDE"), U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS), National Climatic Data Center (NCDC), Climate Services Division, Satellite Services Branch; Suitland, MD; ultimo aggiornamento novembre 1998

[Kutser 96] Kutser T., Blanco A., Arst H., "Evaluation of Remote Sensing Algorithms for the Retrieval of Optically-active Components in Turbid Natural Waters", IEEE IGARSS '96 conference, Lincoln (Nebraska) maggio 1996

[Lechi 92] Lechi G.M., "Spettro elettromagnetico, definizione parametri e grandezze fisiche – Fondamenti del Telerilevamento ed Applicazioni all'Ambiente Marino", ed. AIT, 1992

[Levrini 02] Levrini G., "Mission and System Assumptions", CD-ROM "MERIS Product Handbook", ESA, issue 2.0, gennaio 2002

[Luoheng 96] Luoheng H., "Spectrometry of Turbidity in Surface Water", IEEE IGARSS '96 conference, Lincoln (Nebraska) maggio 1996

[Maracci 92] Maracci G., "Il colore del mare – Fondamenti del Telerilevamento ed Applicazioni all'Ambiente Marino", ed. AIT, 1992

[Marconi 02] Marconi M., "Validazione de Ocean Color Algorithm OC2v4 tramite dati verità ARPAT. Ricerca statistica dei coefficienti ottimi", Rapporto STL-0209M, Firenze, 2002

[Maselli 95] Maselli F., Petkov L., Maracchi G., Conese C., “Eco-phenological classification of Tuscany through NOAA-AVHRR data”, IGARSS 95, p. 326, vol. 1, Florence, Italy, 1995

[Maturi 93], Maturi E.M., Pichel W.G., “Cloud masking for CoastWatch satellite imagery”, OCEANS '93. Engineering in Harmony with Ocean. Proceedings, pp.: II369 -II374 vol. 2, 1993

[McClain 94] McClain C.R. *et al.*, “Case Studies for SeaWiFS Calibration and Validation”, Part 2, NASA Technical Memorandum 104566, vol. 19, 1994

[McClain 95] McClain C.R. *et al.*, “SeaWiFS Algorithms”, Part 1 – NASA Technical Memorandum 104566, vol.28, 1995

[McClain 00] McClain C.R. *et al.*, “SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses”, Part 1 – NASA Postlaunch Technical Report Series, NASA/TM-2000-206892, vol. 9, 2000

[McClain,2 00] McClain C.R. *et al.*, “SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses”, Part 2 – NASA Postlaunch Technical Report Series, NASA/TM-2000-206892, vol. 10, 2000

[MERIS 02] “MERIS Product Handbook”, ENVISAT-ESA, agosto 2002
URL: <http://www.envisat.esa.int/dataproducts/meris>

[Minnet 90] Minnett P., “The regional optimization of infrared measurements of sea surface temperature from space”, J. Geophys. Res., 95, 1990

[modis 02] MODIS ,NASA 2002Homepage.
URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

[Monaldo 96] Monaldo F., “Primer on the Estimation of Sea Surface Temperature Using TeraScan Processing of NOAA AVHRR Satellite Data Version 2.0”, S1R-96M-03, The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, 1996
URL: http://fermi.jhuapl.edu/avhrr/primer/primer_html.html

[Monaldo 97] Monaldo F., “Primer on the Estimation of Sea Surface Temperature Using TeraScan Processing of NOAA AVHRR Satellite Data Version 2.0”, S1R-96M-03, The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, 22 ottobre 1997

[Montanari 00] Montanari G., Giovanardi F., Melley A., “Indici trofici per le acque marine e costiere, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente”, rapporto interno RTI CTN_AIM 1/2000

[Moreno 92] Moreno J. F., Gandia S., Melia J., “Geometric Integration of NOAA AVHRR and Spot Data: Low Resolution Effective Parameters from High Resolution Data,” IEEE Transation on Geoscience and Remoting Sensing, vol. 30, no. 5, pp. 1007-1014, settembre 1992

[Moreno 94] Moreno J. F., Melia J. “An Optimun Interpolation Method Applied to the Resempling of NOAA AVHRR Data,” IEEE Transation on Geoscience and Remoting Sensing, vol. 32, no. 1, pp. 131-151, gennaio 1994

[Murad Agha 99] Murad Agha A.K., Ward R., Zahir S., “Image expansion using segmentation-based method”, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, pp. 95 – 98, 1999

[MTU 96] MTU (Michigan Technological University) (/volcanoes/research/avhrr/sensor), “Remote Sensing of Volcanic Eruption Clouds Using AVHRR”, “Characteristics of the AVHRR sensor”; DGES (Department of Geological Engineering and Sciences), MTU (Michigan Technological University), Houghton, MI, USA, 1996

[MTU 96] MTU (Michigan Technological University) (/volcanoes/research/avhrr/discrim), “Remote Sensing of Volcanic Eruption Clouds Using AVHRR”, “Two Channel AVHRR Disctimation of Volcanic Clouds”; DGES (Department of Geological Engineering and Sciences), MTU, Houghton, MI, USA, 1996

[NASA 99A] NASA (/history/noaa/noaa.html), “The NOAA program”, “National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite”; with S. SAMPLE responsible NASA Official; 22 maggio 1999
URL: <http://www.earth.nasa.gov/history/noaa/noaa.html>

[NASA 99B] NASA (/history/noaa/noaa8.html), “The NOAA program”, “National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite”; with S. SAMPLE responsible NASA Official; 22 maggio 1999
URL: <http://www.earth.nasa.gov/history/noaa/noaa8.html>

[NASA 99C] NASA (/history/noaa/noaa15.html), “The NOAA program”, “National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite”; with S. SAMPLE responsible NASA Official; 22 maggio 1999.

URL: <http://www.earth.nasa.gov/history/noaa/noaa15.html>

[NASA 99D] NASA (/history/tiros/tiros.html), “The TIROS program”, “Television Infrared Observation Satellite”; with S. SAMPLE responsible NASA Official; 22 maggio 1999.

URL: <http://www.earth.nasa.gov/history/tiros/tiros.html>

[NASA 99E] NASA (/history/tiros/tirosn.html), “The TIROS program”, “Television Infrared Observation Satellite”; with S. SAMPLE responsible NASA Official; 22 maggio 1999.

URL: <http://www.earth.nasa.gov/history/tiros/tirosn.html>

[ncdc.noaa 02] NOAA KLM User’s Guide, NASA 2002

URL: <http://www2.ncdc.noaa.gov/>

[ncsa 02] NCSA, NCSA 2002. Homepage.

URL: <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>

[nesdis 02] NESDIS (National Environmental Satellite, Data and Information Service), NASA 2002,Homepage.

URL: <http://www.nesdis.noaa.gov/>

[NOAA 00] NOAA OSO (Office of Satellite Operations), “NOAA’s Environmental Satellites: A History”, Suitland,MD; ultimo aggiornamento 29 marzo 2000.

URL: <http://www.oso.noaa.gov/news/history/index.htm>

[NOAASIS 00] NOAASIS (NOAA Satellite Informations System), “NOAA’s Geostationary and Polar-Orbiting Weather Satellites”, NOAA/NESDIS E/SP3, Suitland, MD; aggiornato al 9 febbraio 2004.

URL: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/gateway.html>

[NOAASIS 99A] NOAASIS (nicsst.html), “NOAA-14 AVHRR Day and Night SST Equations 20 March 1995”; in NOAA/ NESDIS (National Environmental Satellite, Data and Information Services) SST Equations and Temperature Charts, Direct Services Division E/SP3, Suitland, MD; aggiornato al 31 dicembre 1999.

URL: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/SST/noaa14sst.asc>

[NOAASIS 99B] NOAASIS (nic5a.html), "Satellite Data Services – An Introduction"; NOAA NESDIS E/SP3 SDRDS,IWWWS (Attn: W. WINSTON), Suitland, MD; aggiornato al 31 dicembre 1999.

URL: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/satservices.html>

[NOAASIS 00] NOAASIS (launch.html), "Satellite Launch Schedules GOES-series and NOAA-series", "Launch Schedules Meteorological/Environmental Satellite"; NOAA/NESDIS DSD E/SP3, Suitland, MD; ultimo aggiornamento al 26 luglio 2000 b.

URL: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/launch.html>

[NOAASIS 01] NOAASIS (NOAA Satellite Informations System) (/ml/sstl.html), "NESDIS (National Environmental Satellite, Data, and Information Service), SST Equations and Temperature Charts", NOAA/NESDIS/DSD (Direct Service Division) E/SP3, Suitland, MD; aggiornato al 27 settembre 2001.

URL: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/sst.html>

[Olszewski 99] Olszewski J., Darecki M., "Derivation or remote sensing reflectance of Baltic waters from above-surface measurements", Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences, Oceanologia n. 41 pagg. 99-111, 25 gennaio, 1999

[O'Reilly 00] O'Reilly J.E. *et al.*, "SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3" – NASA Postlaunch Technical Report Series, NASA/TM-2000-206892, vol. 11, 2000

[Ott 90] Ott R. H., "Vector Analysis and Satellite Footprints," IEEE Transation on Geoscience and Remoting Sensing, vol. 28, no. 1, gennaio 1990, pp. 117-122

[Ottlè 92] Ottlè C., Vidal-Madjar D., "Estimation of land surface temperature with NOAA-9 data", Remote Sensing of Environment, 40, 27-41, 1992

[Pellegrini 95] Pellegrini P.F., Boccellari A., Piazza E., Valenti R., "Enhanced Movements Estimation Methods for High Resolution Airport Surface Radar Images", in Proceedings of IV International Conference on "Application of Advanced Technologies in Transportation Engineering", pp. 31-32, Capri 27-30 giugno 1995

[Pellegrini 97] Pellegrini P.F., Piazza E., Bencivenni A., "Procedura per il trattamento delle immagini NOAA/AVHRR prodotte dal software di acquisizione Tecnavia della Stazione di ricezione HRPT di Prato", Rapporto TLR-DIE Università di Firenze, Firenze 1997

[Pellegrini 00] Pellegrini P.F., Bucci M., Boccellari A., Tommasini M., “Osservazioni in tempo reale da satellite del Mar Tirreno e rilevamento di parametri ambientali a livello subpixel” Atti del 2° Convegno Nazionale delle Scienze del Mare – CoNisMa, Genova 22-25 novembre 2000

[Pellegrini 01] Pellegrini P.F., Innocenti M. Mori S., “Complesso dei dati METEOSAT, NOAA e SSM/I archiviati alla Stazione di Ricezione Satelliti del PIN - Prato dal 10.11.1994 al 27.03.2001”, TLR -DET A0401, Prato aprile 2001

[Pellegrini-2 01] Pellegrini P. F., Boccellari A., Tommasini M., Mori S., “Immagini Grezze ed Elaborate METEOSAT, NOAA e SSM/I Archivate nel Periodo 22.04.2000 – 27.03.2001”, Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università di Firenze, Laboratorio di Telecomunicazioni, Polo Universitario Città di Prato, Laboratorio di Telerilevamento da Satelliti, DET-PIN A0501, Prato

[Pellegrini-3 01] Pellegrini P.F., Poli U., Bogliolo M.P., Boccellari A., Tommasini M. “Contributo alla Determinazione di Zone con Riscaldamento Anomalo con Osservazioni NOAA in Tempo Reale su Scala Regionale”, Atti della 5° Conferenza Nazionale ASITA: ‘La qualità nell’informazione Geografica’, vol. II, pagg. 1201-1206, Rimini 9-12 ottobre 2001

[Pergola 00] Pergola N., Tramutoli V., “SANA: Sub-pixel automatic navigation of AVHRR imagery”, International Journal of Remote Sensing, vol. 21, 2000, pp. 2519-2524

[Poe 90] Poe G. A., “Optimum Interpolation of Imaging Microwave Radiometer Data,” IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. 28, no. 5, pp. 800-810, settembre 1990

[Pratt, 78] Pratt W.K., “Digital Image Processing,” Wiley & Sons, U.S.A., 1978

[Rast 99] Rast M., Bézi J.L., Bruzzi S., “The ESA Medium Resolution Imaging Spectrometer MERIS - A review of the instrument and its mission”, International Journal of remote Sensing, vol. 20, number 9, pag. 1681-1702, 15 giugno 1999

[Reutter 91] Reutter H., Olesen F. S., “Atmospheric correction of AVHRR IR-DATA with TOVS sounding”, Proceedings of the 5th AVHRR Data User’s Meeting held in Tromsø, Norway on 25-28 June 1991 (Darmstadt:EUMETSAT), pp. 143-148, 1991

[Roozekrans 93] Roozekrans J.N., "The operational use of NOAA-AVHRR image-product of the marine environment", International symposium on Operationalization of Remote Sensing, p. 141, Enschede, The Netherlands, aprile 1993

[Robinson 92] Robinson W. D., Kummerow C. K., Olson W. S., "A Technique for Enhancing and matching the Resolution of Microwave Measurements from the SSM/I Instrument," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 30, no. 3, maggio 1992, pp. 419-429

[Rossini 94] Rossini P., Taddei R., "Un modello per lo studio della vegetazione applicato ai dati NOAA/AVHRR", VI Convegno Naz. AIT, p. 139, Roma marzo 1994

[Santoleri 00] Santoleri R. *et al.*, "Uso integrato di dati da Satellite ed in situ per lo studio della relazione tra dinamica a mesoscala e produttività nel Mar Mediterraneo", IFA-CNR, 2000

[Sakalli 99] Sakalli M., Hong Y., Hong F., "A fuzzy-Bayesian approach to image expansion", International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN 1999, vol. 4, pp. 2685 – 2689, 1999

[Saunders 88] Saunders R.W., Kriebel K.T., "An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data", Int. J. Remote Sensing, vol. 9, pp. 123-150, 1988

[Schluessel 90] Schluessel P., Emery W.J. *et al.*, "On the skin-bulk temperature difference and its impact on satellite remote sensing of sea surface temperature", J. Geophys. Res., vol. 95, pp. 13,341-13, 356, 1990

[Schneider 94] Schneider D.J., Rose W.I., "Observations of the 1989-90 Redoubt Volcano eruption clouds using AVHRR satellite imagery", Proceedings of the First International Symposium on Volcanic Ash and Aviation Safety, U.S. Geological Survey Bulletin, Casadevall T. (ed.), no. 2047, pp. 405-418, 1994

[Schneider 95] Schneider D.J., Rose W.I., Kelley L., "Tracking of 1992 Crater Peak/Spurr eruption clouds using AVHRR", U.S. Geological Survey Bulletin, Casadevall T. (ed.), no. 2139, pp. 19-36, 1995

[seadas 02] SeaDAS, NASA 2002, Homepage.
URL: <http://seadas.gsfc.nasa.gov/>

[seadas,2 02] Obtaining SeaDAS, cartella ftp con i files e le istruzioni per l'installazione di SeaDAS; NASA 2002.

Indirizzo ftp: <ftp://samoa.gsfc.nasa.gov/seadas/seadas/>

[seawifs 02] SeaWiFS Project Homepage, NASA 2002.

URL: <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>

[seawifs,2 02] "Spacecraft L-Band Downlink to Receiving Earth Stations Interface Control Document", reperito dalla rete, NASA 2002.

URL: <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/SOFTWARE.html>

[Stogryn 78] Stogryn A., "Estimates of Brightness Temperatures from Scanning Radiometric Data", IEEE Transation on Antennas and Propagation, vol. AP-26, no. 5, settembre 1978

[Stumpf 91] Stumpf R.P., Pennock J.R., "Remote Estimation of the Diffuse Attenuation Coefficient in a Moderately Turbid Estuary", in Remote Sens. Environ. vol. 38, p. 183, Elsevier, New York 1991

[Szkielda 88] Szkielda K. H., "Atmospheric considerations", in Satellite Monitoring of the Earth, edited by Ji Au Kong (New York: Wiley Interscience), pp. 56-73, 1988

[Taddei 96] Taddei R., "Modello e algoritmi per i profili NDVI su dati mensili: applicazione ed immagini NOAA-AVHRR sul territorio italiano", Riv. It. Telerilevamento, vol. 6, pag. 31, gennaio 1996

[Tommasini 00] Tommasini M., Pellegrini P.F., "Sistemi per Ricerche di Telerilevamento del Lab. Telecomunicazioni DET – Università di Firenze " Atti della X "Riunione Annuale del Centro di Telerilevamento a Microonde- CeTeM - Polo Universitario Città di Prato – PIN – Prato, 26-27 ottobre 2000

[Tseng 94] Tseng W.Y., Chiu L.S., "AVHRR Oservation of Persian Gulf Oil Spills", IEEE IGARSS '94, Washington D.C. 1994

[Ulaby 86] Ulaby, Moore, Fung, "Microwave remote Sensing", vol. III, pp. 1283-1301 Artec House – 685 Canton Street – Norwood, MA (USA), 1986

[USGS 00] USGS/EDC (United States Geological Survey/EROS Data Center), "Advanced Very High Resolution Radiometer"; EROS (Earth Resources Observation System) Data Center, Sioux Falls, SD, USA, 2000.
URL: <http://edc.usgs.gov/products/satellite/avhrr.html>

[Ye 95] Ye G., "Correcting the NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land Data Set for Stratospheric Aerosols", IGARSS 95, p. 265, vol. 1, Firenze luglio. 1995

[Hastings 92] Hastings D.A., Emery W.J., "The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR): A Brief Reference Guide", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 58, no. 8, pp. 1183-1188, agosto 1992

[Wen 93] Wen S., Rose W.I., "Retrieval of particle sizes and total masses in volcanic clouds using AVHRR bands 4 and 5", Poster presented at AGU 1993 Fall Meeting, 1993.
URL: http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/research/avhrr/rad_transfer

[Wen 93] Wen S., Rose W.I., "Retrieval of particle sizes and total masses in volcanic clouds using AVHRR bands 4 and 5", Poster presented at AGU 1993 Fall Meeting, 1993.
URL: http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/research/avhrr/rad_transfer

[Wen 94] Wen S., Rose W.I., "Retrieval of sizes and total masses of particles in volcanic clouds using AVHRR bands 4 and 5", Journal of Geophysical Research, vol. 99, pp. 5421-5431, 1994

[Wick 00] Wick G.A., Bates J.J., Scott D.J., Satellite and skin layer effects on the accuracy of sea surface temperature measurements from the GEOS satellites, J. Atmos. Oceanic Technol., 2000

[Wu 93] Wu H., Schowengerdt R.A., "Improved estimation of fraction images using partial image restoration", IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. 31, Issue 4, pp. 771 – 778, luglio 1993

[Zibordi 92] Zibordi G., "Correzione degli effetti atmosferici in dati telerilevati sul mare nel visibile e nel vicino infrarosso", Fondamenti del Telerilevamento ed Applicazioni all'Ambiente Marino, ed. AIT, 1992

[Zilioli 92] Zilioli E., "Appunti su alcune caratteristiche dell'immagine", Fondamenti del Telerilevamento ed Applicazioni all'Ambiente Marino, ed. AIT, 1992

ABBREVIAZIONI E SIGLE

AmEDIT	Ambiente di Elaborazione Digitale Immagini Telerilevate
ARPAT	Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana
ATOVS	Advanced TIROS Operational Vertical Sounder
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CNR	Centro Nazionale delle Ricerche
DET	Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
DIIAA	Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali
ENVISAT	ENVIronment SATellite
ESA	European Space Agency
EUMETSAT	Europe's Meteorological Satellite Organisation
GCP	Ground Control Point
HRIT	High Rate Information Transmission
HRPT	High Resolution Picture Transmission
IFA	Istituto di Fisica dell'Atmosfera
IFFM	Integrated Forest Fire Management
ISDN	Integrated Services Digital Network
LAN	Local Area Network
LMSE	Least Mean Square Error
LRIT	Low Rate Information Transmission
MCSST	Multi Channel Sea Surface Temperature
MDD	Meteorological Data Distribution
MERIS	MEDium Resolution Imaging Spectrometer
METEOSAT	METEORological SATellite
MIR	Metodologie Integrate di indagine in aree di pregio ambientale mirate alla valorizzazione e gestione delle Risorse
MIUR	Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
MODIS	MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
MSG	METEOSAT Second Generation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
nLw	Normalized water-leaving radiance
NM	Nautic Mile
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NORAD	NORTH american Aerospace Defense command

PNAT	Parco Nazionale Arcipelago Toscano
RRS	Remote-Sensing Reflectance
SeaWiFS	Sea-viewing Wide -Field-of-view Sensor
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager
SSM/I	Special Sensor Microwave Imager
SST	Sea Surface Temperature
TFU	Unità di Formazina
TOVS	TIROS Operational Vertical Sounder
UTC	Coordinated Universal Time
WGS 84	World Geodetic System 1984

RIFERIMENTI UTILI

ARPAT - Area per la Tutela dell'ambiente marino, lagunare, lacustre, costiero e dell'ittiofauna, "Area Mare"

Lucio De Maio
Dipartimento sub-provinciale ARPAT di Piombino (LI)
Tel. 0565277307
e-mail: l.demaio@arpat.toscana.it

Fabio Gambassi
Dipartimento sub-provinciale ARPAT di Piombino (LI)
Tel. 0565277324
e-mail: f.gambassi@arpat.toscana.it

Glaucio Magnelli
Dipartimento sub-provinciale ARPAT di Piombino (LI)
Tel. 0583958727
e-mail: g.magnelli@arpat.toscana.it

Antonio Melley
Direzione Generale ARPAT - Firenze
Tel. 0553206450
e-mail: a.melley@arpat.toscana.it

Fabrizio Serena
Dipartimento provinciale ARPAT di Livorno
Tel. 0586263496
e-mail: f.serena@arpat.toscana.it

Laboratorio di Telecomunicazioni del Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni (DET) – Università degli Studi di Firenze:

Cosimo Francini
Tel. 0554796387
e-mail: c.francini@labtele.det.unifi.it

Massimo Marconi
Tel. 0554796387
e-mail: m.marconi@labtele.det.unifi.it

Luciano Nencioni
Tel. 0554796387
e-mail: l.nencioni@labtele.det.unifi.it

Pier Franco Pellegrini
Tel. 0554796267, 0574602525
e-mail: pf.pellegrini@labtele.det.unifi.it

Gabriele Poli
Tel. 0554796387
e-mail: g.poli@labtele.det.unifi.it

Maurizio Tommasini
Tel. 0554796387, 0574602525
e-mail: m.tommasini@labtele.det.unifi.it

Stazione Ricezione Satelliti PIN – Polo Universitario di Prato

Lorenzo Bicci
Tel. 0574602525
e-mail: lorenzo.bicci@pin.unifi.it

Andrea Boccellari
Tel. 0574602525
e-mail: a.boccellari@labtele.det.unifi.it

Monica Innocenti
Tel. 0574602525
e-mail: m.innocenti@labtele.det.unifi.it