

SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI

1 GEN. '86

VOCE TESTI
DATI IMMAGINI

EDIZIONI I.E.N.S. 20124 MILANO VIA TARAMELLI, 19 TEL. 02 6890890-6892767 SPED. IN ABB. POSTALE Gr. III/70

Fava

Avete mai calcolato quante ore lavoro e ore macchina vanno perse in un anno da ogni unità addetta alla riparazione guasti su linee telefoniche per una incompleta dotazione di strumenti?



TEST TEL 81
MEGAOHMMETRO
 Ω -K Ω -M Ω (fondo scala
2000 M Ω) digitale
+ Voltmetro in c.c. - c.a.
+ Generatore di chiamata
Alimentazione MPG e
Linea

MPG 80/84/84 M
Microtelefono di prova
versione a disco combi-
natore - tastiera decadi-
ca - tastiera M.F. e de-
cadica commutabile

FLG 85
Localizzatore di basso
isolamento e corti-cir-
cuiti, in cavi telefonici

UNA NUOVA RUBRICA:
IL MARKETING
DELLE TELECOMUNICAZIONI

rolandgrafic/contact - br

Fava

FAVA IVO S.r.l. - I-39100 BOLZANO - Cas. Post. 140
Uffici e stabilimento - I-39055 LAIVES
Zona Industriale - Via Meucci
Telefono: 954041/954042 - Telex: 400396 FAVA I

SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI

1 - 86

SOMMARIO

IL FUTURO DELLE TELECOMUNICAZIONI IN EUROPA di K.V. Cassani - IBM Europe	13
IL RADAR ALTIMETRO: UN SENSORE ITALIANO PER IL SATELLITE ERS-1 di R. Somma - Selenia Spazio	16
LA SEGNALEZIONE A CANALE COMUNE N° 7: QUALE IL SUO FUTURO? acura della Redazione	24
ESPERIENZE DELLA SIRTI IN ARABIA SAUDITA di A. Bassi - Sirti	28
RETI LOCALI DI ELABORATORI di C. Drentea - Quaderni di Informatica HISI	34
IL MARKETING DELLE TELECOMUNICAZIONI IL MARKETING: RICERCA DI UNA DEFINIZIONE E DEL RUOLO di A. Gabellini Pucci - Face Finanziaria	42

LE AZIENDE INFORMANO 48

PRODOTTI E SISTEMI NUOVI 64

CORSI, SEMINARI, INCONTRI 86

FLASH DAL MONDO 88

NOTIZIARIO ESTERO 90

FIERE, MOSTRE E CONVEGNI 92

BREVETTI 94

IL RADAR ALTIMETRO: UN SENSORE ITALIANO PER IL SATELLITE ERS-1

di **ROBERTO SOMMA** - Selenia Spazio, Roma

Introduzione

Con "telerilevamento spaziale" si indicano i metodi e le tecniche connessi all'uso di satelliti orbitanti attorno alla Terra per osservarne le caratteristiche della superficie (terre emerse, oceani) e dell'atmosfera ad essa sovrastante. Gli strumenti che vengono utilizzati per il telerilevamento operano sulla base di diversi principi e in diverse regioni dello spettro elettromagnetico; essi possono essere raggruppati in due grandi famiglie: quella dei sensori *passivi*, che misurano la radiazione emessa dalla superficie terrestre in differenti regioni dello spettro elettromagnetico, e quella dei sensori *attivi* che misurano la risposta della superficie alla

radiazione incidente, emessa dagli strumenti stessi. I dati forniti dal satellite vengono correlati con caratteristiche identificabili della superficie confrontandoli con la "verità a terra" determinata con mezzi convenzionali.

L'uso del satellite nel settore del telerilevamento è stato motivato dai vantaggi derivanti dalla sua capacità di osservazioni continue di estese aree geografiche, alcune delle quali sarebbero peraltro inaccessibili con mezzi convenzionali e per le quali, pertanto, i dati disponibili sarebbero scarsi o addirittura mancanti. Ovviamente una tale importante applicazione dello spazio non è iniziata soltanto in questi ultimi anni; si può anzi dire che mezzi di osservazione della Terra erano imbarcati sui primissimi satelliti lanciati dall'uomo. È però soltanto agli inizi degli anni '70 che i primi satelliti

interamente dedicati al telerilevamento delle risorse ambientali sono stati posti in orbita.

Tra le applicazioni del telerilevamento, l'uso a fine meteorologico è già in fase operativa con i benefici che ognuno può constatare.

I principali paesi coinvolti in attività spaziali hanno oggi un loro settore telerilevamento ed una esauriente panoramica dei programmi in corso può trovarsi in [1].

Per il 1989 è previsto il lancio del satellite europeo ERS-1, dedicato principalmente al telerilevamento dell'ambiente oceanico; uno dei sensori attivi a microonde imbarcati su questo satellite, il Radar Altimetro, è in corso di realizzazione in Italia presso la Selenia Spazio.

Scopo di questo articolo è presentare il suddetto strumento nel contesto della missione ERS-1.

Il telerilevamento oceanico ed il satellite ERS-1

Negli anni recenti nuove applicazioni potenziali degli oceani, oltre alle tradizionali pesca e navigazione, hanno aumentato l'interesse per questo ambiente. Tra esse citiamo la produzione di energia, sia direttamente attraverso le mare, le correnti ed i gradienti termici, che indirettamente attraverso le estrazioni petrolifere sulla piattaforma continentale, e l'estrazione dei minerali tanto dal fondo oceanico che dalle acque marine.

A questo è da aggiungere l'evidente interesse della comunità scientifica per questo ambiente che copre il 70% della superficie terrestre, e che si rivolge a ricerche nei settori della oceanografia e glaciologia, con l'obiettivo immediato della previsione dello stato del mare e quello a lungo termine dell'aumento di conoscenza sui processi dinamici che si verificano in tale ambiente, della climatologia, con l'obiettivo di accrescere la conoscenza sulle influenze dei fenomeni oceanici sul sistema climatico globale, della geodesia, con l'obiettivo della determinazione accurata del geoide terrestre. Una tale concentrazione di interessi, sia applicativi che scientifici, ha motivato le ricerche orientate alla identificazione ed all'ottenimento di metodi e strumenti adatti all'acquisizione delle informazioni interessanti sull'ambiente oceanico.

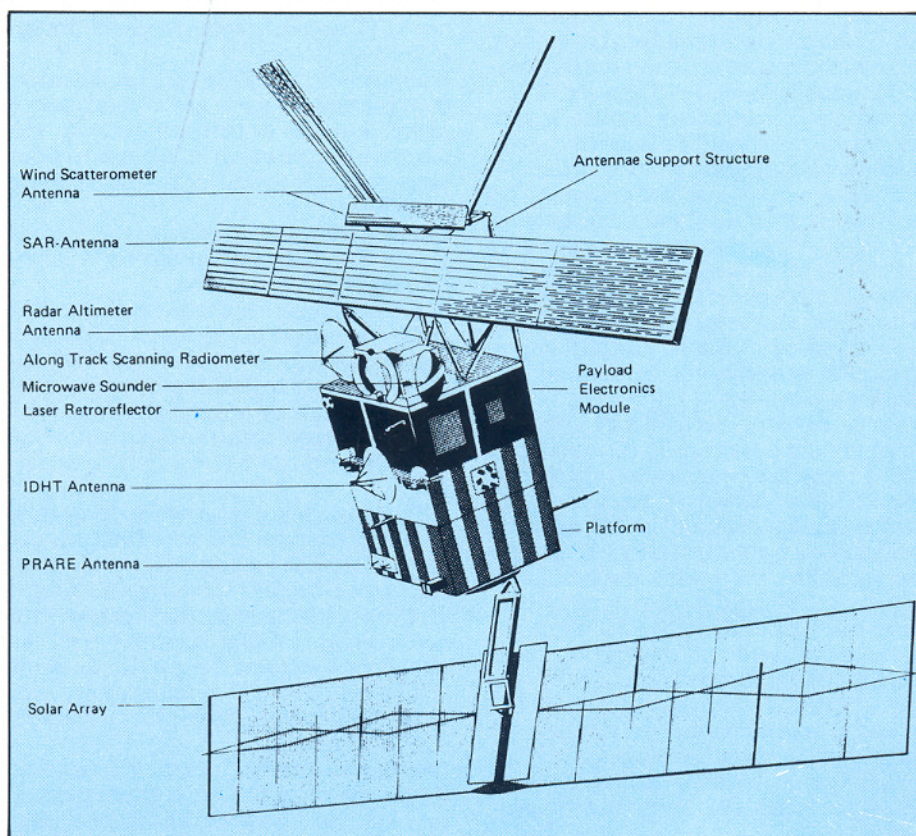


Fig. 1 - Il satellite ERS-1.

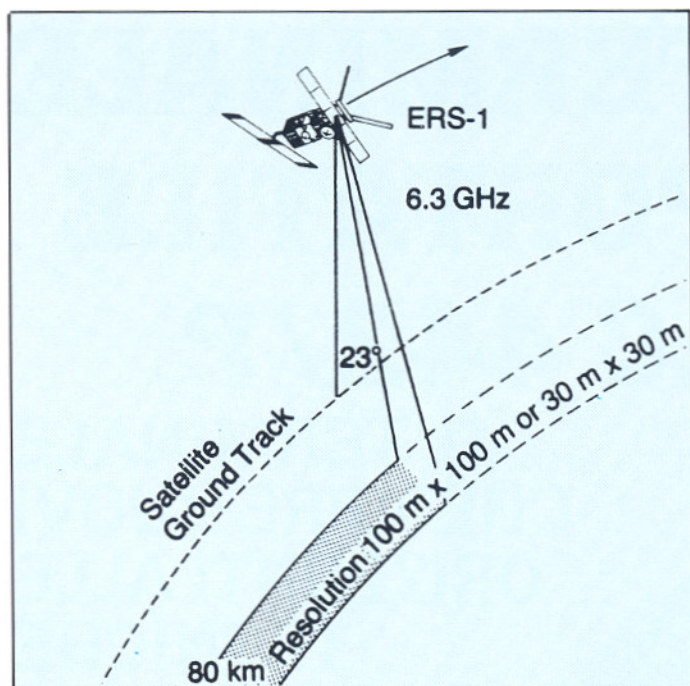


Fig.2 - Zona di osservazione dell'AMI (Modo Immagine).

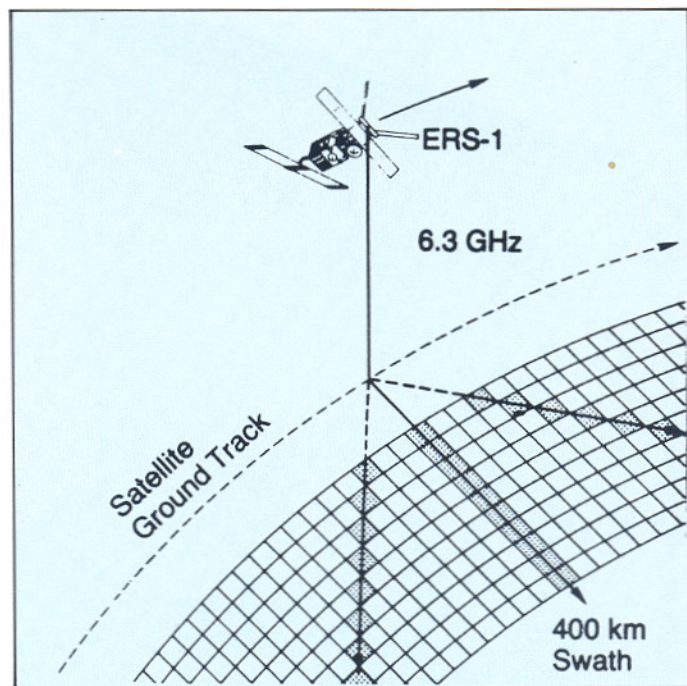


Fig.3 - Zona di osservazione dell'AMI (Modo Vento).

Come puntualizzato nell'introduzione, sia l'estensione dell'ambiente oceanico che l'inaccessibilità di gran parte di esso a mezzi convenzionali hanno sottolineato l'importanza del telerilevamento spaziale per la sua osservazione [2], e ciò si è concretizzato nella realizzazione di satelliti dedicati, aventi lo scopo di provare metodi e strumenti di telerilevamento, quali ad esempio gli esperimenti dello Skylab (1973), il GEOS 3 (1975) e, principalmente, il Seasat 1 (1978). La maturazione delle tecniche e dei concetti derivata dalle suddette realizzazioni ha condotto alla pianificazione di nuovi satelliti di telerilevamento oceanico quali TOPEX (USA/Francia, 1990/91), NROSS (USA, 1989), MOS-1 (Giappone, 1986) e l'Europeo ERS-1 (1989), al quale si fa riferimento in questo articolo.

La configurazione di ERS-1 è mostrata in fig. 1. Si tratta di un satellite stabilizzato su 3 assi, che avrà un'orbita nominale di 777 km di quota e 98,5° di inclinazione. Con questa orbita di riferimento il satellite avrà una periodicità di 3 giorni sugli stessi punti a terra.

È però prevista la possibilità di aggiustamenti o manovre orbitali per ottenere diverse caratteristiche di copertura, se ciò si rendesse necessario a seguito di richieste da utenti.

I principali sensori imbarcati su ERS-1 sono l'Active Microwave Instrumentation (AMI) ed il Radar Altimetro (RA) che, operando nel campo delle microonde, permettono di ottenere dati in ogni condizione meteorologica e di illuminazione. L'AMI è un sensore a microonde in banda C (5,3 GHz) avente tre modi operativi; nel primo di essi (fig. 2) lo strumento opera come un Radar ad Apertura Sintetica (SAR) e fornisce immagini ad alta risoluzione delle zone costiere, oceaniche e polari. Il sensore è ottimizzato per applicazioni oceaniche, ma in via sperimentale sarà usato anche su terre emerse. Una singola immagine SAR/ERS-1 è relativa ad un "quadro" di 80/90 km con una

risoluzione di 30 x 30 m. Il secondo modo operativo è il Modo Vento (fig. 3), nel quale l'AMI opera come uno Scatterometro, ed utilizza antenne differenti. Questo modo operativo consentirà di ottenere misure di velocità (da 4 a 24 m/s) e direzione (da 0 a 360°) del vento oceanico su aree di 400 Km di lato e risoluzioni di 40 km x 40 km.

Il terzo modo operativo dell'AMI è il Modo Onde (fig. 4) nel quale lo strumento agisce ancora come un SAR, le cui immagini vengono processate per ottenere i parametri dei campi ondulosi. In questo modo operativo lo strumen-

to lavora ad un livello di potenza nettamente più basso che in quelli precedenti, inoltre non opera con continuità ma raccoglie campioni delle dimensioni di 5 km x 5 km per ogni 100 km di traccia al suolo.

Il Radar Altimetro è uno strumento operante in banda Ku (13,8 GHz) e puntato a Nadir (fig. 5) in rado di fornire dati sull'altezza delle onde (SWH), sulla velocità del vento (scalare) e sulla distanza satellite-superficie media oceanica dalla quale successive elaborazioni permetteranno di ottenere dati topografici quali le correnti oceaniche, le linee costiere, le caratteri-

TAB. 1

Parametro	Campo di misura	Accuratezza
Vento		
- velocità	4-24 m/sec	± 2 m/sec o 10%
- direzione	0-360°	± 20°
Onde		
- altezza signific.	1-20 m	± 0,5 m o 10%
- direzione	0-360°	± 15°
- lunghezza	50-1000 m	20%
Immagini della superficie terrestre	80 km (swath minimo)	Ris. geometrica/ radiometrica (a) 30 m/2,5 dB (b) 100 m/1 dB
Distanza Satellite/Oceano	745-825 km	2 m (assoluta) ± 10 cm (relativa)
Temperatura della superficie marina	500 km (swath)	± 5° K
Vapore d'acqua	in zone di 25 km	10%

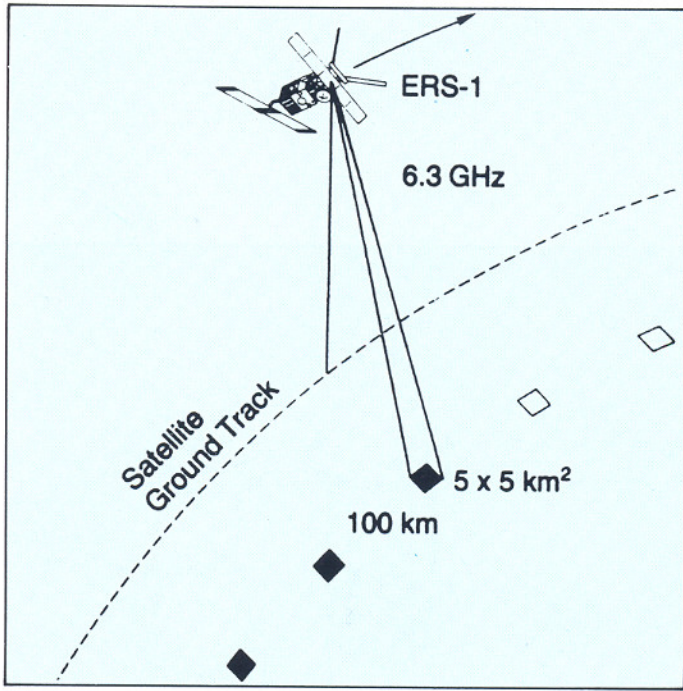


Fig.4 - Zona di osservazione dell'AMI (Modo Onde).

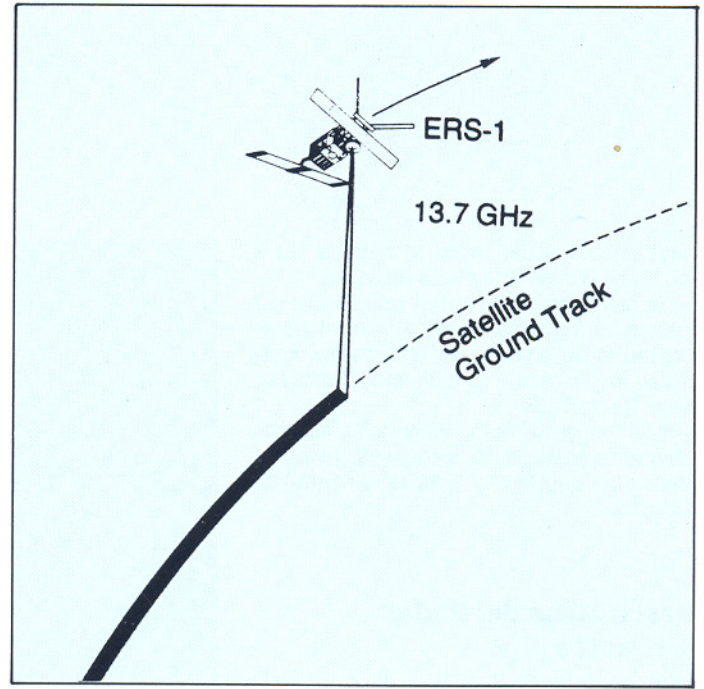


Fig.5 - Zona di osservazione del Radar Altimetro.

stiche dei fondali, i confini acqua-ghiaccio. Su tale strumento si tornerà nei prossimi paragrafi.

La strumentazione di ERS-1 include anche:

— il Retroriflettore Laser, per la misura accurata della distanza da particolari stazioni a terra; tale dato è usato per la calibrazione assoluta del Radar Altimetro;

— il Precision Range and Range Rate Experiment (PRARE) per la determinazione accurata dell'orbita del satellite; si tratta di uno strumento sperimentale, fornito dalla Repubblica Federale Tedesca;

— l'Along Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder (ATSR/M), uno strumento fornito dalla Gran Bretagna in grado di raccogliere informazioni sulla temperatura della superficie oceanica, su radianze ed emissività delle superficie terrestre e polare (ghiaccio), sul contenuto di vapor d'acqua atmosferico.

Una sintesi dei campi di misura e delle accuratezze dei principali parametri geofisici misurati attraverso la strumentazione di ERS-1 è mostrata in tab. 1.

I dati prodotti dagli strumenti vengono opportunamente raccolti e trasmessi a terra dall'Instrument Data Handling and Transmission (IDHT).

Da un punto di vista qualitativo tale fenomeno di riflessione è mostrato in fig. 6 per il caso di superficie piatta. Questa figura mostra come l'area illuminata, e quindi l'eco riflessa, è nulla fino all'istante in cui il primo fronte dell'impulso incide sulla superficie, successivamente diviene un cerchio la cui superficie, e quindi l'energia dell'eco riflessa, cresce fino all'istante di arrivo del secondo fronte dell'impulso. A partire da tale istante e fintanto che si resta nel footprint dell'antenna, la superficie riflettente è una corona circolare ad area praticamente costante, segue la decrescita dovuta alla graduale uscita dal footprint di antenna.

L'effetto della presenza di onde nel modello suddetto è evidente dall'osservazione della fig. 7, che mostra come la presenza di onde anticipa l'inizio e ritarda la fine del fronte di salita della eco di ritorno, che risulta quindi sempre meno ripido, cioè a pendenza minore, al crescere dell'altezza delle onde.

Naturalmente la precedente descrizione qualitativa è basata su una precisa teoria, ampiamente riportata in letteratura [3, 4 e 5] e nota come Modello di Brown. Questo modello si basa su alcune ipotesi generalmente valide per le superfici oceaniche e si concretizza nella seguente espressione analitica per l'andamento della potenza media dell'eco in funzione del tempo:

$$(1) \bar{P}_r(t) = K_0 \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[\frac{t - t_0}{\sqrt{2} \sigma_c} \right] \right\} \cdot \begin{cases} 1 & , t < t_0 \\ \exp \left[-\frac{4c}{\gamma H} (t - t_0) \right] & , t \geq t_0 \end{cases}$$

i cui elementi hanno il seguente significato:
 t_0 (sec) è il tempo di ritardo relativo alla superficie oceanica media;
 σ_c (sec) è un parametro che dipende sia dalla risoluzione radar che dal

valore quadratico medio dell'altezza delle onde;

K_0 è il fattore di normalizzazione dell'ampiezza dell'eco, dipendente dalla riflettività della superficie oceanica, che a sua volta dipende dalla velocità del vento;
 c (m/sec) è la velocità della luce;
 γ è un parametro dipendente dall'ampiezza del fascio di antenna;
 H (m) è la quota del satellite sulla superficie oceanica;
 erf indica la funzione di errore.

L'andamento della eq. (1) è riportato in fig. 8, dove è indicato il punto al quale è riferito l'istante t_0 e compare, a differenza della fig. 7, il decadimento esponenziale dovuto alla caratteristica dell'antenna.

Occorre ancora osservare che gli andamenti di fig. 8 rappresentano la media effettuata su un gran numero di eco; infatti se si considera la risposta ad un singolo impulso, per le caratteristiche statistiche del processo ogni singolo punto dell'eco corrisponderà ad una estrazione casuale da una distribuzione esponenziale negativa il cui valore medio è proprio rappresentato dall'ordinata di quel punto in fig. 8.

Alla luce del modello esposto si può dire che il Radar Altimetro è uno strumento nel quale una opportuna elaborazione delle eco riflesse

$$\begin{cases} 1 & , t < t_0 \\ \exp \left[-\frac{4c}{\gamma H} (t - t_0) \right] & , t \geq t_0 \end{cases}$$

dall'oceano ne permette la determinazione delle seguenti caratteristiche:

— il tempo di ritardo del punto a mezza potenza del fronte di salita dell'eco rispetto all'istante di trasmissione dell'impulso; da tale

caratteristica si determina la distanza tra il satellite e la superficie media oceanica;
 — la pendenza del fronte di salita, dalla cui valutazione è possibile risalire al valore quadratico medio dell'altezza delle onde o al parametro ad esso legato e denominato "Significant Wave Height" (SWH);
 — il fattore di normalizzazione dell'ampiezza, dal quale è possibile risalire alla riflettività del mare e da questa alla velocità del vento in superficie.

Descrizione del Radar Altimetro

Una caratteristica peculiare del Radar Altimetro è la notevole accuratezza richiesta nella misura dei parametri di interesse (riportata in tab. 1) che è nettamente superiore alle prestazioni di sistemi radar convenzionali. Ciò è vero, in particolare, per la classica misura della distanza relativa, per la quale è richiesta un'accuratezza di 10 cm; ciò comporta una risoluzione radar dell'ordine dei centimetri (frazioni di nanosecondo in termini temporali) da cui consegue una larghezza di banda di centinaia di megahertz, alla quale si oppongono sia la realizzabilità del filtro adattato del ricevitore, sia, anche se tale filtro fosse fattibile, la difficoltà nell'elaborazione del segnale.

Per risolvere tali problemi si è adottata la tecnica "full deramp", utilizzata con successo nel Radar Altimetro di Seasat 1, come descritto in [6]. Tale tecnica è mostrata schematicamente in fig. 9; essa richiede la trasmissione di un impulso la cui durata T involupa una modulazione lineare in frequenza (segnale chirp). L'eco ricevuta, che, avendo assunto trascurabile l'effetto Doppler, esibisce il medesimo andamento della modulazione, viene mescolata con un segnale di riferimento, replica del segnale trasmesso opportunamente ritardata per allinearla il più possibile al segnale ricevuto. Per la linearità della caratteristica frequenza/tempo il mixer realizza una trasformazione tempo-frequenza; infatti, come si vede in fig. 9, se agli ingressi del mixer entrano due segnali ritardati di Δt tra loro, l'uscita sarà un tono di frequenza Δf dato da:

$$\Delta f = \frac{B \Delta t}{T} \quad (2)$$

essendo $\frac{B}{T}$ la pendenza della modulazione, data dal rapporto tra la banda B del segnale chirp e la sua durata T .

A causa della trasformazione tempo-frequenza da esso operata, all'uscita del mixer si avrà un segnale il cui andamento della potenza media in funzione della frequenza (e non più del tempo) è lo stesso di quello riportato in fig. 8.

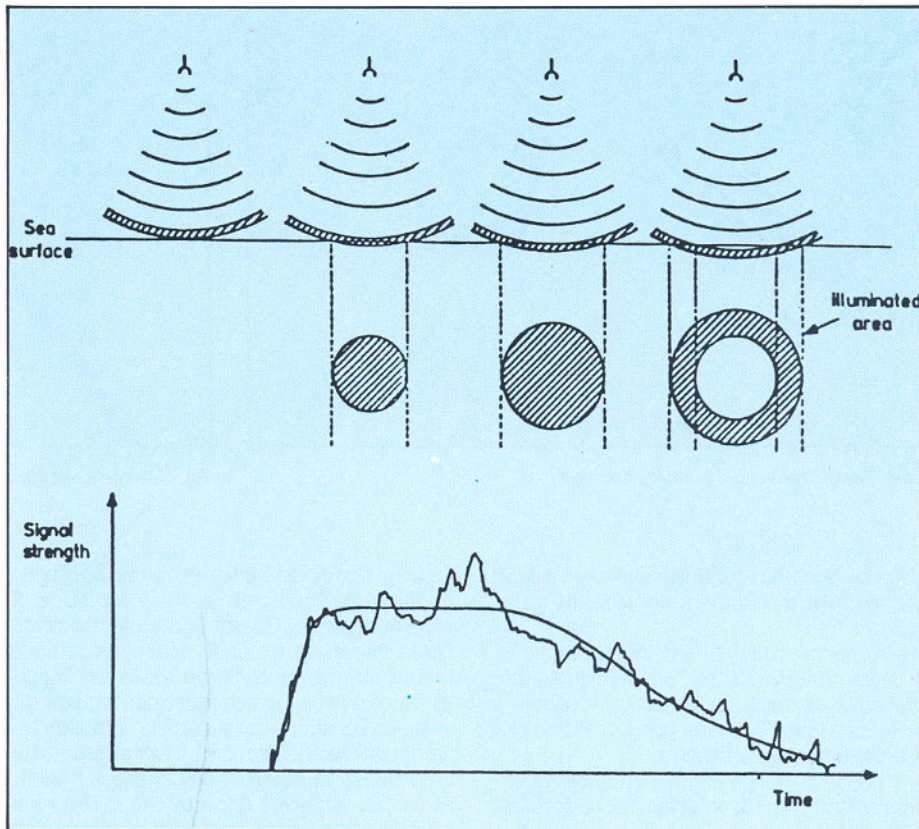


Fig. 6 - Principio di costruzione dell'eco di ritorno.

andamento del quale si vogliono ancora stimare le caratteristiche di interesse.

La stima dei parametri viene effettuata sulla base di un numero opportuno di campioni della forma d'onda che, avendo la frequenza come asse delle ascisse, possono essere estratti con un banco di filtri.

Se si torna a questo punto alla realizzazione della tecnica "full deramp", occorre notare che essa si basa sul posizionamento adeguato del "chirp" di oscillatore locale; questo posizionamento esegue quindi un inseguimento della eco di ritorno essendo basato su una stima della posizione della eco di ritorno stessa.

A tale scopo non è ovviamente necessaria una stima di posizione accurata quanto quella necessaria al calcolo della distanza relativa satellite-superficie oceanica; pertanto si è ritenuto opportuno suddividere il processo di stima in due fasi. Nella prima fase, di stima grossolana, viene valutato l'istante in cui abilitare la generazione del chirp di oscillatore locale, l'accuratezza relativa è dell'ordine delle decine di nanosecondi; nella seconda fase, di inseguimento fine, lo scostamento temporale tra il segnale ricevuto e quello di riferimento viene valutato con la richiesta accuratezza tramite la sintonizzazione fine del banco di filtri. Ne risulta un diagramma a blocchi funzionale del Radar Alti-

metro come quello di fig. 10, nel quale i blocchi funzionali hanno i seguenti ruoli:

- chirp waveform generator: genera sia il segnale chirp da usare in trasmissione (cadenza data dalla frequenza di ripetizione degli impulsi, PRF), che quello di oscillatore locale (a seguito di abilitazione basata sulla stima grossolana di distanza);
- timing unit: genera sia il trigger di trasmissione, che quello di oscillatore locale in accordo a quanto sopra;
- high power amplifier: amplifica il livello del segnale da trasmettere al valore necessario, risultante dal calcolo del collegamento;
- deramping mixer, M: effettua la trasformazione tempo-frequenza;
- IF amplifier: amplifica il segnale dopo l'operazione di deramping. La sua banda dipende dalla altezza massima attesa per le onde;
- coherent detector: trasforma il segnale a media frequenza in un segnale video complesso, il cui spettro di potenza è come mostrato dalla fig. 8;
- digital filter bank & modulus extractor: è il banco di filtri che dopo la conversione A/D estrae i campioni della forma d'onda;
- automatic gain control (AGC): normalizza lo spettro di potenza per renderlo adatto alla elaborazione successiva. Il valore di normaliz-

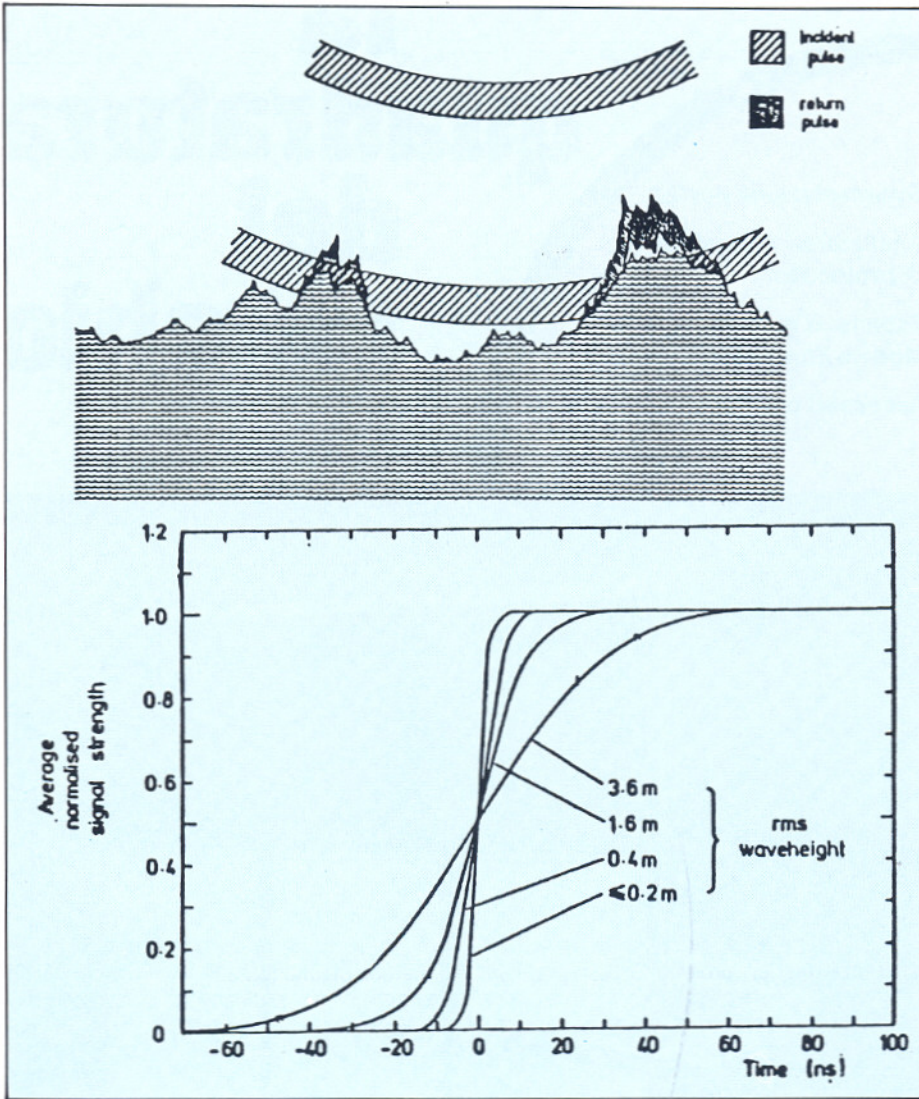


Fig.7 - Effetto dell'altezza delle onde sulla pendenza del fronte di salita dell'eco di ritorno.

zazione è usato per estrarre l'informazione sulla riflettività;

- time and slope discriminator: genera i segnali di errore, di posizione e pendenza usati per chiudere i "loops" di inseguimento;
- time and slope tracking systems: chiudono i

"loops" di inseguimento e forniscono le informazioni di posizione e pendenza.

Il dimensionamento di sistema ha determinato i seguenti valori per i principali parametri dello strumento:

- frequenza di operazione: 13,8 GHz;

- lunghezza dell'impulso: 20 μ sec;
- banda del segnale: 330 MHz;
- potenza di picco in trasmissione: 50 W;
- frequenza di ripetizione degli impulsi (PRF): 1 KHz;
- diametro dell'antenna paraboloidale: 1,2 m;
- massa dello strumento: ~ 100 kg;
- consumo di potenza: 150 W;
- flusso dei dati trasmessi: ~ 15 Kbit/sec.

Un discorso a parte merita la tecnica di stima dei parametri: essa è stata denominata Suboptimal Maximum Likelihood Estimator (SMLE) e può essere sinteticamente descritta nel modo seguente.

La stima dei parametri dell'eco di ritorno viene effettuata sulla base di un numero di campioni opportunamente scelto in funzione delle accuratezze richieste. Il numero totale dei campioni indipendenti considerati è dato dal prodotto del numero di campioni NF, considerato in una singola eco, nel caso in esame $NF=64$, per il numero, N, di eco successive considerate nel processo di stima, nel nostro caso $N=1000$ in quanto viene considerata una media estesa su un secondo di operazione e la PRF è pari a 1000 Hz.

I 64.000 campioni risultanti costituiscono un risultato sperimentale (derivante cioè da una misurazione) sulla base del quale si vogliono stimare i parametri. Un criterio di stima ottima è quello della Massima Verosimiglianza (Maximum Likelihood Estimator = MLE) per il quale ai parametri cercati vengono assegnati quei valori che rendono massima la probabilità di ottenere proprio il risultato sperimentale in esame.

Senza entrare nel merito della derivazione matematica delle equazioni rappresentanti il suddetto processo di stima, si vuol solo far notare che la sua realizzazione pratica richiederebbe il calcolo, istante per istante, di un fattore peso per ciascun campione considerato, e ciò implicherebbe una quantità di calcoli per unità di

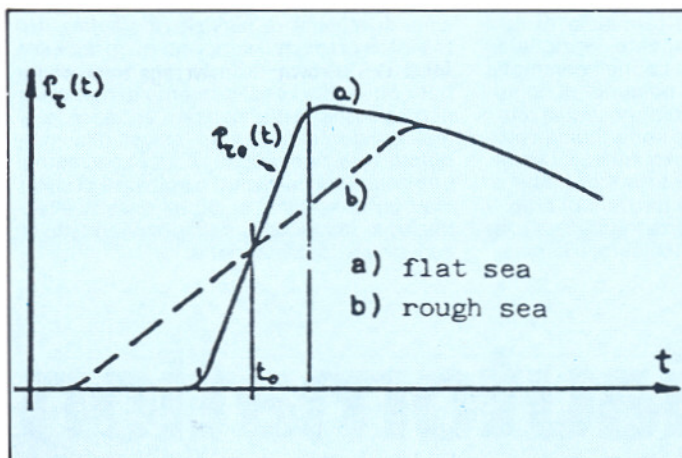


Fig.8 - Andamento temporale della potenza media dell'eco.

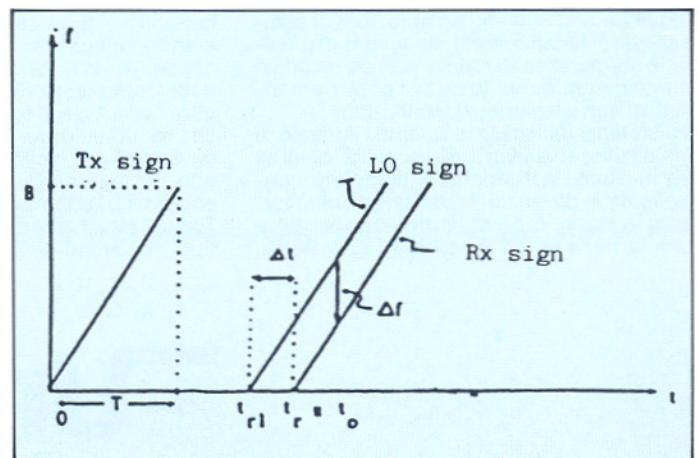


Fig.9 - Il principio del "full deramping".

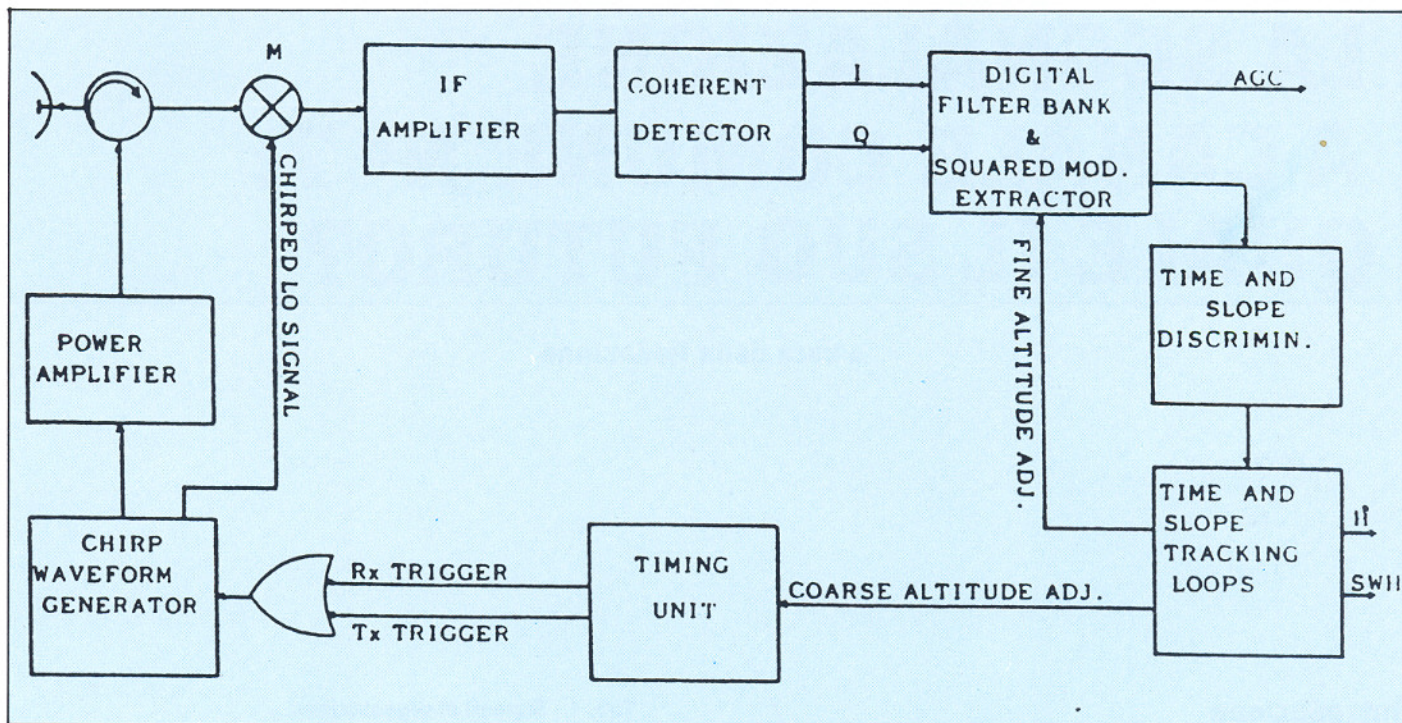


Fig. 10 - Schema a blocchi funzionale del radar altimetro.

tempo tale da non consentire la realizzazione dell'elaboratore a bordo del satellite.

Alla medesima conclusione si era giunti anche ai tempi del progetto del Radar Altimetro di Seasat, per il quale era stata proposta una tecnica di stima semplificata nota come Split Gate Tracker. Nel caso di ERS-1, allo scopo di migliorare le prestazioni dello Split Gate Tracker, si è sviluppata la tecnica SMLE che è basata sulla identificazione di quei campioni,

fra quelli disponibili dalla forma d'onda, che maggiormente contribuiscono alla stima di ciascuno dei tre parametri di interesse (ampiezza, posizione, pendenza). Una volta individuati, tali campioni, e solo essi, vengono utilizzati senza ulteriori processi di pesatura, con conseguente drastica riduzione della potenza elaborativa necessaria. Con riferimento al parametro più critico ai fini della stima, la distanza relativa, in fig. 11 viene mostrato, in funzione

dell'altezza delle onde, l'errore intrinseco della tecnica SMLE in confronto a quelli relativi alle tecniche MLE e Split Gate Tracker di Seasat, mostrando come il metodo proposto dia risultati abbastanza prossimi a quelli ottenibili con il metodo ottimo (SMLE).

Le caratteristiche dinamiche e di precisione dello strumento sono state oggetto di una estesa attività di simulazione, per la quale si rimanda il lettore interessato al riferimento [7].

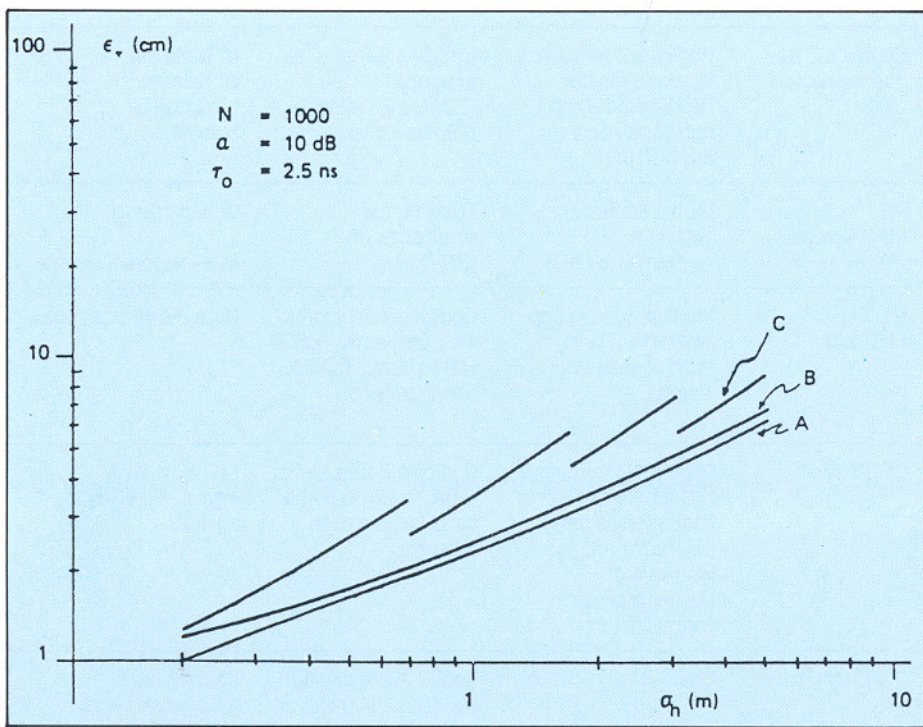


Fig. 11 - Confronto tra le accuratèzze intrinseche del MLE (A), SMLE (B) e Split Gate Tracker (C).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Earth, Wind and Fire - Satellite Technology, Sept. 1985, pp. 18-24.
- [2] Proceedings of 'Oceanography from Space', ed. Gower, Plenum Press, 1981.
- [3] D.L. Hammond, R.A. Mennella, E.J. Walsh: Short Pulse Radar Used to Measure Sea Surface Wind Speed and SWH - IEEE Trans. on AP, vol. AP-25, n. 1, Jan. 1977, pp. 61-66.
- [4] G.S. Brown: The Average Impulse Response of a Rough Surface and its Applications - IEEE Trans. on AP, vol. AP-25, n. 1, Jan 1977, pp. 67-74.
- [5] G.S. Hayne: Radar Altimeter Mean Return Waveforms from Near-Normal-Incidence Ocean Surface Scattering-IEEE Trans. on AP, vol. AP-28, n. 5, Sept. 1980, pp. 687-692.
- [6] J.L. Mac Arthur: Design of the Seasat-A Radar Altimeter-Oceans '76, pp. 10B-1 ÷ 10B-8.
- [7] G. Losquadro, R. Somma: Simulation of the information extraction from the Radar Altimeter return echoes - Proceedings of ESA Work shop 'ERS-1 Radar Altimeter Data Products', Frascati, Italy, 8-11/5/1984.