

Corso di Misure Elettroniche
modulo di
Fondamenti di misure a microonde

Applicazioni dei campi elettromagnetici

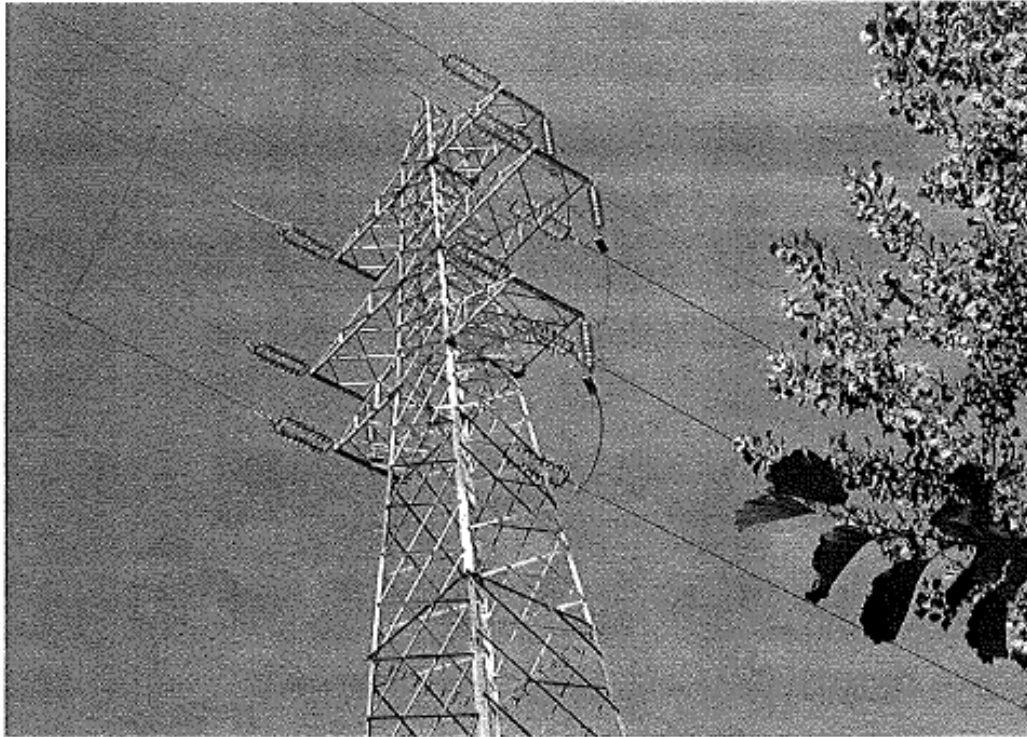
Prof. Luca Perregrini

Dipartimento di Elettronica, Università di Pavia
e-mail: luca.perregrini@unipv.it, web: microwave.unipv.it

Argomenti della lezione

- Radio e telediffusione
- Telefonia mobile
- Ponti radio terrestri e satellitari
- Radar e radionavigazione
- Global positioning system (GPS)
- Telerilevamento
- Applicazioni scientifiche
- Riscaldamento
- Medicina (diagnosi e terapia)
- Laser

Trasmissione energia elettrica



Le linee aeree possono avere diversi livelli di tensione. I più comuni sono:

380 KV
220 KV

Radio e telediffusione

TABELLA DELLE FREQUENZE USATE NELLE TRASMISSIONI VIA ETERE

SIGLA	DENOMINAZIONE	DA	A	USI
VLF	VERY LOW FREQUENCY	3KHz	30KHz	TRASMISSIONI CON SOMMERGIBILI
LF	LOW FREQUENCY	30KHz	300KHz	TRASMISSIONI DELLA MARINA
MF	MEDIUM FREQUENCY	300KHz	3MHz	RADIO AM - SISTEMI AEROPORTUALI
HF	HIGH FREQUENCY	3MHz	30MHz	RADIO OC- CB - RADIOCOMANDI - ALLARMI
VHF	VERY HIGH FREQUENCY	30MHz	300MHz	RADIO FM - RADIOAMATORI - TELEVISIONE
UHF	ULTRA HIGH FREQUENCY	300MHz	3GHz	TELEVISIONE - CELLULARI - PONTI RADIO - GPS
SHF	SUPER HIGH FREQUENCY	3GHz	30GHz	RADAR - PONTI RADIO - SATELLITI
EHF	EXTRA HIGH FREQUENCY	30GHz	300GHz	RADAR - SATELLITI - SONDE SPAZIALI

Telefonia mobile

1964 – Primo sistema telefonico radiomobile (USA). Gamma di frequenza **160/450 MHz**.

1974 – Introduzione in Italia del sistema radiomobile, detto di prima generazione. Funzionava a **160 MHz**, era molto limitato nel numero dei canali e nelle prestazioni, richiedeva l'intervento degli operatori di centrale, era molto ingombrante per il peso e per la lunghezza dell'antenna.

1984 – Nasce il sistema radiomobile RTMI (Radio Telefono Mobile Integrato), funzionante a **450 MHz**, detto di seconda generazione per via delle prestazioni di gran lunga migliori del precedente. Era direttamente connesso con la rete telefonica nazionale ed era più leggero e meno ingombrante, anche se oggi è stato completamente superato.

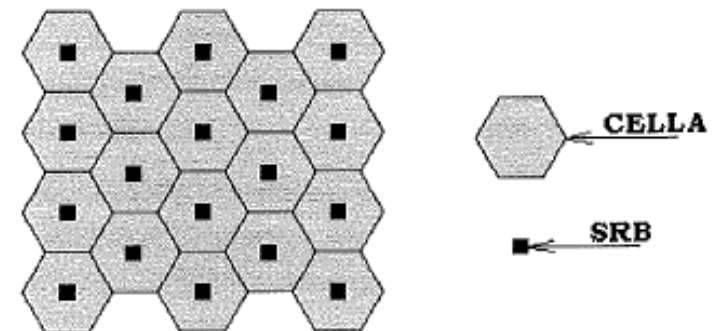
1990 – Sempre in Italia viene introdotto l'analogico ETACS (Extended Total Access System), funzionante a **900 MHz**, di prestazioni di gran lunga migliori del precedente soprattutto per copertura del territorio, per numero di canali disponibili, ma utilizzabile solo sul territorio nazionale, perché ogni nazione scelse allora uno standard diverso.

1995 – Per superare questo problema nasce il digitale GSM (Global System for Mobile communication) funzionante nella stessa gamma dei **900 MHz** ma di caratteristiche concordate con tutte le nazioni principali in vista della unificazione di tutti i sistemi radiotelefonici mondiali.

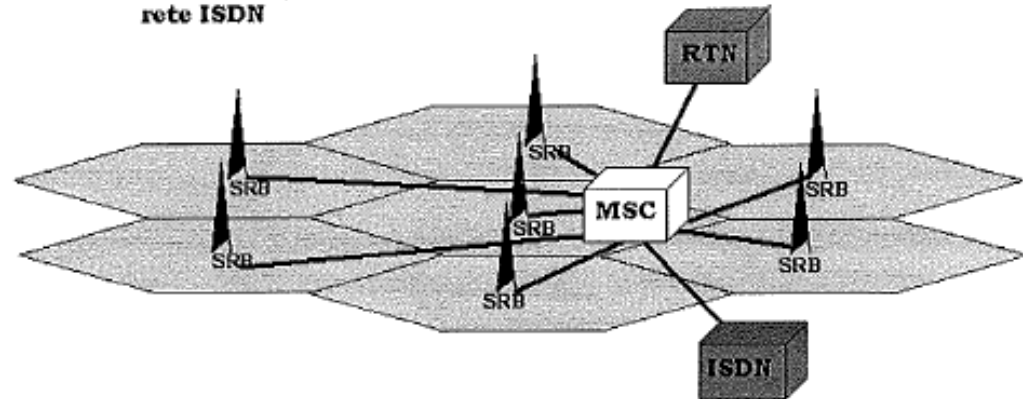
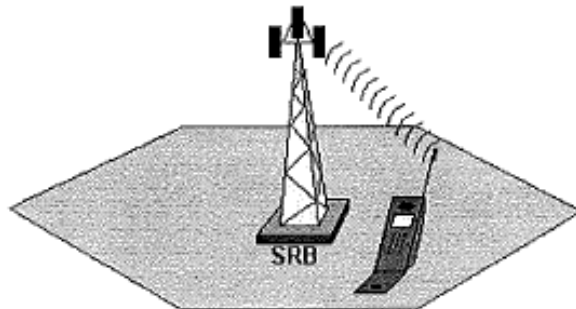
2000 – Gli ultimissimi nati sono infine il DCS 1800, anch'esso un GSM, ma funzionante sulla gamma dei **1800 MHz**, e il DECT 1900 (Digital Extended Cordless Telephone), nato come telefono senza fili di uso limitato all'ambito casalingo e poi esteso all'ambito di tutta la superficie urbana, funzionante a **1900 MHz**.

Telefonia mobile

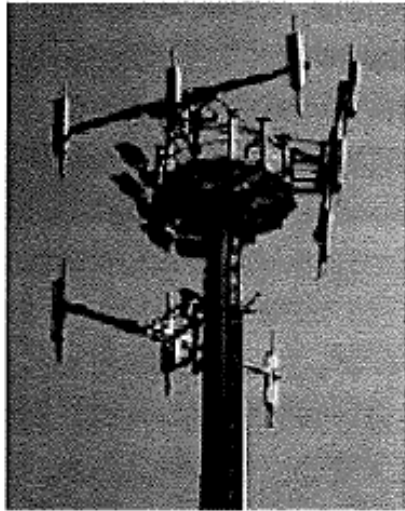
Tante stazioni radio base (SRB) disposte su celle adiacenti sono collegate di norma a stella con cavi in fibra ottica con un centro di servizio e commutazione digitale, detto Mobile Service switching Center (MSC), che ha il compito di ricevere le chiamate dei cellulari che le SRB gli inviano, e di commutarle, cioè inviarle alla rete telefonica nazionale (RTN) o alla rete ISDN (Integrated Service Digital Network) cui sono collegati direttamente.



Il centro di commutazione e servizi, MSC, collega le stazioni radio base (SRB) con la rete telefonica nazionale (RTN) e con la rete ISDN



Telefonia mobile



Stazione radio base



Terminale

Telefonia mobile

Le potenze in trasmissione dei cellulari commerciali più in uso vanno da un massimo di circa 1 W a un minimo di qualche mW.

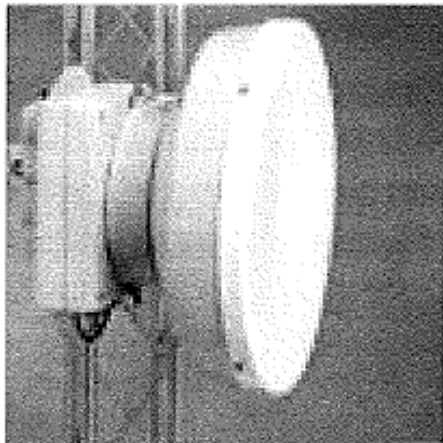
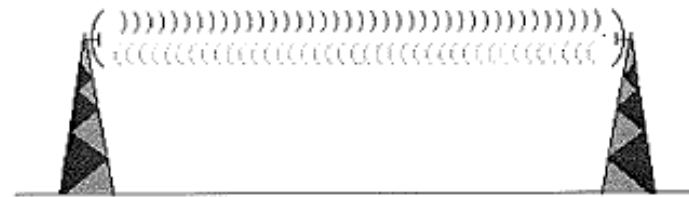
Le potenze vengono controllate e misurate dall'MSC che indica continuamente al cellulare il valore di potenza da usare che deve essere la più piccola possibile, compatibilmente con le esigenze di sensibilità in ricezione e purché la qualità del segnale ricevuto sia accettabile.

Ciò è necessario al fine di non interferire con le trasmissioni degli altri cellulari.

Riducendo la potenza in trasmissione da e per la **SRB** si riduce in conseguenza la portata del cellulare, si riducono le dimensioni delle celle, specialmente nei centri intensamente popolati, consentendo il riuso delle frequenze a breve distanza, ottenendo infine un considerevole aumento del numero di utenti sullo stesso territorio.

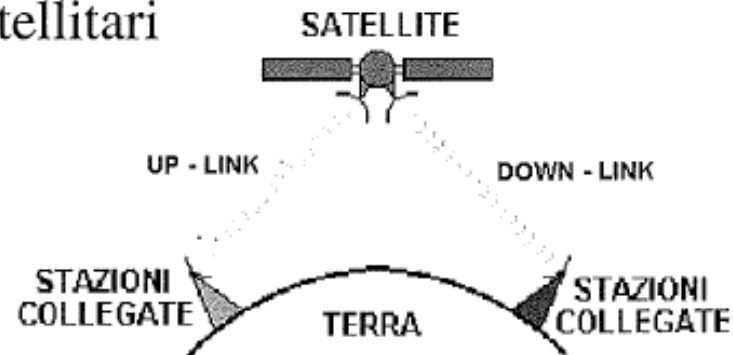
Ponti radio terrestri e satellitari

Ponti radio terrestri

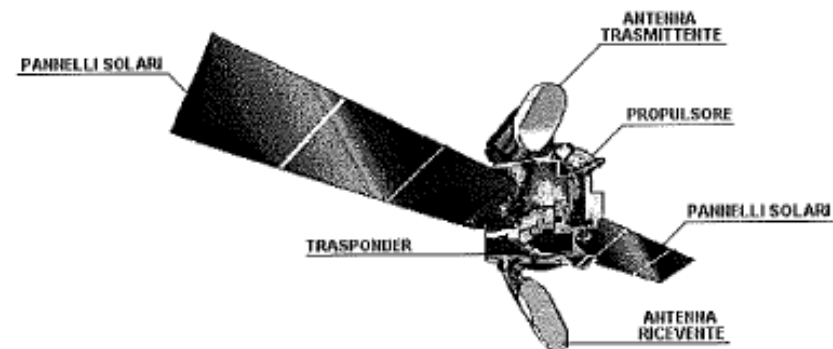


Ponti radio terrestri e satellitari

Ponti radio satellitari

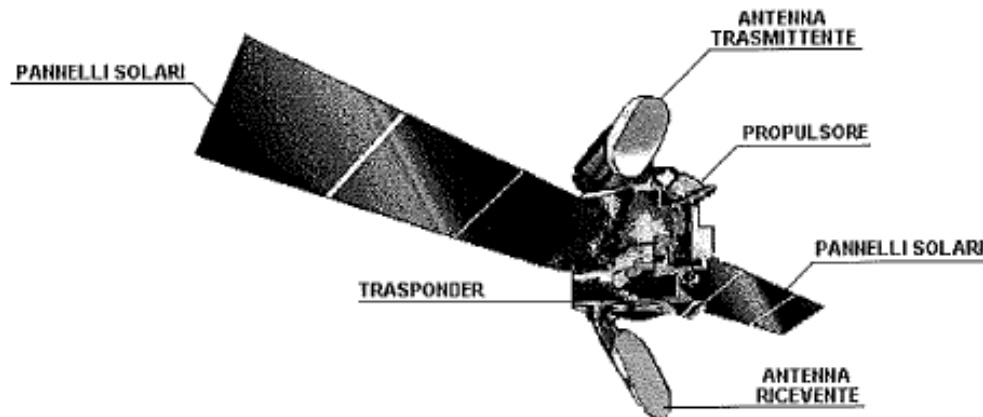
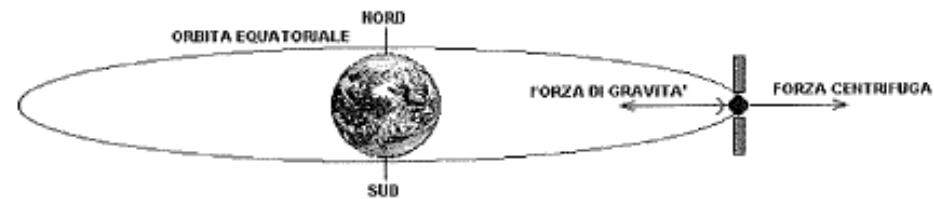


Antenna di terra



Ponti radio terrestri e satellitari

Satelliti geostazionari



Radar e radionavigazione

RAdio **D**etection **ANd** **R**anging

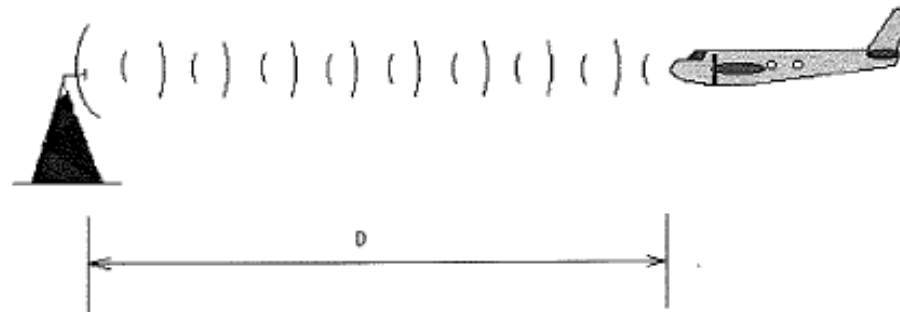
E' un sistema di rilevamento funzionante sul principio dell'eco, in cui il trasmettitore irradia periodicamente energia sotto forma di impulsi a microonde di grande potenza, ma di durata molto breve.

La velocità di propagazione degli impulsi radar è perfettamente nota, dal tempo impiegato dal segnale a raggiungere il bersaglio e a ritornare indietro, si può ricavare la distanza dello stesso.

Gli impulsi radar vengono irradiati verso il bersaglio da un'antenna parabolica molto direttiva.

Se gli impulsi trasmessi incontrano un aereo, una nave, una montagna, una piccola parte dell'energia irradiata ritorna all'antenna trasmittente dopo un tempo brevissimo.

La direzione del bersaglio è individuata dall'orientamento dell'antenna parabolica del trasmettitore



Radar e radionavigazione

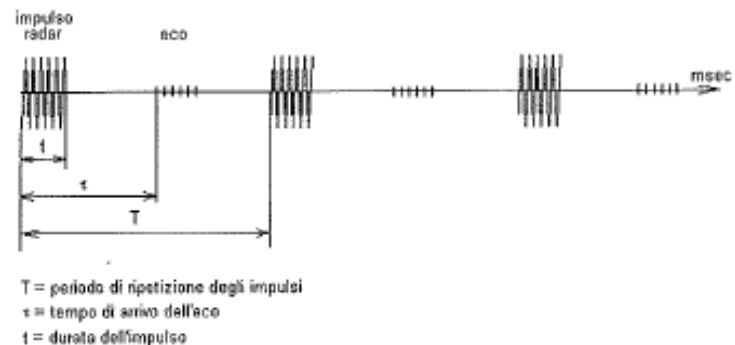
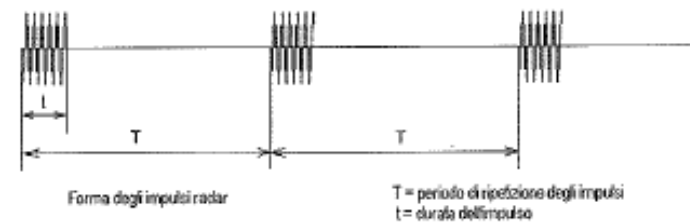
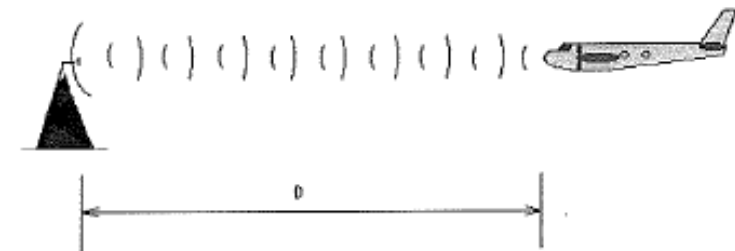
Le frequenze di funzionamento vanno da qualche centinaio di MHz a circa 25 GHz.

Le antenne, di tipo parabolico, hanno guadagni che vanno da 40 a 50 dB.

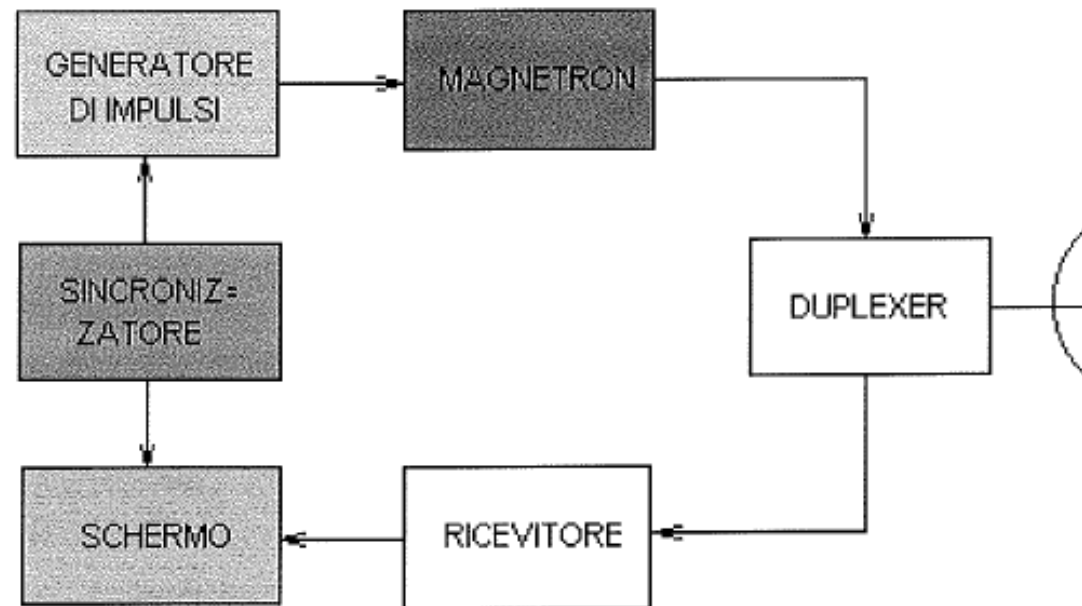
Il segnale irradiato è di forma impulsiva cioè molto intenso ma solo per brevissimi istanti perché dopo aver emesso l'impulso, il radar resta in attesa di un'eventuale eco per tutto il tempo in cui l'impulso potrebbe tornare dalla sua portata massima.

Per questo motivo il valore medio della potenza erogata nell'unità di tempo scende moltissimo rispetto ai valori di picco.

La potenza di picco di emissione di un radar può essere molto forte, da 100 a 1000 KW ma quella media è molto inferiore, da 100 a 1000 W.



Radar e radionavigazione



Radar e radionavigazione

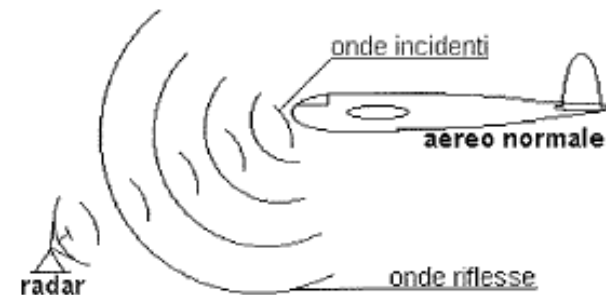
IL RADAR IN CAMPO MILITARE

Il radar è usato per puntare cannoni o missili contro bersagli fissi o mobili in quanto è in grado di rilevarne con esattezza la distanza e la direzione anche al buio o attraverso nubi o cortine di fumo.

Montato sui missili consente di inseguire aerei o altri missili quali bersagli ad alta velocità regolandone la direzione con gli alettoni di direzione e di profondità in base alla direzione assunta dal bersaglio inseguito.

L'AEREO INVISIBILE AL RADAR

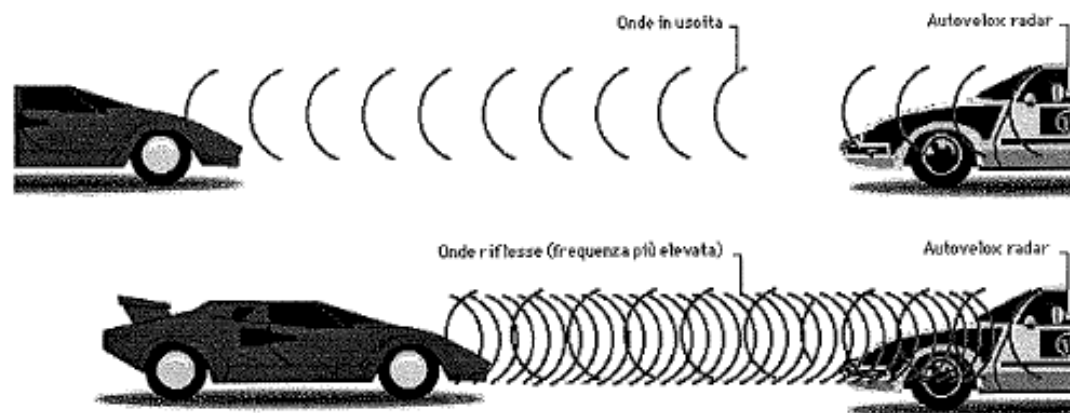
Sempre nel campo militare, sin dagli anni '80, gli U.S.A. hanno prodotto un tipo di aereo invisibile al radar, secondo una tecnologia particolare detta stealth.



Radar e radionavigazione

L'autovelox della polizia stradale è un altro tipo di radar a modulazione di frequenza funzionante sul principio dell'effetto Doppler, particolarmente adatto per le misure di velocità degli autoveicoli.

In questo tipo di radar, ad onda continua, la velocità dell'autoveicolo si ricava dalla differenza di frequenza tra l'onda incidente e l'onda riflessa.



Radar e radionavigazione

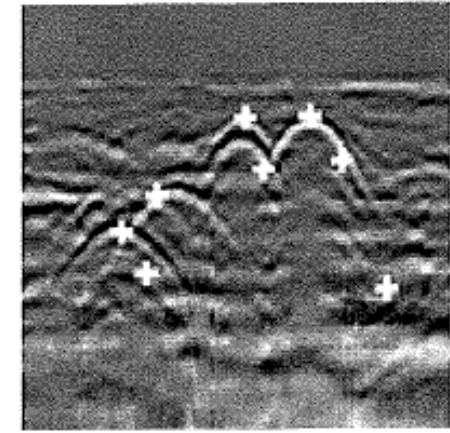
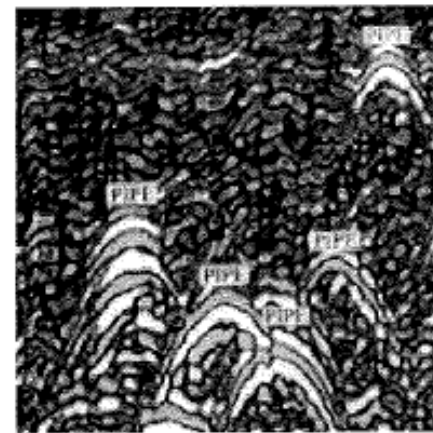
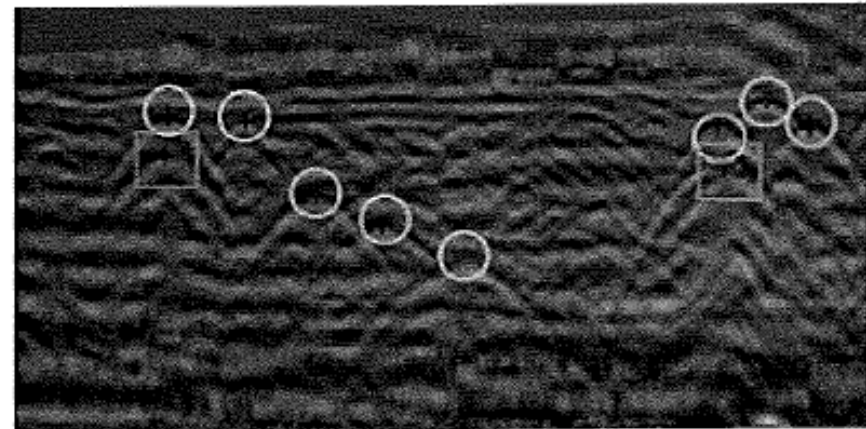
RADIONAVIGAZIONE

Esso è di aiuto alle navi perché consente di individuare battelli, scogli, isole, e la terraferma anche in piena notte o in cattive condizioni atmosferiche. Le microonde, infatti, che il radar irradia, viaggiano indifferentemente sia di giorno sia di notte, sia con il sole sia con la pioggia.

Il radar inoltre è oggi anche in grado, quale altimetro, di misurare la distanza degli aeromobili dal suolo e di monitorare il traffico aereo in vicinanza dell'aeroporto. L'ILS (Instrument Landing System) è un sistema di radioassistenza al volo per l'atterraggio degli aeromobili in condizioni di visibilità nulla, comprendenti trasmettitori a terra e ricevitori a bordo. I trasmettitori a terra localizzano l'aereo, ne individuano con grande precisione la quota, la posizione, la velocità relative ad un sentiero di discesa opportunamente scelto per l'atterraggio e li comunicano all'aereo guidandolo anche nelle peggiori condizioni di visibilità fino a terra.

Radar e radionavigazione

Radar sottosuperficiale per l'identificazione di oggetti sepolti

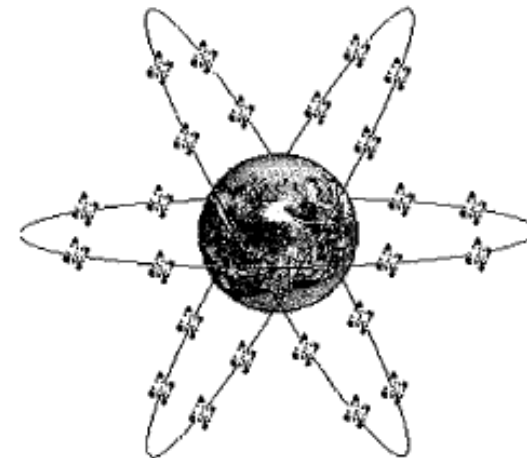


Global positioning system (GPS)

Il sistema **GPS** avviato dagli U.S.A. a partire dagli anni '70, e completato nel 1993, è stato realizzato per motivi principalmente militari, per poter seguire il percorso di mezzi militari sulla terraferma ed in mare.

Il **GPS** è un sistema di individuazione della posizione che utilizza 24 satelliti artificiali che ruotano attorno alla terra alla quota di circa 20.200 Km. Esso consente di determinare la propria posizione sulla superficie terrestre, ed anche la quota se si è in aereo.

I satelliti **GPS** generano due diversi segnali di tipo numerico, che vengono chiamati L_1 ed L_2 , alle frequenze rispettivamente di **1.5 GHz** e **1.2 GHz** circa, dei quali il primo serve per la localizzazione grossolana (circa 300 m) e l'altro per la localizzazione più precisa (circa 50 cm). Il primo segnale è trasmesso in chiaro, il secondo, invece, è trasmesso in codice segreto e non è accessibile se non al Ministero della difesa degli Stati Uniti.

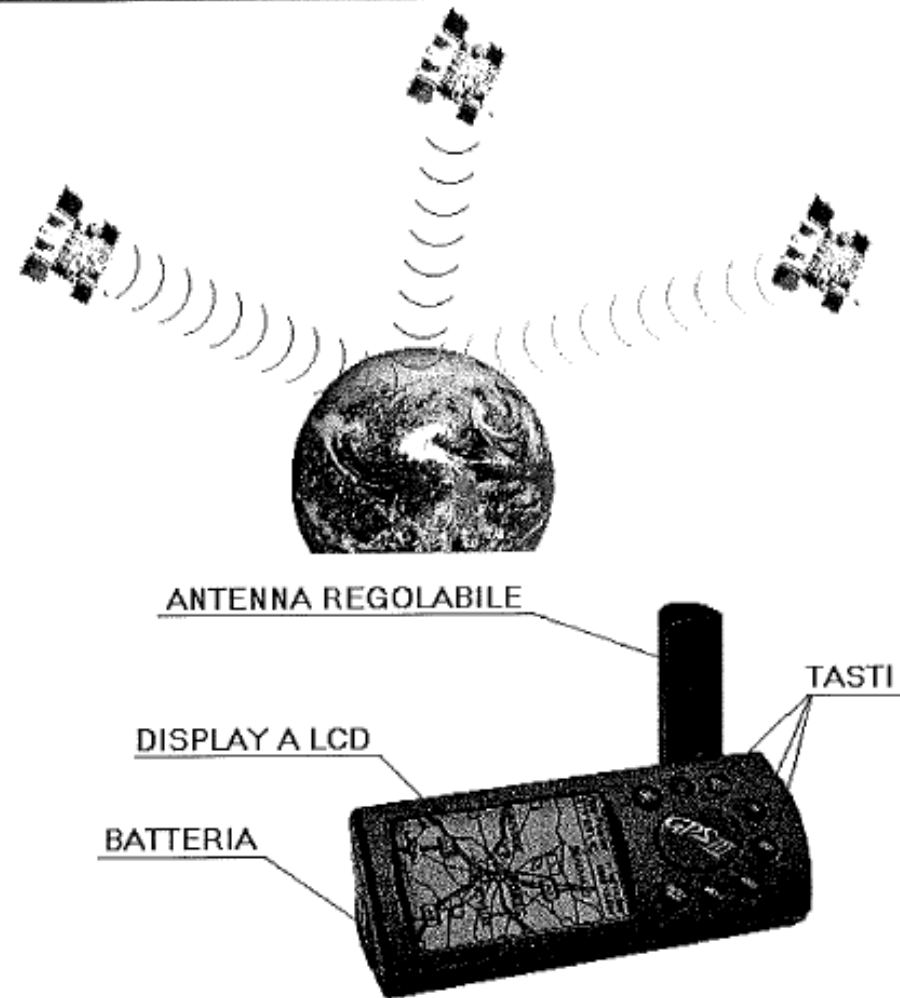


Global positioning system (GPS)

I satelliti, dotati di orologi atomici di grandissima precisione sincronizzati tra loro, trasmettono in continuazione dati numerici che comprendono le loro posizioni e l'istante esatto di trasmissione.

Questi dati vengono elaborati a terra dal ricevitore il quale, confrontandoli con il proprio tempo locale e conoscendo la velocità delle onde elettromagnetiche, deduce a che distanza si trova da ognuno dei satelliti di cui sta ricevendo il segnale.

La conoscenza della distanza da quattro satelliti consente di determinare con certezza la posizione



Global positioning system (GPS)

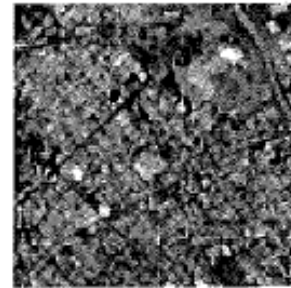
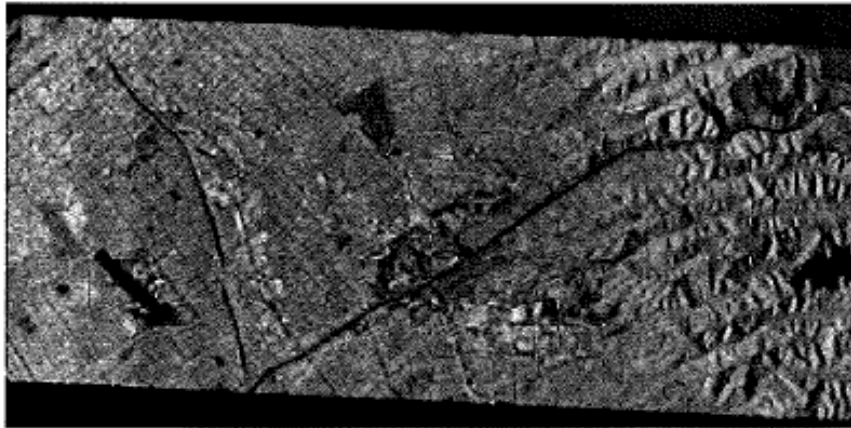
Il **GLONASS** (GLObal NAVigation Satellite System) è un sistema satellitare di individuazione della posizione prodotto dall'U.R.S.S. circa nello stesso periodo del G.P.S. americano e che ha caratteristiche molto simili, solo che non è criptato ma totalmente in chiaro.

Anche questo sistema è dotato di 24 satelliti, ma ad una quota leggermente maggiore di quella dei satelliti **GPS** inoltre la frequenza è determinata in base ad un fattore variabile.

Nonostante le considerevoli differenze tecniche fra i due sistemi, esistono alcuni fra i migliori ricevitori **GPS** che possono ricevere sia l'uno che l'altro sistema ed ottenere una precisione complessiva simile a quella del sistema codificato militare americano, cioè di quasi mezzo metro.

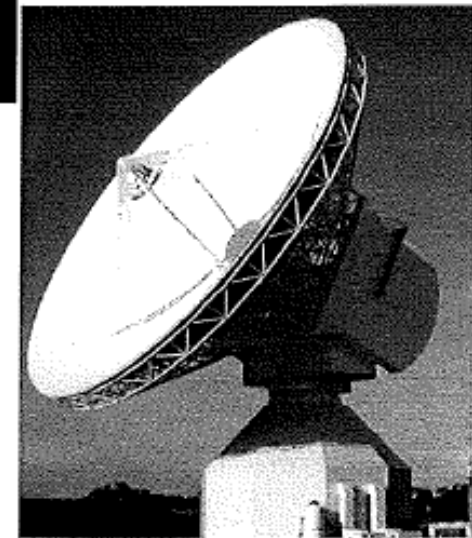
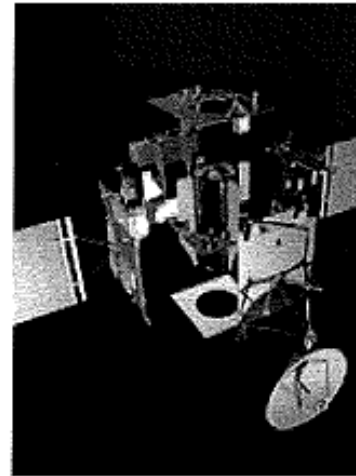
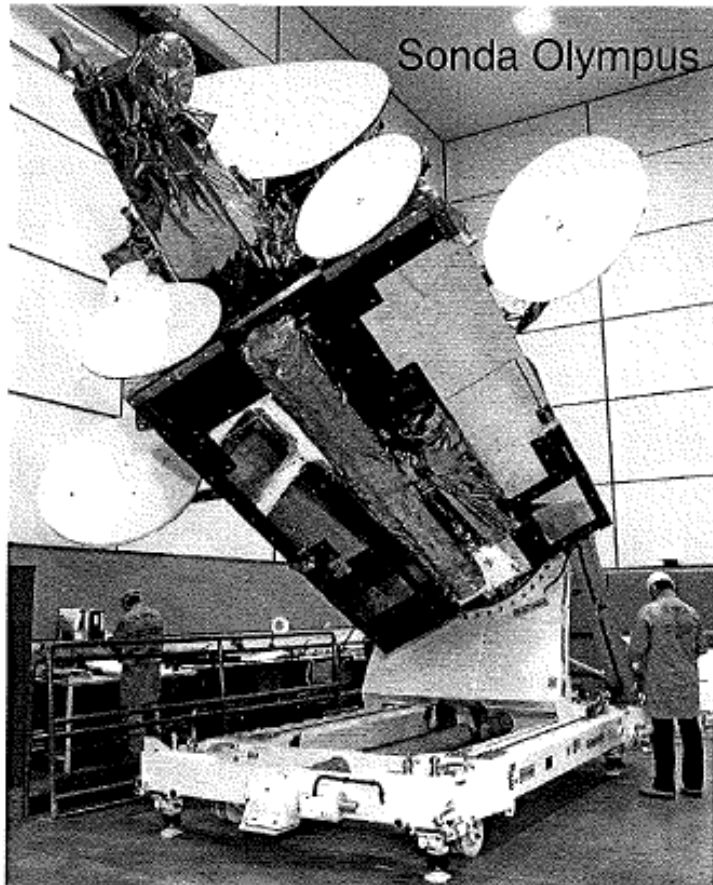
L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) si sta dotando di un suo sistema di posizionamento globale, denominato GALILEO. I satelliti sono in fase di lancio e la precisione prevista è dell'ordine di pochi centimetri.

Telerilevamento



Mappe di città, identificazione strade, estrazione sagome edifici

Applicazioni scientifiche

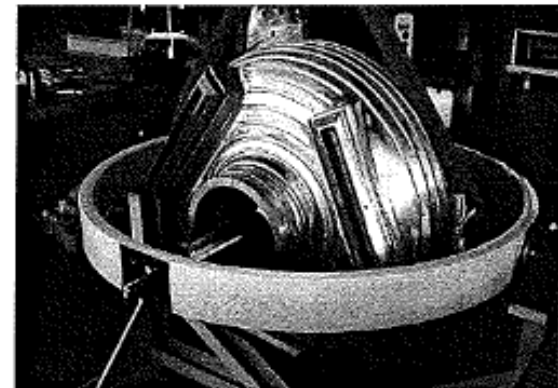
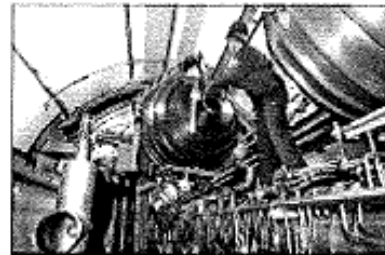


Antenna di terra

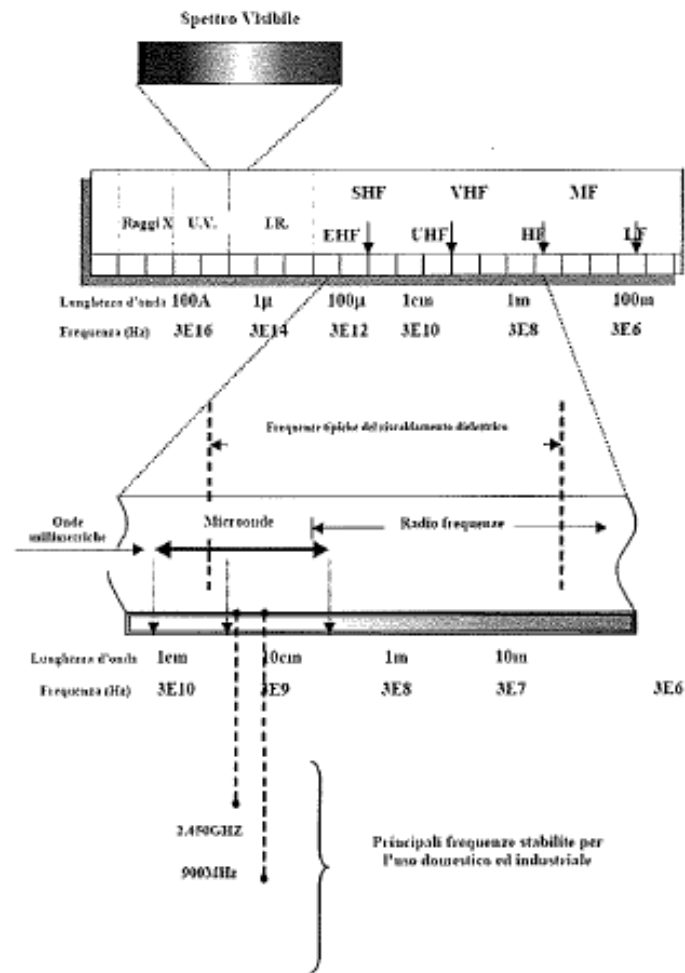
Applicazioni scientifiche



Acceleratori di particelle



Lavorazioni industriali



Lavorazioni industriali

La frequenza tipica di lavoro è di 2450 MHz (unica ammessa in Italia).

Questa tecnologia garantisce all'utilizzatore industriale molti vantaggi:

- risparmio sui costi di esercizio
- riduzione dei tempi di lavorazione, delle dimensioni del macchinario, migliore qualità del prodotto finito
- flessibilità di utilizzo (avvio e arresto in tempi brevissimi) favorendo l'automazione e la produttività
- minori emissioni (abbattimento dell'inquinamento atmosferico e acustico dell'ambiente di lavoro)

Lavorazioni industriali

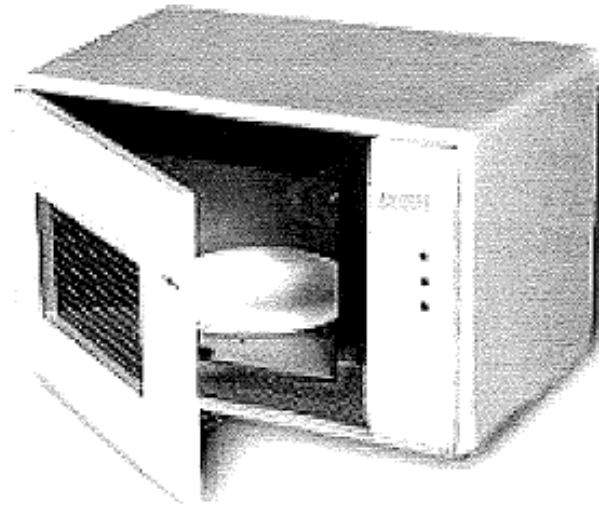
Applicazioni

- vulcanizzazione della gomma
- pastorizzazione e cottura degli alimenti
- scongelamento di cibi surgelati
- essiccazione di materiali vari (plastica, vernici, ceramica, calcestruzzo)

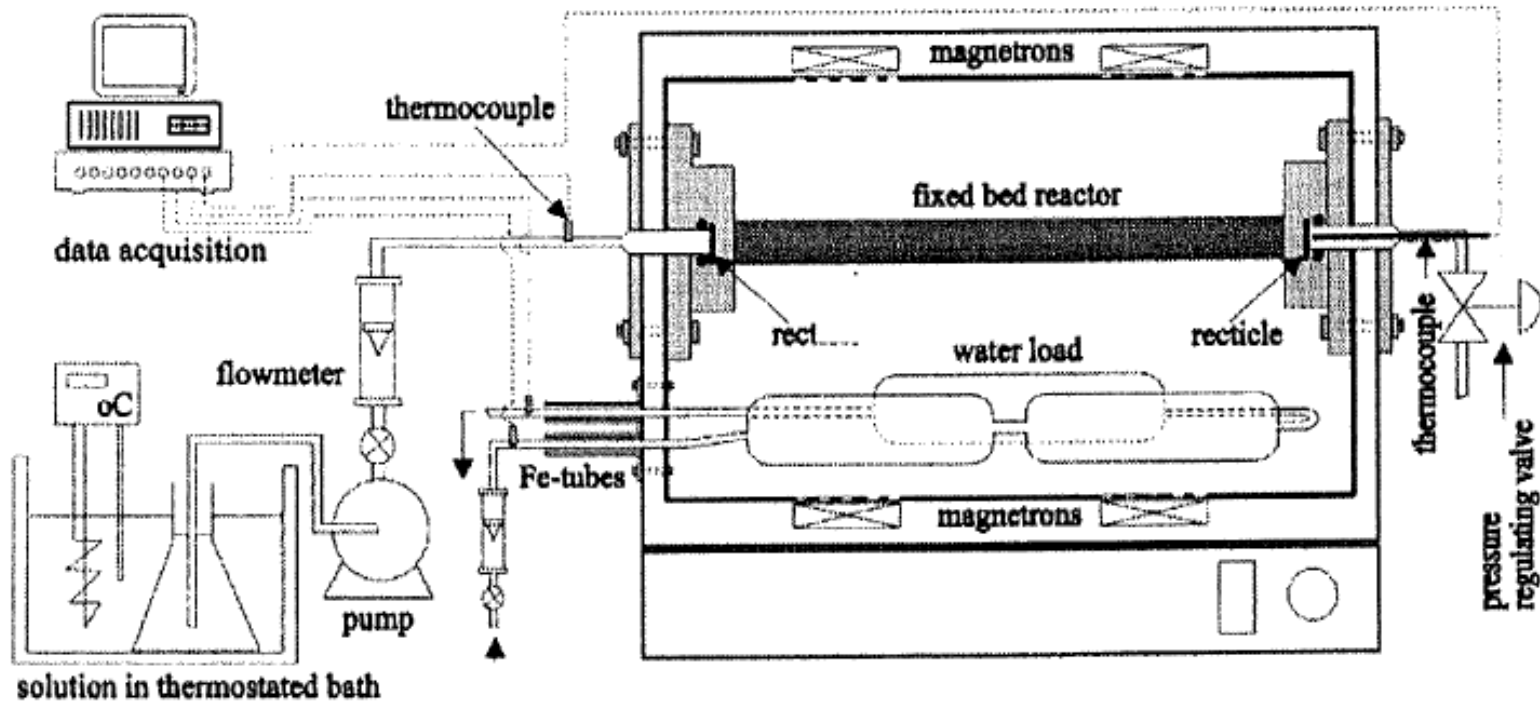
È particolarmente efficace quando:

- è richiesto il riscaldamento selettivo e uniforme di materiali a bassa conducibilità termica
- si vuole ottenere la massima qualità del prodotto
- i tempi e i costi di produzione devono essere ridotti
- lo spazio disponibile per il macchinario è limitato
- il processo è a ciclo continuo

Lavorazioni industriali



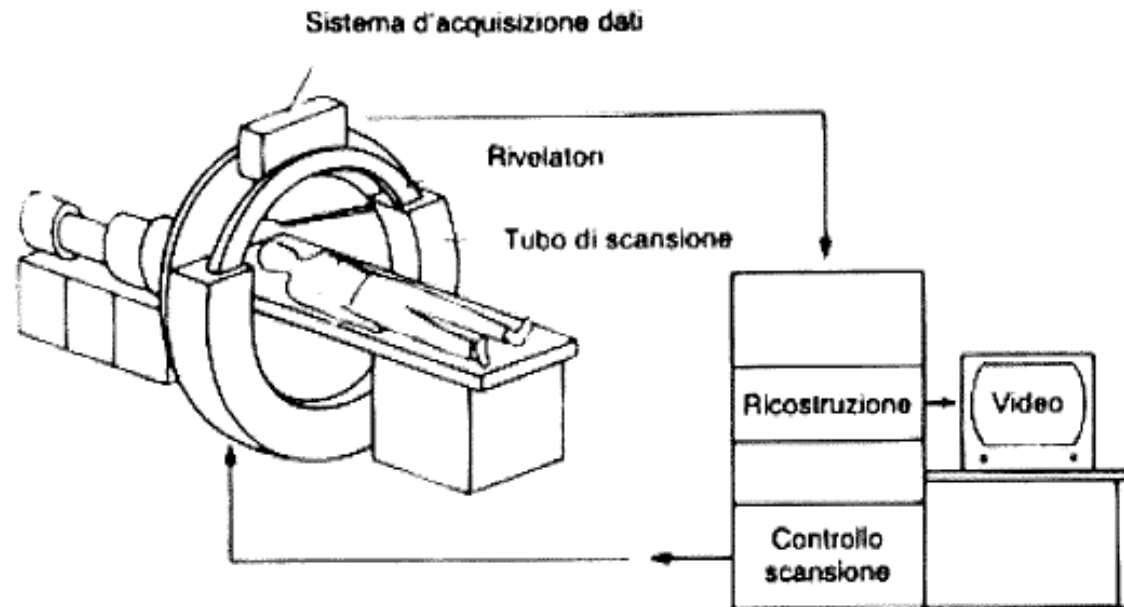
Lavorazioni industriali



reattore tubolare per l'esterificazione di acido benzoico con metanolo

Medicina: diagnosi

La Tomografia Assiale Computerizzata (TAC) utilizza i dati di attenuazione di fasci di raggi X che attraversano il corpo del paziente lungo varie direzioni in un dato piano assiale per ottenere una mappatura punto per punto del coefficiente di assorbimento del corpo lungo quel piano; la procedura, ripetuta per vari piani paralleli a breve distanza l'uno dall'altro sino a coprire tutta la zona di interesse, fornisce così dati tridimensionali che possono essere visualizzati dal medico con varie modalità.



Medicina: diagnosi

La Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) può essere considerata innocua (non usa raggi X), fornisce immagini dettagliate su piani orientati in qualsiasi modo nello spazio.

Il paziente è collocato all'interno della macchina di RMN dove viene irradiato da un campo magnetico ad elevata intensità. Le forze generate nel campo magnetico fanno sì che i momenti magnetici delle molecole del paziente si allineino alla direzione del campo esterno, inducendo temporanee alterazioni dei nuclei che, quando le onde radio vengono interrotte, ritornano alla normalità dando luogo a segnali che vengono trasmessi a un computer e trasformati in immagini tridimensionali. In queste immagini i tessuti si presentano di colore chiaro se ricchi di acqua, a causa dell'abbondante presenza di atomi di idrogeno (elemento basilare dei tessuti biologici) e scuri se ne sono poveri. I tessuti le cui molecole sono più mobili danno segnale più forte, mentre quelli delle strutture rigide (osso) non ne danno affatto.

La risonanza magnetica può essere usata per la diagnosi di numerose patologie.

I suoi limiti sono costituiti dal costo ancora alto. Inoltre la RMN è controindicata per i pazienti portatori di pace-maker cardiaci o di protesi dotate di circuiti elettronici, di preparati metallici intracranici o posizionati in prossimità di strutture anatomiche vitali, clips vascolari o schegge di materiale ferromagnetico.

Medicina: terapia

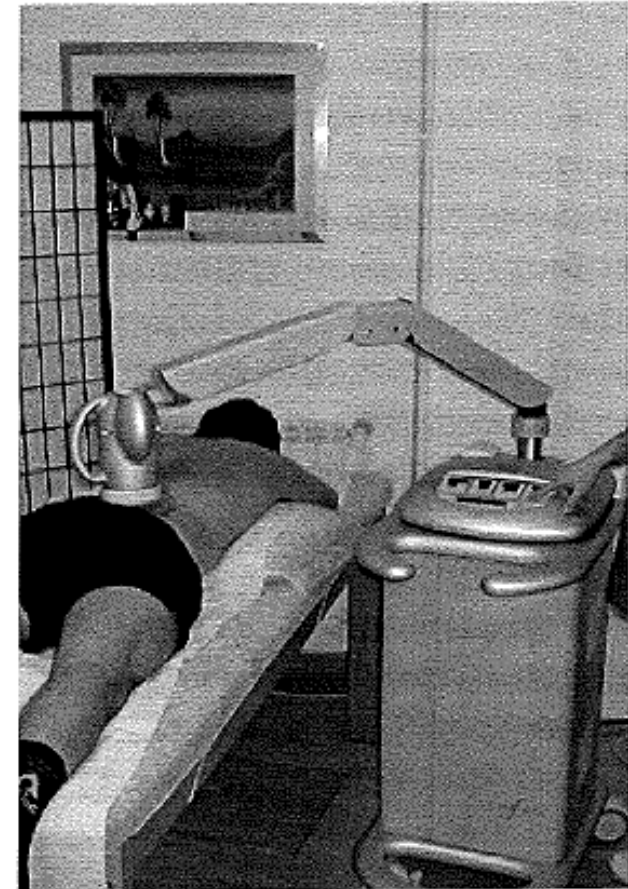
Marconi terapia: utilizzazione a scopo terapeutico di onde corte dell'ordine di 6 - 30 metri con una frequenza di circa 10 - 12 MHz. Il trattamento viene generalmente eseguito mediante due elettrodi contrapposti formati da un disco metallico di dimensioni variabili rivestito da un piatto isolante in vetro o in plastica (senza contatto diretto).

Radar terapia: utilizza onde radio di minor lunghezza (10 - 12 cm.) e con una frequenza di 2.5 GHz. Dall'apparecchio che le produce esce un cavo coassiale che porta all'antenna l'energia ad alta frequenza.

Magnetoterapia: utilizza apparecchiature generanti campi magnetici a bassa intensità e a frequenza variabile. Tali apparecchiature si differenziano per il diverso modo di erogazione del campo, per la frequenza e la forma delle onde, per l'intensità del campo magnetico generato. Questo tipo di terapia è particolarmente adatto per il trattamento degli esiti di fratture ossee.

Medicina: terapia

L'ipertermia a microonde è una metodica relativamente recente, ma assai sofisticata ed efficace di termoterapia endogena. Affonda le sue radici nella medicina oncologica, e da circa un decennio viene utilizzata vantaggiosamente nel trattamento di numerose patologie a carico dell'apparato locomotore.



Laser

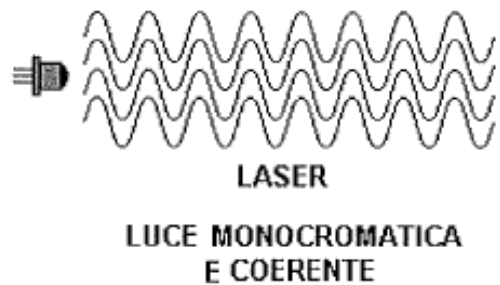
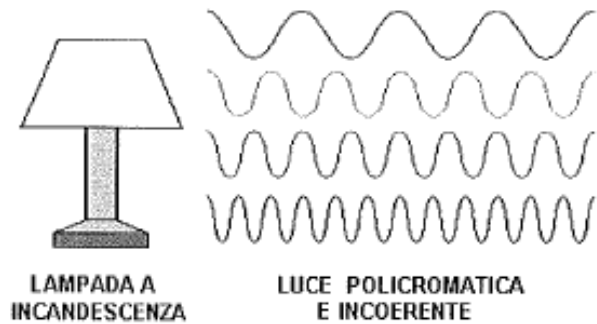
Il LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation: amplificazione luminosa per mezzo di emissione stimolata di radiazioni) è un dispositivo in grado di emettere radiazioni luminose di tipo coerente, cioè con tutti i raggi in fase, e monocromatico, cioè composte da un solo colore e quindi da una sola frequenza.

Il fenomeno fisico sul quale si base il suo funzionamento è quello dell'emissione stimolata, enunciato da A. Einstein nel 1917

Il raggio LASER ha anche la caratteristica di essere fortemente concentrato al punto da potersi considerare perfettamente rettilineo.

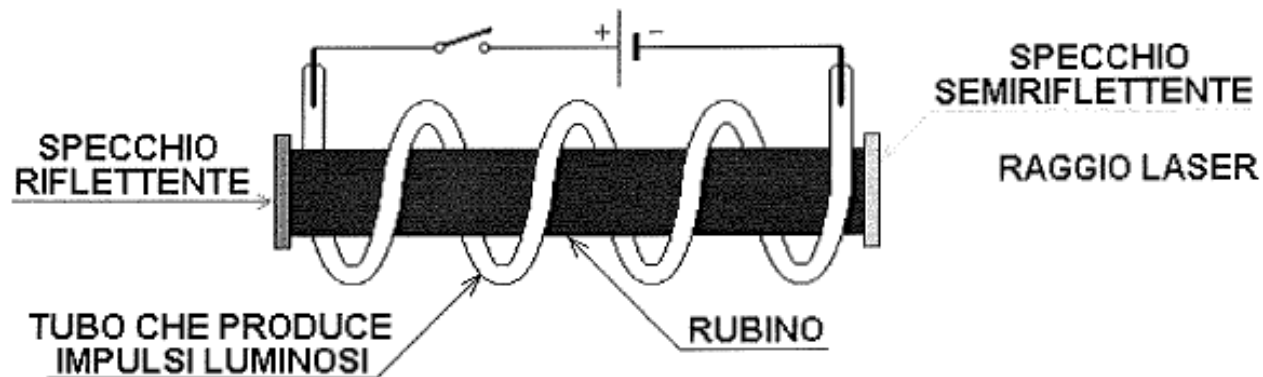
Il suo diametro è dell'ordine del millesimo di millimetro.

Laser



Laser

I primi laser sperimentali, utilizzavano come materia prima un rubino, cioè una pietra preziosa di colore rosso intenso, posto fra due specchi paralleli e circondato da un tubo di vetro contenente gas che veniva sottoposto a scariche luminose di tipo impulsivo, come indicato in figura.

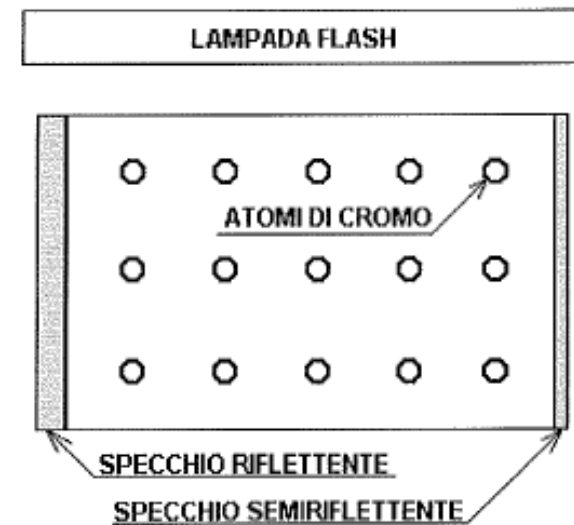


Laser

I lampi luminosi di luce policromatica e incoerente, prodotti dalla lampada flash che circonda il rubino, eccitano gli atomi di cromo che spostano i loro elettroni dell'ultima orbita in una posizione ancora più esterna, cui corrisponde una maggiore energia, come indicato in figura.

In condizioni normali, questi elettroni decadono nell'orbita più bassa in istanti successivi del tutto casuali e quindi imprevedibili, restituendo l'energia ricevuta, sotto forma di fotoni tutti con la stessa energia luminosa e quindi dello stesso colore, ma diretti però, in ogni direzione (emissione fotonica o naturale).

Il LASER, invece, è in grado di produrre un'emissione stimolata a seguito della sua struttura di specchi paralleli, di cui uno perfettamente riflettente, ed uno semiriflettente, che detta di tipo FABRY - PEROT dal nome degli scienziati che li hanno inventato.



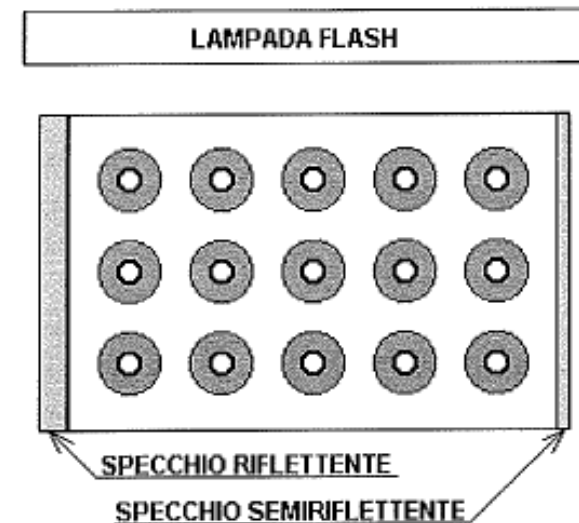
Laser

Infatti, quando i fotoni di luce monocromatica, prodotti dal decadimento degli elettroni nell'orbita inferiore, vengono generati, si vengono a trovare intrappolati in una struttura risonante, costituita dai due specchi Fabry - Perot, che li costringono ad andare avanti e indietro tante volte in linea retta.

Questi fotoni, passando vicino agli atomi eccitati, producono il decadimento degli elettroni dall'orbita instabile a maggiore energia, a quella stabile a energia inferiore con conseguente emissione di altri fotoni, tutti rigorosamente della stessa frequenza e della stessa fase, che vengono anche loro costretti a oscillare in avanti e indietro fra i due specchi.

Questi costituiscono una cavità risonante ottica poiché la distanza fra i due specchi deve risultare un multiplo intero di mezza lunghezza d'onda della radiazione LASER.

Raggiunta una certa intensità, i fotoni riescono ad uscire dallo specchio semitrasparente in un unico raggio perfettamente monocromatico e in fase, perché generato dall'emissione stimolata di atomi tutti assolutamente eguali, e perfettamente rettilineo, perché prodotto dopo un innumerevole numero di oscillazioni in linea retta che ne garantiscono la direzione rettilinea.



Laser: applicazioni

In medicina si ricordano il bisturi LASER che sostituisce il normale bisturi metallico, con il vantaggio della estrema sottigliezza del taglio e di cicatrizzare mentre taglia, impedendo quindi la perdita di sangue. Nelle operazioni sulla retina dell'occhio, per la sua saldatura, oltre che per la sagomatura della cornea e quindi correzione definitiva dei difetti visivi, ed in particolari applicazioni di microchirurgia interna ed artroscopia.

In campo militare vi sono le bombe a guida LASER, le armi da fuoco a puntamento LASER, usate sia per i cannoni, che per le pistole o i fucili.

Nell'industria con il LASER si tagliano i metalli o le tavole in legno per esempio per il modellismo con pilotaggio computerizzato da consolle.

In astronomia il LASER è stato usato per mandare un raggio sulla luna e ritorno per misurarne la distanza con un errore di pochi centimetri, utilizzando uno specchio, rivolto verso la terra, lasciato dagli astronauti dell'Apollo11 il 21 luglio del 1969.

Nel campo scientifico, poi, gli impieghi sono certamente innumerevoli, specialmente nei campi della ricerca e sperimentazione di ogni tipo.

Il LASER consente inoltre la creazione di ologrammi, cioè di immagini tridimensionali.

Nel campo dell'informatica il LASER è usato per i lettori CD, i masterizzatori, i DVD.