

## Sull'onda di Marconi Frequenze, reti, collegamenti

Gabriele Falciasecca

Mostrandosi a volte audace sperimentatore e imprenditore, a volte uomo di comunicazione e di mediazione diplomatica, Guglielmo Marconi ha sempre messo in luce la sua grande capacità di vedere lontano. Era ben attaccato al presente, come può esserlo solo un uomo estremamente dotato di abilità pratica e meticoloso nella messa a punto degli strumenti, ma nello stesso tempo era in grado di vedere oltre l'orizzonte che schermo la vista dei più, con quella larghezza di visione che caratterizza gli uomini veramente grandi e con una capacità, intatta fino alla fine, di sognare sogni realizzabili, come quello concepito, da adolescente, sui monti Oropa, da cui nacque il disegno, allora visionario, di collegare attraverso la radio i continenti. Questa "lungimiranza" non è solo un vago attributo del grande personaggio, ma ha trovato - nei decenni seguiti alla sua morte e fino ai nostri giorni - una serie di conferme puntuali, che qui richiamiamo per sottolineare, nell'anno del centenario del Nobel a Marconi, l'indiscutibile modernità della sua opera.

1. L'attività di Marconi ha dato origine a una delle tendenze tuttora valide nel

campo delle telecomunicazioni, quella che conduce all'utilizzo di frequenze sempre più alte. Quanto sia importante questo aspetto per le moderne telecomunicazioni è stato ben descritto da Carassa in *Il sogno dei GigaHertz* (1). Marconi tuttavia si trovò di fronte a questa opportunità, che peraltro fu all'inizio anche un severo problema, in un modo assai inatteso.

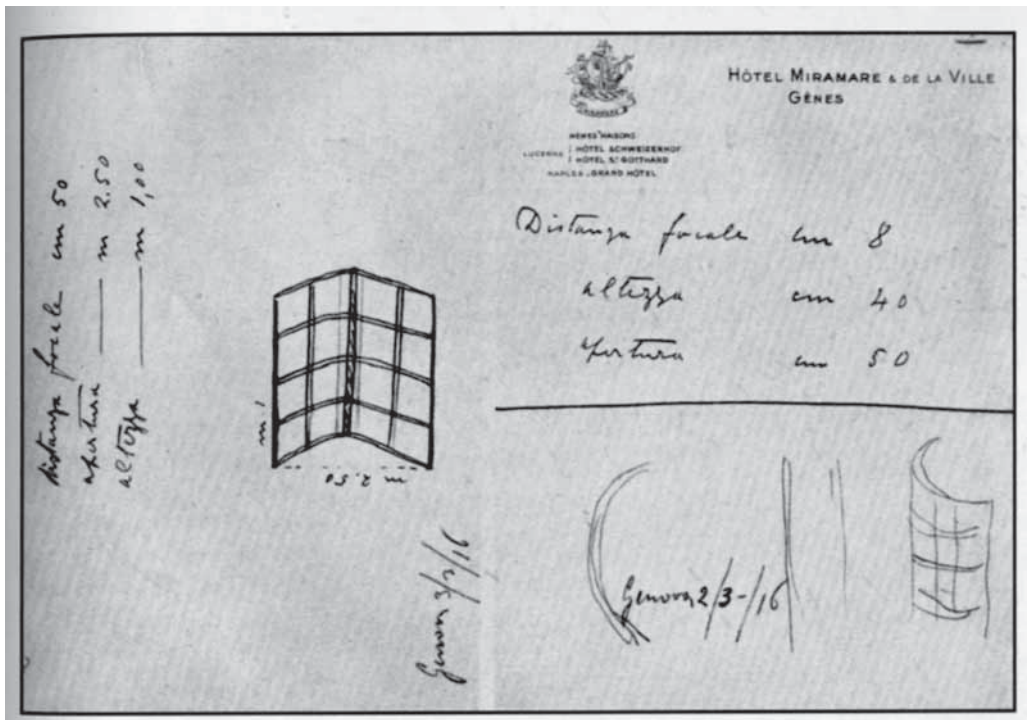
*Non bisogna inoltre perder di vista che le altissime velocità di lavoro sembrano poter essere raggiunte soltanto coll'uso di onde corte, mentre con le basse frequenze, corrispondenti alle onde lunghe, le velocità dello stesso ordine sono assolutamente irraggiungibili. Io posso, in altri termini, asserire che per quanto riguarda le onde non vi è alcuna ragione teorica perché con una frequenza di 3.000.000 Hz, corrispondente a un'onda di 100 metri, la velocità possibile non dovrebbe essere 200 volte maggiore di quella raggiungibile con una frequenza di 15.000 Hz, dello stesso ordine della frequenza del trasmettitore principale della stazione a onde lunghe di Rugby. Le stazioni di grande potenza ad onde lunghe di questo Paese, che attualmen-*

te esplicano un servizio radiotelegrafico commerciale da e per gli Stati Uniti, sono atte, io ritengo, a trasmettere e ricevere contemporaneamente in ognuna delle direzioni, in condizioni normali, con una velocità media di 20 parole per minuto, per una media giornaliera di 18 ore. Ma le stazioni a fascio nelle prove ufficiali, si sono già mostrate capaci di trasmettere e ricevere contemporaneamente con una velocità media di almeno 100 parole al minuto per 18 ore al giorno, velocità cioè almeno cinque volte maggiore di quella corrispondente al traffico che potrebbe esser effettuato durante lo stesso tempo dalle stazioni a onde lunghe, sebbene queste ultime utilizzino una potenza al-

meno dieci volte maggiore di quella utilizzata dalle stazioni ad onde corte (2).

Marconi chiarisce in questo brano ciò che tutti oggi sappiamo: se la frequenza di lavoro media di una radiocomunicazione aumenta, aumenta corrispondentemente la capacità di trasmettere segnali di banda più larga, cioè di maggior contenuto informativo. La conquista delle frequenze più elevate è però un'avventura come la conquista del West. Bisogna infatti riuscire a realizzare dispositivi atti a generare e rivelare i segnali alle nuove più elevate frequenze e ciò è sempre stato nel tempo assai complicato. Nuove idee e nuovi mate-

**Fig. 1. Fin dal 1916 Marconi comprese l'importanza dell'impiego delle onde corte con frequenze sempre più alte e la possibilità di costruire antenne direttive o "a fascio". Nella figura: lo schizzo di una nuova antenna parabolica ad onde corte disegnato da Marconi nel marzo 1916 mentre alloggiava presso l'Hotel Miramare di Genova (Fondazione G. Marconi)**



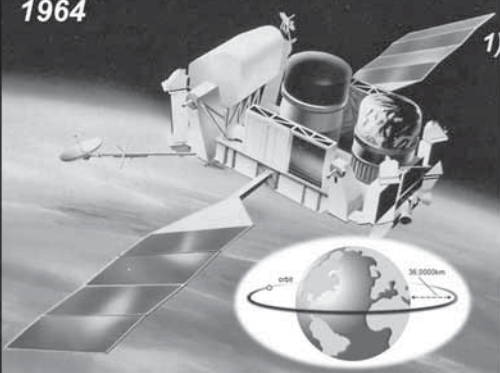
riali sono spesso necessari e dunque la conquista delle frontiera dei gigaherz (miliardi di herz) richiede ingegno, investimenti e coraggio. Marconi comunque comprese fin dall'inizio anche l'altro aspetto importante: all'aumentare della frequenza cresce la possibilità di costruire antenne direttive, o "a fascio", in grado cioè di concentrare la potenza irradiata solo nella direzione dove sta il corrispondente, evitando di disperderla dove nessuno potrebbe usarla: da qui un considerevole risparmio di potenza (Fig.1).

La possibilità odierna di ricevere diret-

tamente i segnali di satelliti fermi sopra di noi a 36.000 km d'altezza è la prova della validità di quella intuizione (Fig.2). C'è però qualcosa di più sottile nel caso specifico, perché Marconi si riferisce a un particolare momento in cui, prima attraverso esperienze non ufficiali dei radioamatori, poi attraverso le sue dirette sperimentazioni, cominciò a comprendere una cosa singolare riguardo alle comunicazioni tramite la ionosfera. Va ricordato che Marconi riuscì ad attraversare l'Atlantico con il segnale emesso da Poldhu in Cornovaglia, nonostante l'ostacolo di una montagna

**Fig. 2. Un importante sviluppo dell'intuizione di Marconi sull'uso di onde corte è l'attuale possibilità di scambiare radiocomunicazioni a grandissime distanze attraverso i satelliti geostazionari. Nel celebre radiomessaggio che Marconi pronunciò l'11 marzo 1937, "profetizzò" quel futuro delle radiocomunicazioni che oggi ha assunto per noi enorme importanza: la telefonia cellulare e il mondo di Internet (elaborazione grafica di Paolo Michelin)**


**1964**



**1) Nel 1964 la NASA immette in orbita il primo SATELLITE GEOSTAZIONARIO per le COMUNICAZIONI (a un'altezza sull'equatore di circa 36.000 km)**


**2) nel 1969 nasce negli USA la rete telematica ARPANET con scopi militari, che nel 1983 diventerà INTERNET**

**L'EREDITA' lasciata da GUGLIELMO MARCONI**



**1983 Internet**

**1979**



**3) Nel 1979 nasce in USA e in Giappone il primo servizio pubblico di TELEFONIA CELLULARE**

d'acqua di circa 170 km frapposto tra le due stazioni, grazie al fatto che le onde elettromagnetiche indirizzate verso l'alto venivano riflesse da uno strato alto dell'atmosfera terrestre, la ionosfera, che, per le frequenze in gioco agiva come uno specchio. Questa riflessione speculare è fortemente dipendente dalla frequenza e, in particolare, non avviene alle frequenze in uso per gli attuali collegamenti via satellite (a miliardi di Hz) che altrimenti non potrebbero realizzarsi.

Le prime esperienze condotte misero in evidenza che all'aumentare della frequenza la riflessione era sempre meno efficace e dunque i collegamenti vennero progettati a frequenze assai basse. Tuttavia venne riscontrata nel tempo una inattesa capacità di comunicazione a frequenze assai più elevate. Di fatto Marconi riuscì a comprendere che il peggioramento della riflessione all'aumentare della frequenza aveva un massimo dopo il quale le cose ricominciavano a migliorare. Scoprire l'esistenza della parte discendente di una curva è un po' come saper guardare dietro un angolo: serve una grande intuizione ed una straordinaria abilità nell'interpretare i dati sperimentali. In altre parole serviva Marconi.

Non meno rivoluzionario fu ciò che dovette essere realizzato a livello industriale per progettare e costruire le nuove apparecchiature che avevano certamente molti vantaggi, ma che costrinsero a una così radicale innovazione di prodotto che solo una compagnia dalle grandi competenze e guidata da Marconi poté permettersi. Ma fu con le onde corte e i sistemi a fascio che Marconi realizzò la

rete di comunicazione mondiale dell'Impero Britannico.

Si avviò così la corsa verso le frequenze più alte e le conseguenti maggiori bande disponibili, che portò negli anni successivi alla trasmissione di segnali vocali oltre che telegrafici e infine, con l'avvento dei primi satelliti artificiali, a quella dei segnali televisivi.

Ben presto, con la comparsa della radiodiffusione, si evidenziò un'ulteriore tendenza, o meglio un contrasto tra tendenze, messo in evidenza dal celebre messaggio che Marconi dettò nel 1937 non molto prima di interrompere prematuramente la sua attività.

*Noi abbiamo raggiunto nella scienza ed arte delle radiocomunicazioni uno stadio in cui le espressioni dei nostri pensieri possono essere istantaneamente trasmessi e ricevuti dai nostri simili, praticamente in ogni parte del globo [...].*

*La radiodiffusione tuttavia, con tutta la sua importanza che ha raggiunto ed i campi inesplorati che restano ancora aperti, non è - secondo me - la parte più significativa delle moderne comunicazioni in quanto è solo una comunicazione "a senso unico".*

*Un'importanza assai maggiore è legata, a mio parere, alla possibilità fornita dalla radio di scambiare comunicazioni ovunque i corrispondenti possano essere situati, sia nel mezzo dell'oceano, sia sul pack ghiacciato del polo, nelle piane del deserto oppure sopra le nuvole in aeroplano! [...]*

*La peculiarità dell'uomo, la caratteristica che segna la sua differenza e la sua superiorità sugli altri esseri viventi, a parte la divinità della sua origine e del*

*suo fine ultimo, consiste, penso, nella capacità di scambiare con i suoi simili pensieri, sensazioni, desideri, ideali, preoccupazioni ed anche lamentele! Ogni cosa progettata per facilitare e sviluppare questa capacità veramente superiore deve essere - oso affermare - salutata come il mezzo per il progresso dell'umanità e la via per potenziare la tipica peculiarità dell'uomo (3).*

Si evidenzia già in questo messaggio la possibilità di usare la radio in due modi distinti: uno caratterizzato dalla centralità della produzione dell'informazione e dalla sua successiva diffusione uniforme in un territorio il più vasto possibile; l'altro originato dal fatto che ogni individuo è fonte di informazione e che nello scambio di queste informazioni sta una grande ricchezza umana e culturale.

Con un po' di schematicità potremmo definire la prima modalità come quella della radiodiffusione e la seconda come quella offerta dalla telefonia cellulare. Come conseguenze sul nostro modo di vivere avremmo, nel primo caso, il mondo trasportato a casa nostra, ma col rischio di essere poco partecipi, fruitori solo passivi dell'informazione che ci viene riversata addosso come fosse un nuovo diluvio universale, questa volta di informazione. Ma abbiamo una seconda possibilità: che le telecomunicazioni rendano ogni punto del mondo equivalente alla nostra casa, sicché possiamo essere liberi di muoverci senza che ciò comprometta in nulla la nostra capacità di relazione, di scambio di informazione con ogni altro nostro simile, con l'ambiente di lavoro, con le occasioni di svago. Così si può porre rimedio alla indi-

gestione di informazione e porre le basi per la trasformazione dell'informazione in reale conoscenza.

Il mondo di Internet è nato come mondo di scambio, di ricerca delle informazioni raccolte da altri come noi, o da organizzazioni simili alla nostra, e vede oggi sempre più l'accentuarsi della sua possibilità di veicolare informazioni appositamente prodotte per un uso massivo e commerciale (Fig.2).

Paradossalmente questa è una tendenza comparsa anche nelle nuove generazioni di cellulari. Naturalmente le due tendenze convivono e non c'è in realtà una opzione giusta ed una sbagliata: come sempre c'è la possibilità di raggiungere un giusto equilibrio.

2. Quando Marconi realizzò nel 1901 la prima trasmissione radiotelegrafica tra Inghilterra e Canada, venne immediatamente diffidato dalla Compagnia dei cavi Anglo-Americana che aveva l'esclusiva per la telegrafia tra le due nazioni. Inizia così una serrata competizione tra cavo e radio che, al di là dell'aspetto legale, è stata una meravigliosa corsa tecnica che ha visto prevalere ora l'uno ora l'altro mezzo trasmissivo. Se con il cavo si realizzarono i primi collegamenti telegrafici transatlantici, fu poi tramite le onde elettromagnetiche che si ottennero le prime trasmissioni vocali; se il sistema telefonico fu la prima opportunità di comunicazione capillare e di massa, la radiodiffusione, seppure in modo unidirezionale, divenne un fenomeno mediatico di portata planetaria; nei collegamenti tra punti fissi ora il cavo coassiale, ora i ponti radio, si sono mostrati alternativamente più efficaci nelle varie



applicazioni. Infine dopo che, attraverso la radio e i satelliti artificiali, finalmente i segnali televisivi a larga banda poterono essere trasportati in diretta da un continente all'altro, oggi i moderni cavi a fibra ottica offrono bande utilizzabili così grandi come la radio non potrà mai sognarsi di fare.

La competizione fu definita allora "la battaglia di Marconi contro Bell".

Oggi una parte di questa competizione permane, ma i due mezzi trasmissivi hanno trovato ciascuno il suo campo applicativo di eccellenza e tendono a complementarsi più che a competere. Quando si tratta di collegare punti fissi le prestazioni delle fibre sono vincenti; se si tratta di raggiungere un corrispondente dovunque esso si trovi, magari in mobilità, è la radio la tecnologia adatta. L'espressione più evidente di questo connubio è la moderna rete cellulare, dove la radio è usata esclusivamente per l'ultimo breve tratto (oggi spesso di poche centinaia di metri) per raggiungere l'utente col telefonino, mentre una potentissima rete terrestre per lo più in fibra si occupa del trasporto per le più grandi distanze, oltre che di gestire gli indirizzamenti.

Paradossalmente si può dire che si è veramente capovolto il mondo: oggi il telefono arriva via radio e la televisione via cavo, grazie alle nuove tecniche di collegamento sviluppate sul vecchio doppino di rame o all'arrivo della fibra ottica. Naturalmente non è completamente così, ma rimane vero che alla competizione si è di fatto sostituita una cooperazione che ha realizzato nel mondo delle tecnologie dell'informazione una prima grande integrazione.

Una seconda grande integrazione è preconizzata dal seguente brano di Marconi.

*Nei primissimi giorni della "radio", quando le onde elettriche cominciarono ad essere usate per scopi pratici, parlavamo soltanto di "telegrafia senza fili", ma col progresso della tecnica, le onde elettriche sono state sempre più largamente usate non soltanto per la radiotelegrafia ma anche per la radiotelefonica e la radiodiffusione, per la radiogoniometria sul mare e nell'aria [...] e, più recentemente, per la trasmissione di immagini e facsimili e per la televisione (4).*

Qui Marconi chiarisce che la tecnica di trasmissione via radio può applicarsi a diversi contenuti o segnali: dati, fonica, immagini ferme, immagini in movimento. Dunque la sua invenzione aveva una potenzialità sufficientemente ampia da poter dare luogo a molteplici interessanti servizi, che si sono poi sviluppati - anche se, all'inizio, in modo indipendente. Sia infatti che si usasse il cavo, sia che si usasse l'onda elettromagnetica come vettore dell'informazione, a lungo i diversi contenuti sono stati trattati in modo assai differente: per televisione, radio, telefono, telex furono costruite reti autonome, essenzialmente per necessità tecniche.

Marconi non poteva d'altronde profetizzare che, attraverso un ritorno al passato, e cioè all'alternativa che fu tra punto e linea e oggi è tra lo 0 e l'1, tutti questi segnali si sarebbero convertiti in bit e che, ciò fatto, si sarebbero potuti veicolare su un'unica rete, come oggi accade in Internet, nelle telefonia cellulare, e

nella televisione digitale. Non poteva perché il transistor e poi il microchip, che ne costituiscono la tecnologia abilitante, erano ancora ben lontani dall'essere concepiti (Fig.3).

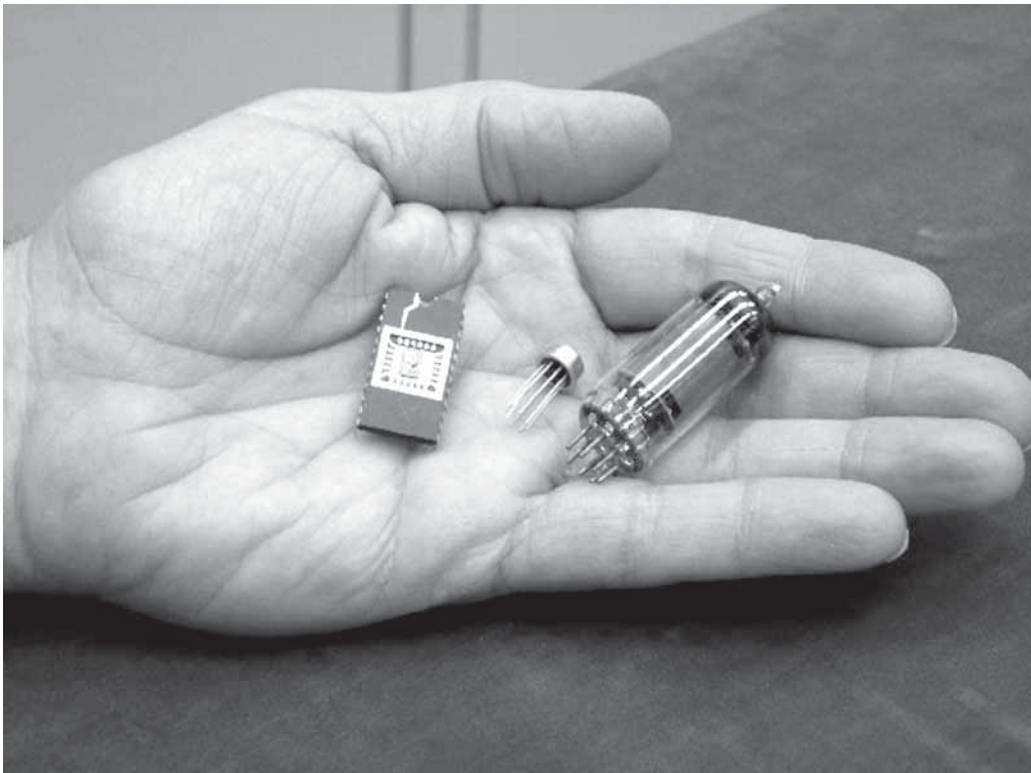
Tuttavia furono le esigenze delle radiocomunicazioni a spingere verso l'invenzione di nuovi e più efficienti dispositivi - chi non ricorda come "transistor" venne a lungo usato come sinonimo di radiolina portatile? - e da questi, attraverso i processi d'integrazione spinta, dovuta ai progressi della microelettronica, si è sviluppata dapprima l'informatica e poi tutto il trattamento digitale dei segnali.

È questa la seconda grande integrazione che abbiamo recentemente vissuto e che ci offre queste nuove possibilità di comunicare: lo stesso PC si è trasformato da strumento di calcolo in terminale di comunicazione, audio e video, tramite il quale possiamo recuperare dati ovunque nel mondo, sia via cavo che attraverso le tecnologie radio.

Vi è infine una terza, più sottile integrazione. Al proposito si consideri ancora una volta Marconi nel seguente brano.

*La possibilità di attivare macchine e apparecchi attraverso lo spazio senza ser-*

**Fig. 3. Furono le esigenze delle radiocomunicazioni nel Novecento a spingere verso l'invenzione di nuovi e sempre più efficienti dispositivi elettronici: dalle valvole termoioniche (1904 il diodo, 1907 il triodo), ai transistor (1947), infine ai microchip (1971) (tratto da M. Temporelli, *Radio days*, Milano, 2004)**



*virsi di qualsiasi tangibile od artificiale conduttore e di obbligare questi apparecchi a fare certi movimenti dipendenti dalla volontà della persona che manipola gli apparecchi trasmettitori posti a centinaia o migliaia di miglia di distanza dai primi, si presenta certo alla mente come un risultato meraviglioso e forse misterioso.*

*Tuttavia, studiando da vicino i mezzi impiegati dalla natura nella trasmissione delle più grandi sue forze, si trova che, per quanto meravigliosa possa sembrare la trasmissione telegrafica senza fili, pure questa effettuasi in modo più conforme ai metodi naturali di quello che non succeda nell'ordinaria trasmissione telegrafica mediante i fili.*

*Ed invero la telegrafia senza fili non è che una semplice conseguenza dell'osservazione e dello studio dei mezzi impiegati dalla natura per ottenere i suoi effetti di calore, di luce, di magnetismo attraverso lo spazio (5).*

E ancora:

*Prima di concludere vorrei accennare a un'altra possibile applicazione di queste onde che, se avesse successo, potrebbe essere di grande aiuto per i naviganti.*

*Come venne mostrato per la prima volta da Hertz, le onde elettriche possono essere completamente riflesse da corpi conduttori. In qualcuna delle mie prove avevo notato gli effetti della riflessione e della deflessione di queste onde da parte di oggetti metallici posti a miglia di distanza.*

*Mi sembra che sarebbe possibile progettare apparati per mezzo dei quali una nave potrebbe irraggiare o proiettare un fascio divergente di questi raggi in ogni*

*direzione desiderata. Questi raggi, qualora incontrassero un oggetto metallico, per esempio un altro piroscifo o un'altra nave, potrebbero essere riflessi indietro a un ricevitore, schermato dal trasmettitore locale, posto sulla stessa nave dove è installato il trasmettitore e rivelare allora immediatamente la presenza e il rilevamento dell'altra nave, e questo anche in caso di nebbia o scarsa visibilità. Un altro grande vantaggio di tale apparato sarebbe il seguente. Esso sarebbe in grado di dare un avvertimento della presenza e del rilevamento di navi, anche nel caso in cui queste navi fossero sprovviste di ogni tipo di radio (6).*

Sappiamo che Marconi non poté vedere gli straordinari sviluppi della tecnologia che hanno permesso all'uomo di conquistare lo spazio profondo con macchine automatiche guidate a distanza e all'occorrenza riprogrammate durante il loro cammino, come è accaduto nel corso delle missioni spaziali negli ultimi anni. Ma appare chiaro che egli concepiva già un futuro in cui alle macchine sarebbero state delegate operazioni delicate, sull'informazione, in vece nostra. Sappiamo invece con certezza che Marconi fu grande protagonista nella vicenda che condusse all'invenzione del radar, che ne delineò con grande chiarezza gli aspetti teorici nella celebre conferenza di New York nel 1922, e che solo la sua fine prematura interruppe la sua attività di sviluppo di una tecnologia adeguata per materializzarlo. Possiamo quindi inserirlo a buon diritto tra i precursori delle macchine che eseguono operazioni sull'informazione in vece dell'uomo, anche considerando i paral-



leli esperimenti sulla navigazione cieca e la radiogoniometria che egli condusse a bordo del suo yacht Elettra (Fig.4).

3. Queste macchine del mondo dell'informazione a volte amplificano semplicemente le nostre capacità, ma a volte ci sostituiscono senza appello: la questione è dunque assai intrigante.

Ma quali operazioni complessivamente gli esseri umani compiono sull'informazione che poi potrebbero essere delegate alle macchine? Due sono state appena illustrate: l'acquisizione e la comunicazione. Una terza è l'elaborazione. Non ce ne sono altre. Si potrebbe pensare di introdurre la memorizzazione, ma questa, pur essendo essenziale, ci offre solo la possibilità di immagazzinare informazione per ogni uso futuro e deve mantenerla il più possibile inalterata. Peraltro, se non avessero memoria gli uomini o le macchine, le altre tre operazioni sarebbero fortemente limitate e soprattutto sarebbero ardue le relazioni tra le stesse.

Fin dall'inizio l'uomo ha usato macchine per potenziare le sue capacità di compiere queste operazioni, accettando di perdere in tutto o in parte il controllo delle medesime. Ad esempio se si ottiene attraverso il radar l'informazione dell'esistenza di un aereo, l'affidabilità del dato è tutta nell'abilità di progettazione, perché l'utilizzo dell'informazione, sia per decidere azioni militari, sia per fini di controllo del traffico aereo, avverrà ben prima che ci sia la possibilità di controllarne direttamente la correttezza. Qui sta l'enorme differenza con, ad esempio, un cannocchiale, che amplifica il nostro potere visivo ma ci lascia

del tutto padroni di interpretare la realtà circostante.

Di fatto anche un'elaborazione elettronica costituita da semplici calcoli, ma ripetuti in modo massiccio e fortemente ripetitivo, è difficilmente controllabile; questa difficoltà aumenta considerevolmente quando una macchina combina assieme indissolubilmente due o più operazioni elementari. In ciò sta però la grande forza di noi esseri umani e dunque questo è il campo più interessante da esplorare con le macchine. Si pensi ad esempio a come il nostro cervello, elaborando assieme le immagini bidimensionali dei nostri due sensori visivi, gli occhi, sia in grado di determinare l'informazione di profondità che non era presente né nell'uno né nell'altro segnale inviatogli.

Per noi è naturale elaborare informazioni che incameriamo direttamente dall'ambiente, confrontarle con altre che abbiamo in memoria e con ciò che un interlocutore sta dicendo per poi prendere una decisione, che è il prodotto più alto dell'elaborazione. Se la decisione viene attuata ecco che il processo sull'informazione, che parte dal mondo reale, in esso ritorna cambiandolo a seguito del nostro cosciente intervento. Esempi di macchine che combinano elaborazione ad acquisizione li abbiamo in molte applicazioni, altrimenti dette intelligenti, come determinare la presenza di un elemento ostile o di pericolo in una scena, tradurre automaticamente da una lingua a un'altra, tracciare opportune rotte per gli aerei commerciali, calcolare ed attuare la più corretta frenata sulla base della scivolosità dell'asfalto sulle quattro ruote etc. È un mondo nuovo che abbiamo



**Fig. 4. Marconi fu protagonista nella vicenda che condusse all'invenzione del RADAR. Questa foto lo ritrae a bordo dello yacht Elettra con a fianco la moglie Maria Cristina, quando nel 1934, a Sestri Levante in Liguria, eseguiva esperimenti sulla "navigazione cieca" e la radiogoniometria. Sono visibili: in primo piano l'antenna radiogoniometrica, a destra e a sinistra dello scienziato, i due ricevitori delle onde trasmesse dal radiofaro di terra (Fondazione G. Marconi)**

davanti e che, come spesso avviene per le situazioni tecnologiche più avanzate, non ci consente un controllo "per singola operazione", ma l'affidabilità del tutto è basata sulla correttezza della progettazione e della realizzazione, nonché sulla qualità della manutenzione.

Spesso la dimensione tecnologica di questi aspetti ormai così invasivi della nostra vita ci sfugge e oscilliamo tra la tranquillità noncurante e la preoccupazione senza motivo, tra il vedere la tecnologia come la panacea di tutto e il rigettarla come prodotto del diavolo e non dell'uomo, in un assurdo tentativo

di ritorno ad un modo di vivere naturale che non è mai esistito.

Celebrando i cento anni del Premio Nobel a Marconi, e cioè della massima onorificenza che un uomo può liberamente ottenere da altri uomini, dobbiamo rimarcare un tema su cui Marconi è più volte ritornato, anticipando anche in questo caso un argomento di grande attualità: la valutazione culturale ed etica non si applica agli strumenti ma al loro utilizzo. L'umanità ha sempre rincorso, proprio come Marconi, la conoscenza delle leggi della natura, per farne tesoro e migliorare la propria probabilità di so-