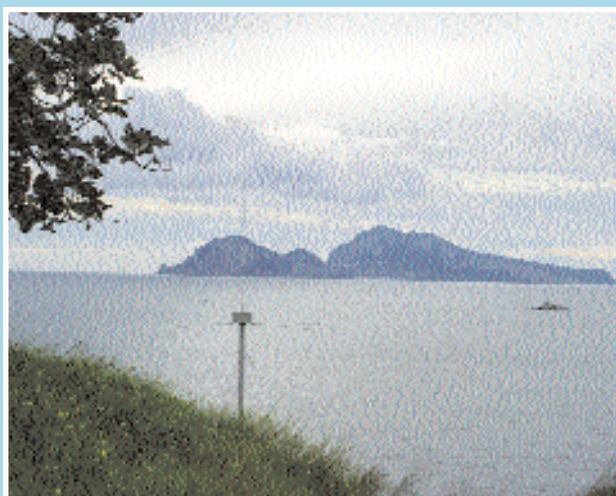


Centro Regionale di Competenza  
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Università degli Studi di Napoli "Parthenope"  
Dipartimento di Scienze per l'Ambiente

# MiCSER

Misure di Correnti Superficiali Eseguite con Radar costiero



*Manuale tecnico a cura di:*

Berardino Buonocore  
Daniela Flocco  
Enrico Zambianchi



Centro Regionale di Competenza  
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Università degli Studi di Napoli "Parthenope"  
Dipartimento di Scienze per l'Ambiente

# MiCSER

Misure di Correnti Superficiali Eseguite con Radar costiero

*Manuale tecnico a cura di:*

Berardino Buonocore  
Daniela Flocco  
Enrico Zambianchi

Centro Regionale di Competenza  
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale  
Polo delle Scienze e delle Tecnologie  
Dipartimento di Scienze Fisiche  
C/o Facoltà di Ingegneria - Via Nuova Agnano, 11 - III Piano  
80125 - Napoli - Italy  
[www.amra.unina.it](http://www.amra.unina.it)  
[ambiente@na.infn.it](mailto:ambiente@na.infn.it)  
Telefono +39 081 76-85125/124/115  
Fax. +39 081 76-85144

*Autori*

Berardino Buonocore, Daniela Flocco, Enrico Zambianchi  
*Università degli Studi di Napoli "Parthenope"*  
*Dipartimento di Scienze per l'Ambiente*

*Coordinamento editoriale*

**doppia**voce  
[www.doppiavoce.it](http://www.doppiavoce.it)

*In copertina*

L'antenna ricetrasmittente installata a Massa Lubrense: sullo sfondo,  
l'isola di Capri

Copyright © 2005 Università degli Studi di Napoli Federico II – CRdC-AMRA

Tutti i diritti riservati  
È vietata ogni riproduzione

# Indice

Introduzione	5
Principi di funzionamento	7
La configurazione installata nel Golfo di Napoli	9
Possibili applicazioni al rischio ambientale	13
Bibliografia	15



## Introduzione

Il mare è un ambiente fluido. Per questa ragione, ai fini della caratterizzazione dello stato di salute ambientale di un bacino costiero non ci si può limitare al monitoraggio delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque, sia pure ad alta risoluzione spaziale e a fitta cadenza temporale; a questo è necessario aggiungere la conoscenza delle correnti, che consente di valutare l'evoluzione dello stato del bacino dovuta al movimento delle acque e ai fenomeni di trasporto all'interno di esso. In queste pagine descriviamo un sistema innovativo di misura delle correnti marine superficiali di cui si è recentemente dotata l'Unità Operativa del Dipartimento di Scienze per l'Ambiente dell'Università "Parthenope" nell'ambito delle attività della sezione sulla Vulnerabilità del Sistema Marino Costiero del Centro Regionale di Competenza per l'Analisi e il Monitoraggio del Rischio Ambientale.

Esistono due modi di caratterizzare un campo di correnti nell'oceano, o in un bacino costiero, che rispecchiano due differenti approcci: le misure cosiddette euleriane, che sono misure effettuate a tempi diversi in posizioni fisse, e quelle lagrangiane, in cui la corrente è misurata seguendo la traiettoria di una particella d'acqua che si muove trasportata dalla corrente stessa.

Questi approcci, che riflettono due modalità di descrizione del campo di moto (e della distribuzione di parametri caratteristici del fluido e del flusso) in linea di principio equivalenti, presentano entrambi delle limitazioni:

1. le misure euleriane danno un'informazione regolare nel tempo, ma limitata all'immediato intorno della posizione di misura;
2. le misure lagrangiane danno informazioni distribuite all'interno della zona di interesse, ma la misura in posizioni diverse viene effettuata a tempi differenti.

In altre parole, le misure euleriane mancano di sinotticità spaziale, mentre quelle lagrangiane di regolarità temporale.

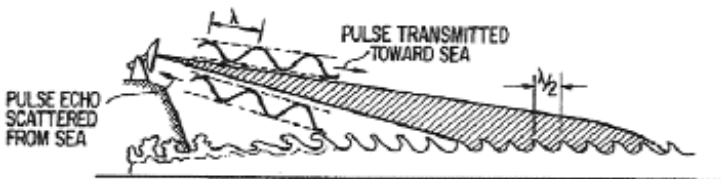
A queste limitazioni è possibile ovviare, almeno in parte, con misure telerilevate, ossia effettuate da strumenti che si trovino a

una certa distanza dai punti di misura (generalmente montati su satelliti o su aerei), e che quindi siano in grado di inquadrare un'area di mare di una certa ampiezza con regolarità temporale. In questo ambito particolarmente interessanti risultano le potenzialità dei radar costieri in HF: si tratta di strumenti di rilevamento installati non su velivoli ma sulla costa, che consentono di misurare correnti superficiali (relative al primo metro d'acqua) in aree costiere su grigliati con risoluzioni che vanno da qualche chilometro a poche centinaia di metri e con una cadenza temporale oraria.

La storia dell'applicazione alla correntometria superficiale dei radar in HF è ormai quasi quarantennale, ma negli ultimi dieci anni il numero di sistemi installati nel mondo ha conosciuto un sensibile incremento. L'origine dell'utilizzazione di simili apparecchiature per la misura delle correnti costiere è quasi casuale: nati per scopi militari (principalmente per la sorveglianza dello spazio aereo), questi strumenti ebbero vita assai difficile non solo per i costi di esercizio, al tempo elevatissimi, ma anche per la diffusa presenza di un rumore di fondo estremamente invadente, dovuto proprio alla riflessione del segnale da parte delle onde marine (le antenne erano poste in riva al mare per ragioni strategiche). La svolta avvenne quando fu ribaltata la prospettiva, e si iniziò a considerare quanto proveniva dalla superficie del mare, piuttosto che come rumore, come il vero segnale di interesse. I progressi della tecnologia negli ultimi decenni hanno consentito un notevolissimo ridimensionamento delle antenne (quelle del radar installato negli anni '70 da Donald Barrick su San Clemente Island, in California [1], occupavano una superficie di 500 metri quadrati, mentre i sistemi attuali possono utilizzare antenne simili a quelle che usano i radioamatori, facilmente spostabili e il cui ground plane è dell'ordine dei due metri quadrati) e un'estrema semplificazione dell'elettronica e del software necessari per decodificare il segnale. Questo consente di realizzare con facilità sistemi operativi in pochissimi giorni, ove si disponga di un minimo di infrastruttura che consiste sostanzialmente in un piccolo ambiente riparato per il ricovero dell'attrezzatura elettronica (già esistente o realizzato ad hoc), nell'accesso a una sorgente di alimentazione elettrica e a un sistema di comunicazione, eventualmente wireless, tra siti periferici e stazione centrale.

## Principi di funzionamento

Il termine "radar" nasce come acronimo di RADio Detection And Ranging, e definisce un dispositivo che trasmette un segnale a radiofrequenza (tipicamente nell'intervallo corrispondente alle microonde) verso un bersaglio e ne rileva l'eco riflessa; dal tempo impiegato dal segnale riflesso a raggiungere l'antenna è possibile calcolare la distanza del bersaglio. In un radar costiero il bersaglio è costituito dalle onde di gravità che si propagano sulla superficie di un bacino costiero; la sua applicabilità a un simile sistema è conseguenza della legge di Bragg, concepita originariamente per spiegare la diffrazione di raggi X da parte di un cristallo ma che può essere applicata a una superficie marina perturbata da onde di gravità. La superficie del mare, su cui incida una radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda appropriata generata da un dispositivo che si basa sul principio del radar, agisce come un reticolo di diffrazione [2]; la radiazione riflessa dalla superficie si troverà in condizioni di interferenza costruttiva quando la lunghezza d'onda delle increspature della superficie marina è pari alla metà di quella della radiazione incidente emessa dallo strumento (Figura 1). Lo spettro delle onde di gravità che si sviluppano in bacini costieri presenta caratteristiche di una certa universalità, e le frequenze di lavoro dei radar costieri sono generalmente racchiuse in un intervallo che ottimizza la probabilità di riflessione da parte delle onde stesse. All'interno di questo interval-



**Fig. 1.** Risonanza di Bragg da parte della superficie del mare. Si ha interferenza costruttiva del segnale retroriflesso dalle onde di gravità superficiali quando  $L = \lambda/2$ , con  $L$  = lunghezza d'onda delle onde di gravità superficiali e  $\lambda$  = lunghezza d'onda del segnale elettromagnetico trasmesso dal radar (adattata da [3]).



**Tab. 1.** Distanza massima di misura e risoluzione di un radar costiero (i valori qui riportati sono valori tipici diffusi dalla CODAR OS per il sistema SeaSonde. I valori effettivi dipendono, oltre che dalla frequenza, dall'ubicazione delle antenne riceventi e trasmettenti, dalla loro vicinanza all'acqua, dall'eventuale presenza di ostacoli, nonché da vari fattori ambientali che vanno dal rumore elettromagnetico presente allo stato del mare e delle correnti in occasione della misura).

<b>Frequenza</b>	<b>Distanza massima</b>	<b>Risoluzione</b>
4-6 Mhz	160-220 km*	3-12 km
12-14 Mhz	50-70 km	2-3 km
24-27 Mhz	30-50 km	1-2 km**
40-44 Mhz	10-20 km	300 m-1 km

\* La distanza massima diminuisce fortemente durante la notte per l'aumento del rumore elettromagnetico esterno.

\*\* 300 m-1 km nel caso di sistemi ad alta risoluzione.

lo, la scelta della frequenza di lavoro è dettata da considerazioni sulla portata e sulla risoluzione desiderate (Tabella 1). Nel caso in cui le onde superficiali responsabili della riflessione del segnale radar fossero stazionarie, il segnale ricevuto dalla singola stazione ricetrasmittente avrebbe le caratteristiche teoriche sopracitate. In realtà, queste onde non sono mai stazionarie, ma si propagano, rispetto all'antenna ricetrasmittente di ogni singola stazione, in avvicinamento o in allontanamento. Questo indurrà una variazione della frequenza del segnale ricevuto dovuto a effetto Doppler, e in particolare un aumento della frequenza per i treni d'onda in avvicinamento e una diminuzione per quelli in allontanamento (Figura 2A). Se poi le onde sono sovrapposte a un campo di velocità superficiale, la frequenza del segnale di ritorno subisce un ulteriore spostamento Doppler indotto dalla componente radiale della corrente (in avvicinamento o in allontanamento) rispetto alla stazione ricevente (Figura 2B). Questo effetto, che rappresenta il centro dell'interesse quando si utilizza un radar costiero per la misura delle correnti superficiali, è relativamente semplice da quantificare e, se si dispone di almeno due stazioni ricetrasmittenti, è possibile procedere alla combinazione vettoriale delle componenti radiali e ricavare il campo di corrente superficiale nella zona in esame.



**Fig. 2.** Effetto Doppler dovuto a propagazione delle onde e correnti superficiali. A. Spostamento Doppler del segnale retroriflesso indotto dalla propagazione in avvicinamento (segno +) o in allontanamento (segno -) dal sito radar delle onde di gravità superficiali, dato da  $\pm \delta f = \pm 2v/\lambda$  con  $v$  = velocità radiale delle onde di gravità superficiali rispetto alla stazione ricetrasmittente. B. Ulteriore spostamento Doppler  $\Delta f$  dovuto alla presenza di una corrente superficiale in avvicinamento alla stazione ricetrasmittente. Il picco centrale corrisponde al segnale trasmesso.

## La configurazione installata nel Golfo di Napoli

Attualmente sono disponibili sul mercato diversi tipi di radar costieri in HF. La scelta del Dipartimento di Scienze per l'Ambiente dell'Università "Parthenope" nell'ambito delle attività della sezione sulla Vulnerabilità del Sistema Marino Costiero del Centro Regionale di Competenza per l'Analisi e il Monitoraggio del Rischio Ambientale si è orientata verso un sistema SeaSonde, prodotto dalla Codar Ocean Sensors di Mountain View, California (USA). Gli apparecchi della Codar OS (CODAR sta per Coastal Ocean Dynamics Application Radar) presentano, tra gli altri, il vantaggio di utilizzare una tecnologia innovativa, introdotta e brevettata dal fondatore della società Don

Barrick, che riduce fortemente l'ingombro delle antenne riceventi e trasmettenti, in alcuni casi combinandole anche insieme. Questo è naturalmente di capitale importanza per sistemi da installare su una costa così densamente antropizzata come quella della Campania.

Per le ragioni esposte nel paragrafo precedente, per una determinazione dei vettori velocità sono necessari almeno due siti, in modo da poter comporre vettorialmente le informazioni radiali. La determinazione dei siti è delicata, poiché si deve ottemperare a una serie di condizioni. Ad esempio, le antenne devono essere installate in prossimità dell'acqua, per evitare perdite di potenza nel percorso su terra; la visibilità della zona di mare di interesse deve essere libera da impedimenti; inoltre, giacché la trasmissione non è direzionale, l'area intorno alle antenne a 360° deve essere priva di ostacoli (in particolare metallici) che rischierebbero di causare distorsioni del segnale. Per le stesse ragioni anche la presenza di una parete rocciosa alle spalle dell'antenna è da evitarsi, in quanto potrebbe provocare effetti di riflessione spuria. In aggiunta a tutto questo, vanno ovviamente anche compiute valutazioni sulla convenienza logistica delle localizzazioni prescelte.

Nel caso del sistema del Centro Regionale di Competenza per l'Analisi e il Monitoraggio del Rischio Ambientale della Regione Campania, dopo un'attenta valutazione delle possibilità, la scelta è caduta su due siti che ottemperano alle condizioni di cui sopra e che consentono di inquadrare al meglio il Golfo di Napoli e in particolare le aree sensibili del porto e del litorale cittadino:

1. l'unità centrale si trova presso il Dipartimento di Scienze per l'Ambiente dell'Università "Parthenope";
2. le antenne sono state installate presso il Centro Ricerche ENEA di Portici e a Massa Lubrense, in località La Villanella, nel complesso del Centro di Alta Formazione "Villa Angelina" (Figura in copertina).

La configurazione dell'elettronica nei due siti è identica, eccezion fatta per i sistemi di comunicazione: mentre l'elettronica installata presso l'ENEA è connessa alla rete LAN dell'ente, alla Villanella è stata realizzata una connessione via GPRS. Entrambi i siti remoti comunicano con l'unità centrale tramite la rete internet.

In Figura 3 mostriamo la copertura per il sistema installato nel Golfo di Napoli: come si vede il sistema non rileva dati a est della congiungente tra le due stazioni. Questa, tuttavia, non va considerata come una limitazione grave, in quanto l'area non coperta è delimitata completamente dalla costa, e la conoscenza completa della velocità lungo l'unico bordo aperto consente di valutare il campo di correnti anche in quella zona a partire da considerazioni geometriche e di continuità. In Figura 4 mostriamo una mappa di correnti rilevata poco prima della pubblicazione di questo manuale: è importante sottolineare che si tratta di dati ancora non calibrati, che tuttavia possono dare un'idea della portata e della risoluzione delle strutture del campo di correnti che questo sistema consente di misurare a cadenza oraria.



**Fig. 3.** Copertura del sistema installato nel Golfo di Napoli. Si noti che il Golfo di Pozzuoli è schermato dalla collina di Posillipo.



**Fig. 4.** Correnti superficiali rilevate il 2/2/2005 alle ore 18.00 GMT. In rosso si raffigura un esempio di estrapolazione del campo di corrente nella zona del Golfo di Castellammare di Stabia.

## Possibili applicazioni al rischio ambientale

Aldilà dell'interesse scientifico insito nello studio della dinamica di uno specifico bacino costiero, la disponibilità di campi di corrente superficiale ad alta risoluzione nello spazio e nel tempo riveste una notevole importanza dal punto di vista applicativo. In particolare, le applicazioni più interessanti nell'ambito delle indagini sul rischio ambientale in ambiente marino sono quelle incentrate sull'analisi, sul monitoraggio e sulle strategie di mitigazione dei rischi derivanti da un eventuale sversamento di sostanze inquinanti all'interno di un'area costiera.

Per quanto riguarda lo studio dei processi di dispersione di inquinanti che galleggino sulla superficie marina, si può prevedere di realizzare un modello di descrizione del trasporto che utilizzi il campo di velocità dedotto dalle misure radar di corrente superficiale, eventualmente interpolate nello spazio e nel tempo; a questo campo va aggiunta una componente che parametrizzi gli effetti dei moti turbolenti a scale più piccole di quelle risolte dal radar [4], adattato alle fenomenologie tipiche che si riscontrano nella zona in esame.

Nel caso invece di studi di dispersione di inquinanti non limitati alla superficie, in cui è indispensabile la conoscenza della dinamica tridimensionale, i dati radar superficiali potranno essere utilizzati come condizioni al contorno di un modello di circolazione costiera multistrato. In questo caso sarà anche necessaria la conoscenza dei forzanti meteorologici, della stratificazione e delle condizioni al contorno nella zona che segna il limite tra acque costiere e acque di largo.

Le situazioni in cui applicare dati di radar costiero combinati con un modello di dispersione di inquinante sono le più varie: dallo sversamento di idrocarburi, accidentale o volontario, all'evoluzione di fenomeni mucillaginosi; dagli studi di impatto dell'apporto di acque fluviali che contengano sostanze nocive, a quelli sull'influenza di sorgenti di inquinamento anche di entità limitata ma che localmente possono indurre situazioni di forte degrado della qualità ambientale e della fruibilità turistica dei litorali.

Gli studi sul trasporto di inquinanti non esauriscono tuttavia le possibili applicazioni dei radar costieri: vale la pena di citare l'utilizzazione di dati di radar costiero condotta dalla Guardia Costiera degli USA, finora a livello puramente sperimentale, per operazioni di "ricerca e soccorso" di naufraghi in mare [5]. Inoltre è tornato, drammaticamente, di grande attualità il possibile uso di questi sistemi per la rilevazione e l'*early warning* di onde di maremoto (*tsunami*), già affrontato negli anni '70 [6]. A questo proposito va sottolineato che, poiché i radar costieri sono elettivamente utilizzati per misure di corrente, quello che essi rilevano nel caso di un'onda di tsunami non è la sua propagazione, per quanto molto veloce, ma la velocità di spostamento delle particelle d'acqua alla cresta e al cavo dell'onda stessa. Questo effetto è tipicamente così debole da non distinguersi dal rumore di fondo. Nel caso delle onde di maremoto queste velocità sono tuttavia dell'ordine dei 10 cm/s e aumentano all'approssimarsi alla costa, rientrando quindi a pieno titolo nel campo di rilevanza da parte del radar.

I dati misurati dal radar sono disponibili presso la pagina web [www.correntimarine.disamnapoli.it](http://www.correntimarine.disamnapoli.it).

### *Ringraziamenti*

Si ringraziano il Centro Ricerche dell'ENEA di Portici, il Centro di Alta Formazione "Villa Angelina", di proprietà del Gruppo Editoriale Esselibri Simone, e l'Agriturismo "La Villanella" di Massa Lubrense per aver acconsentito a ospitare le stazioni remote del sistema MiCSER. Si ringraziano inoltre Arturo De Alteris e Vincenzo Severino per l'assistenza tecnica e Alessandro Mercatini e Giovanni Zambardino per l'assistenza grafica.

## Bibliografia

1. Barrick DE. Extraction of wave parameters from measured HF radar sea-echo Doppler spectra. *Radio Science* 1977;12:415-24.
2. Crombie DD. Doppler spectrum of sea echo at 13.56 Mc/s. *Nature* 1955;175:681-2.
3. Barrick DE, Evans MW, Weber BL. Ocean surface currents mapped by radar. *Science* 1977;198:138-44.
4. Csanady GT. *Turbulent Diffusion in the Environment*. Reidel, Dordrecht, 1973, pp. 248.
5. Ullman D, O'Donnell J, Edwards C, Fake T, Morschauser D, Sprague M, Allen A, Krenzien B. Use of Coastal Ocean Dynamics Application Radar (CODAR) Technology in U.S. Coast Guard Search and Rescue Planning. U.S. Coast Guard Research and Development Center, Report No. CG-D-09-03, June 2003.
6. Barrick DE. A coastal radar system for tsunami warning. *Remote Sensing of the Environment* 1979;8:353-8.



Finito di stampare nel mese di giugno 2005  
presso Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli S.p.A. – Napoli

