



Progetto
CAMPI ELETTROMAGNETICI
per Scuole Medie Superiori

Sommario:

1. La comunicazione: dalla carta, al filo, al wireless
2. Le onde elettromagnetiche: non si vedono, ma stanno attorno a noi. Cosa sono e come si propagano?
3. Le onde radio: come inviano informazioni tra punti distanti?
Panoramica dello spettro radioelettrico.
4. Il telefonino: parliamo di reti cellulari e di etica nell'uso di questo grande amico.
5. Il problema sanitario delle onde e.m.: come la mettiamo con l'elettrosmog?
6. In principio di precauzione e le leggi in Italia.
7. Dove sono i campi elettromagnetici e come li misuriamo.

Slide 1

Parliamo di un servizio che era in auge verso la metà del 19° secolo, negli Stati Uniti: il servizio Pony-Express, che aveva la finalità di portare a destinazione materiale postale con la massima velocità possibile, tra località fra loro distanti. utilizzando corrieri a cavallo che galoppavano senza sosta, giorno e notte, estate e inverno, cambiando cavallo frequentemente nelle 165 stazioni di posta che si trovavano lungo il percorso.

Slide 2

Il materiale postale era composto per lo più da lettere; sappiamo che una lettera contiene **informazione**, ovvero messaggi prodotti da una mente intelligente con un preciso contenuto logico. Inoltre, dietro all'informazione, ci sono concetti di lingua, alfabeto, grammatica, sintassi, modalità di numerazione, ecc: la persona che invia e quella che riceve questi messaggi, devono essere fra loro perfettamente sincronizzate su tali concetti, perché il messaggio possa essere decodificato.

Se un messaggio passa con immediatezza tra due persone fra loro vicine, parliamo di **comunicazione**; ma il pony express sottintende un trasferimento dell'informazione tra persone distanti, impossibilitate a intendersi a parole o a segni, e quindi parliamo di **telecomunicazione**.

Slide 3

L'efficienza del servizio di Pony-Express era strettamente legata al tempo intercorrente tra l'affidamento del messaggio al corriere e la consegna dello stesso al destinatario: in altre parole, al **tempo di trasferimento** dell'informazione.

Visto con occhi moderni, il servizio pony express rappresentava effettivamente un servizio di telecomunicazione. Oggi, con questo termine s'intende un servizio che ha la finalità di portare a destinazione informazione utilizzando le più moderne tecnologie.

Tra l'epoca dei pony express e le moderne reti di TLC, individuamo due passaggi importanti, che coincidono rispettivamente con l'abbattimento dei tempi di trasferimento e con la possibilità di raggiungere qualsiasi punto del pianeta.

Slide 4

Attorno alla metà del 19° secolo, l'americano Samuel Morse inventa il telegrafo elettrico, sfruttando onde elettriche che corrono lungo fili conduttori. Ciò che si muove non è più un foglio di carta scritta, ma è la stessa informazione che corre sui fili tradotta in un particolare **alfabeto**, l'alfabeto Morse appunto. È opportuno ricordare che l'alfabeto è un modo di codificare l'informazione.

La distanza coperta dal **collegamento** telegrafico era notevole, fino a qualche centinaio di Km; ma la grande novità era la incredibile velocità offerta dal sistema: mentre un operatore batteva il testo da trasmettere, all'altro estremo del

collegamento la macchina scrivente registrava, praticamente senza ritardo, gli stessi caratteri su un nastro di carta.

Il telegrafo **Morse**, e la successiva applicazione della telefonia elettrica, realizzavano un nuovo capitolo nella storia della comunicazione, riducendo drasticamente i ritardi introdotti dai metodi di consegna manuale del materiale postale.

Il problema non risolto restava quello della fisicità del collegamento, per cui il messaggio poteva essere inviato e ricevuto solo in corrispondenza delle stazioni telegrafiche così com'erano state disposte sul territorio. E laddove non arrivavano i fili, non era possibile alcuno scambio di informazione.

Slide 5

Alla fine del 19° secolo i fisici stavano studiando il comportamento delle onde elettriche, generate per lo più da macchine che producevano potenti scintille. Tra gli effetti prodotti da queste scintille si poteva includere anche il comportamento del coherer, un tubetto di vetro riempito di limatura metallica, che abbassava istantaneamente la sua resistenza quando investito dall'onda elettrica, al punto da riuscire a far circolare una corrente sufficiente a fare attrarre una elettrocalamita. Mentre gli scienziati discutevano e facevano dimostrazioni di questi comportamenti, il giovane **Marconi** ebbe la sua grande intuizione: perché non utilizzare questo rudimentale sistema trasmittente - il generatore di scintille, da un lato - e ricevente - il coherer, dall'altro - per inviare informazione? Il passo era logico e insieme geniale: sostituire da una parte, all'interruttore, un tasto per telegrafia Morse, e dall'altra una macchina ricevente Morse a nastro di carta, ed utilizzare lo stesso alfabeto Morse per dare un significato al ritmo di trasmissione e, in definitiva, inviare messaggi intelligenti. Marconi chiamò il suo sistema Telegrafia Senza Fili.

La telegrafia senza fili di **Marconi**, e la successiva applicazione della radiofonia (la trasmissione di voce e musica), realizzavano un ulteriore nuovo capitolo nella storia della comunicazione, rendendo possibile svincolare il collegamento da postazioni fisse. La radio arriva liberamente in qualunque punto del globo terrestre. Era nato il **wireless**.

Slide 6/7

La parola wireless significa senza fili. Ma allora, su che supporto cammina la telegrafia di Marconi? Dobbiamo prima inquadrare cosa sia un'onda. Ogni volta che in fisica si considera una sorgente in vibrazione, si ottiene come effetto la propagazione di un'onda.

Se un sasso viene lanciato su una superficie d'acqua in quiete, nel punto dell'impatto l'acqua inizia a muoversi elasticamente e ritmicamente in alto e in basso; da quel punto vediamo comparire delle increspature di forma circolare, che apparentemente si allargano in cerchi concentrici. L'onda è quindi una perturbazione dello stato di quiete di un mezzo elastico, che si propaga dal punto in cui è avvenuta la sollecitazione con velocità finita.

Se analizziamo in sezione la superficie d'acqua perturbata, noteremo che ogni punto si muove verticalmente: ciò che si sposta non sono particelle d'acqua, ma solo la perturbazione. Le onde sono rappresentabili con massimi e minimi, e viene definita **lunghezza d'onda** la distanza tra due punti con le stesse caratteristiche. Se osservo un punto della perturbazione, scopro che si allontana dalla sorgente in modo radiale con velocità costante, detta **velocità di propagazione** dell'onda.

Slide 8

Un'onda singola compie un'intera oscillazione in un tempo che si chiama **periodo**, e il numero di oscillazioni nell'unità di tempo si chiama **frequenza**. La frequenza rappresenta il numero di onde che passano per un determinato punto nell'unità di tempo.

Quindi: l'onda è una grandezza che varia in funzione del tempo e in funzione dello spazio; il periodo è un tempo, e quindi si misura in secondi; la frequenza si misura in cicli al secondo, o Hertz; la velocità di propagazione si misura in metri al secondo.

Altri esempi di onde sono: il suono, i terremoti, la luce. Il suono si propaga grazie ai gas di cui è composta l'atmosfera. In generale, perché un'onda si propaghi occorre un supporto elastico, capace cioè di cambiare la forma che ha a riposo. E allora, come si propaga la luce, che viaggia nello spazio vuoto?

Slide 9

La risposta è semplice: la luce è energia pura, e non ha bisogno di alcun supporto fisico. Viaggia ad una velocità che è la massima concepibile, e che rappresenta un limite fisico: $3 \cdot 10^8$ metri al secondo, o anche 300.000 Km/s o, se preferite, qualcosa come 1080 milioni di Km/ora. L'energia di cui sono composte le onde della luce è l'insieme di una componente elettrica e di una componente magnetica, fra loro intimamente associate ed inscindibili, tanto da formare quell'unica forma di energia che è alla base di tutte le **onde elettromagnetiche**.

Slide 10

Le onde radio appartengono alla stessa realtà fisica delle onde luminose, sono cioè onde elettromagnetiche, e come le prime dimostrano le stesse attitudini fisiche: ad esempio, possono venire riflesse, con la stessa identica legge della riflessione ottica.. Ciò che distingue le onde nelle loro varie definizioni e proprietà, è la lunghezza d'onda, a cui è associata una diversa energia.

L'energia si misura in ElettroVolt ed è direttamente proporzionale alla frequenza della radiazione. I raggi gamma, i raggi X, i raggi ultravioletti sono di gran lunga i più energetici e sono conosciuti come radiazioni ionizzanti, perché sono in grado di interagire profondamente con le molecole investite. Nella gamma compresa tra frazioni di MHz e 300 GHz le radiazioni elettromagnetiche vengono definite **onde radio**, perché sono generate da sistemi elettronici ed utilizzate per invio a distanza di informazioni. Le onde radio, dunque, sono associate a livelli molto bassi di energia.

Slide 11

Partendo dalle lunghezze d'onda più piccole, troviamo radiazioni ad altissima energia, che provengono per lo più dal sole, che come noto, è una enorme e potentissima fornace nucleare. Nel sole gli atomi di materie come idrogeno ed elio vengono sconvolti, e dalla loro scissione nascono radiazioni che coprono quasi per intero questo spettro di frequenze. Si tratta di radiazioni luminose (λ compresa tra 400 e 700 nm), radiazioni ultraviolette, raggi X e raggi gamma, oltre a una grande parte di radiazioni infrarosse.

Quest'ultima gamma, per inciso, è quella in cui operano i sistemi in fibra ottica, che come noto utilizzano luce per trasmettere informazione, ma non nel campo visibile, bensì nel vicino infrarosso (λ compresa tra 800 e 1600 nm).

Slide 12

Al di sotto di 300 GHz, o se vogliamo per λ di lunghezza maggiore di 1 mm, abbiamo il vasto campo delle radioonde. Nella gamma compresa tra frazioni di MHz e 300 GHz le radiazioni elettromagnetiche vengono infatti definite **onde radio**, perché sono generate da sistemi elettronici ed utilizzate per invio a distanza di informazioni.

Quando ruotiamo la manopola di sintonia di un ricevitore (o, analogamente, quando selezioniamo un canale TV col telecomando), indichiamo al ricevitore qual'è il segnale che vogliamo ricevere, e che si distingue da tutti gli altri grazie alla sua particolare frequenza. Segnali diversi possono essere discriminati grazie al fatto che arrivano al ricevitore su frequenze diverse. Esempio:

FM RAI 1: 87,5 MHz TV RAI 3° ER: 560 MHz Telefoni cellulari: 900 MHz
Inoltre, ogni segnale porta una sua particolare informazione. In realtà, occorre distinguere nel segnale ricevuto la **portante** dalla **modulante**. La portante è, come dice il nome, l'onda che porta l'informazione; è un'onda elettromagnetica capace di viaggiare a grandissima velocità, caratterizzata da una particolare frequenza che la distingue da tutte le altre portanti, e dotata di una energia che le consente di poter essere correttamente ricevuta anche a grande distanza dal trasmettitore.

Slide 13

Se vogliamo comprendere come funziona l'invio a distanza dell'informazione sulle onde radio, dobbiamo cercare di intuire le funzionalità presenti in un collegamento radio.

Prendiamo un semplicissimo caso di trasmissione telegrafica: abbiamo un generatore elettronico della frequenza portante, che verrà trasferita ad un amplificatore di potenza tramite un interruttore rappresentato dal tasto telegrafico. L'amplificatore accresce la potenza dell'onda, senza modificarne la forma, e la applica all'antenna trasmittente, che può essere semplicemente un filo oppure una struttura più complessa (conosciamo bene le antenne TV) capace di irradiare nello spazio circostante un'onda elettromagnetica che avrà porterà come contenuto informativo il messaggio generato mediante l'alfabeto Morse .

La parte ricevente del collegamento dovrà disporre di un'analogia antenna con funzione di captazione dell'onda elettromagnetica, che incanalata su un conduttore viene portata al ricevitore. Questo sarà composto da un filtro, capace di selezionare quella precisa frequenza fra tante altre; un amplificatore, per recuperare il piccolissimo livello di energia reso disponibile dall'antenna ricevente; questo livello sarà tanto minore quanto più lungo è il collegamento, e dipende dall'energia trasmessa dal terminale lontano. Avremo poi un rivelatore, che estrae dall'onda ricevuta il segnale Morse, e un opportuno circuito che rende udibili i punti e le linee.

Slide 14

Ciò che abbiamo fatto prende il nome di modulazione (sovrapponiamo il segnale di informazione alla portante) e demodulazione (estriamo dalla portante il segnale d'informazione). In altre parole, il segnale informativo non sarebbe in grado di propagarsi da solo a distanza; a questo fine, però, si rende essenziale il servizio reso dalla portante. In ricezione, la portante che ha terminato il suo servizio viene eliminata e si recupera come utile il solo segnale informativo.

Se il segnale da trasmettere è invece un segnale analogico continuo, come parola o musica, occorre considerare un **trasduttore** che traduca la vibrazione meccanica in un segnale perfettamente analogo, ma in forma elettrica. Questo segnale poi verrà applicato ad una portante opportunamente scelta mediante un processo di modulazione analogica, ad esempio una modulazione di frequenza. In ricezione, il segnale ricostruito potrà essere reso udibile mediante un trasduttore elettro-acustico, ad esempio un auricolare od un altoparlante.

Radio e TV sono sistemi di **diffusione Broadcast**, cioè gli impianti trasmettenti lanciano portanti modulate verso una moltitudine di utenti dotati di ricevitori, e quindi la trasmissione è unidirezionale. In genere le potenze trasmesse sono molto alte, ed il territorio è coperto su aree parecchio estese.

Slide 15

Le cose cambiano se consideriamo una rete cellulare: il telefonino è molto di più di un banale apparato ricetrasmittente. Possiamo individuare qualche particolare esigenza di una rete pubblica radiomobile?

1. Occorre una grande quantità di "canali fisici", che consentano alla rete di accogliere e ordinare molti utenti: quindi, capacità e qualità della conversazione. Ciò si realizza con la copertura cellulare del territorio.
2. Occorre garantire la continuità della conversazione quando un utente passa da una cella all'altra.
3. La rete deve sapere in tempo reale dove ogni utente si trova sul territorio, per consentire l'indirizzamento delle chiamate.
4. La rete deve garantire protezione verso la privacy della conversazione, mediante sistemi che impediscano eventuali ascolti abusivi
5. La rete deve verificare che l'accesso ai servizi offerti, sia concesso solo a chi è regolarmente registrato.

Slide 16

Queste esigenze complicano enormemente la rete, asservita peraltro a numerosi e grossi elaboratori che provvedono a memorizzare e a gestire grandi quantità di dati, oltre che a controllare l'efficienza e le funzionalità dell'intera rete.

Le antenne che vediamo attorno a noi, in cima a tralicci o pali, o spesso, in città, sulla vetta di palazzi, sono proprio il segno della presenza di questi impianti fissi, che consentono ai telefonini di conversare in **mobilità**. Non è difficile comprendere che la mobilità è possibile proprio grazie alle onde radio, che non hanno confini di spazio e che si muovono velocissime, portando a destinazione la nostra informazione.

Ogni utente deve necessariamente non solo ascoltare, ma anche parlare, e questo richiede che la comunicazione bidirezionale sia ottenuta ponendo ad ogni lato del collegamento sia un trasmettitore che un ricevitore. Il nostro telefonino quindi è dotato anche di un piccolo trasmettitore, e ciò fa comprendere perché emette radioonde.

Questo trasmettitore viene ricevuto da una stazione fissa, detta BTS - Base Transceiver Station - che quindi stabilisce un collegamento con il telefonino ogni volta che noi attiviamo una conversazione.

Senza che ce ne rendiamo conto, il nostro telefonino è sempre tenuto sotto controllo da una BTS, che ne gestisce la mobilità ed è pronta a stabilire una connessione quando generiamo o riceviamo una chiamata. Tra la BTS e la MS si stabilisce un canale radio bidirezionale, in cui due frequenze - opportunamente separate - realizzano due collegamenti detti up-link e down-link. Su queste due frequenze viene applicata la voce, opportunamente tradotta in segnale digitale.

Slide 17

Appare immediatamente che la mobilità dell'utenza pone il problema dello "sconfinamento" dalla cella, cioè del comportamento del sistema quando un utente in conversazione passa da una cella ad una adiacente. L'ipotesi che ciò avvenga aumenta in funzione della durata della conversazione e (in ragione inversa) della dimensione della cella.

La mobilità in ambito urbano e la tendenza a ridurre il diametro delle celle, fanno sì che un utente cambi cella più volte nell'arco di un minuto.

E' evidente pertanto la necessità di dotare il sistema radiomobile di una procedura che consenta di discriminare in modo rapido ed affidabile il suddetto sconfinamento, attuando tutte le azioni necessarie per non fare cadere la conversazione in corso. Ciò viene attuato dalla **procedura di HandOver**.

Slide 18

Un secondo problema offerto dalla mobilità dell'utenza riguarda la necessità di conoscere in tempo reale la posizione di ogni mobile attivo sul territorio, per poterlo rintracciare al fine di indirizzare con precisione le chiamate provenienti dalla rete fissa.

Tale funzione viene eseguita utilizzando le risorse informatiche di cui i sistemi radiomobili avanzati dispongono, in particolare registri di localizzazione nei quali la

posizione di ogni mobile venga continuamente aggiornata (**procedura di location updating**).

Slide 19

Una sistema radiomobile super-nazionale fondato su uno standard concordato, si basa sull'insieme di numerosi Gestori ciascuno dei quali realizza una rete nazionale offrendo prestazioni e servizi che, pur all'interno dello standard, possono differire da Gestore a Gestore.

Il **ROAMING** è la possibilità offerta ad un utente di essere sempre rintracciabile in qualunque punto del territorio coperto da quel determinato sistema radiomobile, anche se il servizio viene offerto da un Gestore diverso da quello presso cui l'utente si è sottoscritto. Si ha *Roaming nazionale*, quando avviene tra operatori della stessa Nazione, oppure *Roaming internazionale* quando avviene tra operatori di Stati diversi.

Per poter realizzare le procedure di roaming, sono necessari:

Slide 20

Le suddette procedure richiedono preventivamente che tutti gli apparati siano riconosciuti dalla rete, e pertanto questa, nella sua parte centralizzata di gestione e controllo, deve possedere una memoria nella quale siano presenti i dati degli utenti autorizzati ad esercitare azioni nella rete stessa.

E' opportuno ricordare, poi, che nell'ottica della deregulation ormai attiva in tutti gli stati moderni, l'esistenza di più Gestori fa sì che le cui reti sono per lo più sovrapposte in larga misura, utilizzano canali all'interno delle stesse bande di frequenza e sono accessibili da qualsiasi apparato venduto per quel determinato servizio. Poiché però un determinato mobile sarà necessariamente utente dell'uno o dell'altro Gestore, è ovvio che le due reti devono avere accessi differenziati e controllati. A tale fine, i canali esistenti in una determinata area vengono "marcati" con codici particolari da parte della rete che ne è proprietaria, in modo che i terminali portatili possano riconoscere automaticamente la rete a cui sono autorizzati ad accedere.

Slide 21

L'impatto della telefonia cellulare nella società umana crea tutta una serie di situazioni nuove e di comportamenti non codificati. Tuttavia non va dimenticato che la prima regola per una serena e pacata convivenza civile è il rispetto delle istituzioni e ancora prima il **rispetto delle persone** che ci circondano e dei loro diritti:

1. Spegnere il telefonino nei luoghi dove ciò è espressamente richiesto (aerei, ospedali, banche, centri sanitari, ecc.); probabilmente il rischio è che le emissioni dell'apparato vadano ad interferire con altri sensibili apparati elettronici.
2. Spegnere il telefonino in luoghi dove esistano pericoli di esplosione (depositi o aree di trasbordo per combustibili o prodotti chimici infiammabili, luoghi ove potrebbero accumularsi gas esplosivi). Si tratta di luoghi in cui di regola è richiesto di

spegnere i motori dei veicoli, e la ragione è che qualunque pur minima scintilla potrebbe provocare una detonazione.

3. Spegnere il telefonino o per lo meno azzerare il volume della chiamata quando si è in ambiente in cui per convenzione è richiesto il silenzio (cinema, teatro, chiesa, biblioteca).

4. Nelle riunioni il telefonino è giustamente considerato un elemento di disturbo all'attenzione e concentrazione richieste. È quindi corretto spegnerlo o comunque azzerare il volume, a meno di una autorizzazione concessa del chairman o conduttore della riunione su specifica richiesta.

5. È atto di grande correttezza chiedere all'interlocutore appena chiamato, se è libero di parlare. Ciò evita all'altro di dover prendere l'iniziativa di bloccare sul nascere la telefonata, qualora non si trovi nella possibilità di dedicarsi.

Slide 22

6. Quando si è in colloquio verbale diretto con altra persona, non dare sempre la priorità alle chiamate in arrivo, lasciando in attesa davanti a sé il precedente interlocutore; eventualmente accettare la chiamata dopo aver chiesto il permesso alla persona con cui si è in colloquio.

7. Non usare il telefonino quando questo pregiudica la propria sicurezza personale (guida, lavori manuali) e può di conseguenza pregiudicare la sicurezza di altri. In molti casi la sicurezza aumenta con l'impiego dell'auricolare, che lascia libere le mani.

8. Evitare di originare chiamate dai luoghi in cui il contatto con le persone è stretto (autobus, code), e comunque non usare voce alta qualora la telefonata debba necessariamente avvenire in mezzo alla gente.

9. Motivi di attenzione ai problemi degli altri e di solidarietà richiedono la disponibilità ad usare il proprio telefonino per motivi di emergenza o pubblica utilità, ed eventualmente a metterlo a disposizione di chi, in tali casi, ha urgente necessità di comunicare.

10. I cellulari registrano le chiamate pervenute, che non hanno avuto risposta causa la momentanea indisponibilità dell'utente. È buona regola richiamare il numero memorizzato, anche se ignoto.

Slide 23

Un altro non trascurabile problema è quello dell'impatto sanitario. Il mondo moderno è pieno di onde elettromagnetiche, che vengono generate attorno a noi e si propagano in un ambiente condiviso con persone fisiche. Un conduttore immerso in un campo elettromagnetico diventa sede di una corrente elettrica, e ciò è vero anche per tessuti biologici, che quindi raccolgono e dissipano energia. Le onde elettromagnetiche vengono utilizzate in tantissimi settori dell'attività umana: sistemi di radiodiffusione sonora e televisiva, sistemi di telefonia cellulare pubblica, e numerosi altri sistemi, che vanno dalle reti radio private, agli apparati militari, ai sistemi satellitari e

quant'altro. Si tratta di emissioni intenzionali, ovvero pensate per dare un servizio connesso con la possibilità di comunicare.

Ma esistono anche sorgenti non intenzionali: apparecchi per applicazioni biomedicali (marconiterapia, radarterapia, ipertermia) o per applicazioni industriali (riscaldatori a perdite dielettriche, a induzione magnetica, a microonde). Non va dimenticato il fondo elettromagnetico naturale e tutte le emissioni connesse con la presenza di circuiti elettrici ed elettronici, non ultimi i sistemi di accensione delle autovetture.

Slide 24

L'ambiente radioelettrico non ha proprietari né confini: è un ambiente aperto, condiviso, in cui tutte le emissioni naturali e artificiali convivono e si diffondono. Questo ambiente è condiviso non solo da sistemi che generano ed utilizzano campi elettrici e magnetici, bensì anche dall'uomo e da altri organismi biologici che con tali campi si trovano a convivere. Un conduttore immerso in un campo elettrico/magnetico raccoglie e dissipa energia; se ciò è vero per i sistemi di telecomunicazione, lo è anche per tessuti biologici quando sono investiti da una qualsiasi forma di energia radiante.

I livelli di esposizione sono aumentati negli ultimi cento anni di molti ordini di grandezza: in larga approssimazione tale crescita è pari a **un ordine di grandezza ogni dieci anni**. Ciò ha favorito la diffusione popolare di termini come "elettrosmog" o "inquinamento elettromagnetico". L'energia elettromagnetica viene percepita come una forma subdola di inquinamento, in quanto non visibile e non percepibile; ma è anche bene chiarire subito che tale energia viene diffusa nell'ambiente per compiere un servizio, un servizio per di più pregiato, richiesto e ormai inalienabile.

Non ha quindi niente da spartire col concetto di inquinamento comunemente inteso, tale per cui scorie di lavorazione o prodotti secondari di processi industriali rappresentano inquinamento quando vengono diffusi o abbandonati nell'ambiente, per lo più contravvenendo a norme di protezione dell'ambiente e della salute umana, e quindi creando reali condizioni di rischio.

Slide 25

Nel campo della protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti capita d'incontrare parole come **interazione**, **effetto biologico**, **danno**, che sembrano riflettere una certa confusione di concetti. Quando un organismo interagisce con campi elettromagnetici il suo equilibrio viene perturbato, ma questo non si traduce automaticamente in un *effetto biologico* apprezzabile e ancora meno in un *danno*. Si parla infatti di *effetto biologico* solo in presenza di variazioni morfologiche o funzionali a carico di strutture di livello superiore.

E non sempre un **effetto biologico** comporta necessariamente un **danno alla salute**. Per poter parlare di danno occorre infatti che l'effetto biologico superi i limiti di efficacia dei meccanismi di adattamento dell'organismo, meccanismi le cui caratteristiche variano con l'età, il sesso, lo stato di salute, il tipo e il grado di attività

del soggetto, nonché con le condizioni ambientali esterne, e ovviamente, dall'intensità della radiazione incidente sul soggetto.

Per misurare in modo valido gli effetti dell'esposizione a campi elettromagnetici di organismi biologici occorrono parametri specifici, in base ai quali dovrà poi essere possibile valutare anche gli effetti indotti dall'irradiazione. Per le radiazioni e.m. questo parametro è il **SAR** (Specific Absorption Rate, ovvero, *tasso di assorbimento specifico*) definito come la quantità di energia trasferita all'unità di massa di un sistema biologico; 1 SAR equivale alla potenza assorbita dai tessuti fisiologici in **Watt per Kilogrammo** di peso corporeo.

Slide 26

Resta il fatto che il mondo scientifico ha preso molto seriamente a cuore il problema dell'impatto elettromagnetico, e ne ha suddiviso gli effetti in due fondamentali categorie.

- Gli effetti a breve termine: l'energia che investe un organismo biologico viene dissipata nei tessuti e ciò ha come conseguenza un innalzamento della temperatura del tessuto interessato. Questo effetto non ha conseguenze grazie alla termoregolazione presente nell'organismo umano.
- Gli effetti a lungo termine, individuabili in malattie degenerative; su questi effetti la scienza sta percorrendo un cammino lungo e difficile, e ad oggi non ha ancora una parola definitiva da dire. La risposta può giungere solo dopo lunghe e pazienti indagini epidemiologiche, condotte su tessuti vivi - in vitro - e su cavie - in vivo - , su un numero molto elevato di campioni, e devono essere ripetibili in laboratori diversi.

Slide 27

In questa situazione, sarebbe da incoscienti far finta di niente: un rischio probabilmente esiste davvero, e la sua entità ci dovrà essere detta dagli scienziati, fisici e biologi.

Nei tempi in cui viviamo, molte tecnologie e processi industriali creano rischi per la salute, e a fronte della non conoscenza dell'entità del rischio, è prassi comune applicare il **principio di precauzione**. Nel nostro caso, questo principio impone che i valori di campo elettromagnetico siano tenuti ai livelli più bassi che sia possibile, compatibilmente con l'efficienza del servizio, al fine di minimizzare l'esposizione della popolazione.

Slide 28

In Italia sono proliferate emittenti radio e televisive in numero esagerato: più di 2400 radio e 700 televisioni (pari a 1/3 di quelle presenti in tutto il mondo), spesso troppo vicine a case di civile abitazione o ad edifici pubblici. Nel Gennaio 1999 è entrato in vigore il **Decreto legge n. 381 del 10 Settembre 1998**, che fissa i limiti

di esposizione a cui può essere sottoposta la popolazione civile secondo i valori riportati nella tabella.

I valori indicati devono considerarsi applicati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano;

- si riferiscono ad una esposizione di durata continua di sei minuti;
- non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali; questi lavoratori sono definiti come persone adulte, consapevoli di essere esposte a rischio e capaci di adottare determinate precauzioni, quindi meno indifese della generica popolazione civile. I limiti di esposizione per i lavoratori, nelle legislazioni di molte Nazioni, sono di regola superiori di cinque volte rispetto ai limiti validi per il pubblico;
- si abbassano in prossimità di scuole e ospedali, in cui il valore di campo elettrico da non superare, indipendentemente dalla frequenza, è pari a 6 V/m.

Slide 29

Il campo irradiato è massimo in corrispondenza dell'antenna trasmittente e si attenua in funzione della distanza. E' possibile identificare i **confini di pericolosità** degli impianti radianti utilizzando un misuratore di campo che permetta di intercettare attorno all'antenna, punti in cui il campo assume un determinato valore limite, tipicamente quello pari a **20 V/m** imposto dal **D.L. 381/98**. Il luogo dei punti che si viene a formare attorno all'antenna disegna il **volume di rispetto**, che deve essere interdetto alla popolazione. Va osservato che le antenne, per ovvie esigenze di propagazione, sono sempre posizionate in alto, e la direttrice di massima emissione è all'incirca parallela al terreno; con ciò si può affermare sotto ad un'antenna si riscontra un minimo di radiazione, mentre il massimo si ha di fronte all'antenna. In ogni caso il livello di esposizione dipende dalla potenza emessa dalle antenne, che è particolarmente elevata nel caso di impianti di diffusione radiofonica e televisiva e che quindi esigono distanze di rispetto proporzionalmente elevate. Quindi il Gestore si preoccuperà di porre le antenne ad una altezza tale che il volume di rispetto a 6 V/m non possa essere raggiunto dalle persone. Resta l'ovvia opportunità di effettuare misure dei campi elettromagnetici nei luoghi di vita, soprattutto in quelli ove risiede la popolazione più a rischio (bambini, anziani, malati) per verificare che in nessun punto i limiti vengano oltrepassati.

Slide 30

La slide mostra due tipici esempi di linee isolivello di campo elettrico nelle vicinanze di due antenne trasmittenti: nel primo caso si tratta di un sito di telefonia cellulare posto sulla sommità di un palazzo civile di abitazione, nel secondo caso si tratta di un insediamento multiplo di trasmettitori FM e TV posti in cima ad una collina.

Le linee in colore sono ottenute individuando attorno all'antenna irradiante, il luogo dei punti in cui il campo elettrico assume il preciso livello dichiarato nella didascalia. E' ovvio che le linee a maggior livello si chiudono su uno spazio decisamente più ristretto rispetto a quelle a livello minore. Appare anche chiaramente la differenza nei due casi,

dell'estensione della linea isolivello, dovuta ovviamente alla grande differenza di potenza tra i due impianti.

Slide 31

La misura più semplice si effettua con uno strumento **misuratore a larga banda**: ciò significa che è in grado di dare un risultato cumulativo di tutte le emissioni presenti nel luogo di misura. Il valore che esso fornisce, espresso in Volt/metro, è direttamente confrontabile con il limite imposto dalla legge.

La misura richiede precise modalità: va mediata spazialmente, ovvero si richiede di eseguire due misure ad altezza diverse, per verificare l'impatto su bambini e adulti. Inoltre va mediata nel tempo, per tenere conto dell'inerzia termica dei tessuti esposti, che richiedono alcuni minuti per andare a regime termico. Quindi la misura deve essere mediata su 6 minuti.

Slide 32

Con lo stesso principio del misuratore a larga banda sono realizzate le centraline per la rete di monitoraggio. Questa rete, prevista dal Ministero delle Comunicazioni su base nazionale, mira a effettuare un rilievo continuo dei livelli di campo elettromagnetico in numerosi punti del territorio, in modo da dare ai cittadini la possibilità di conoscere quasi in tempo reale valori relativi all'impatto elettromagnetico localizzati proprio nelle zone di interesse, e di verificarne l'andamento nel tempo.

Le centraline sono piccole ed autonome, sia per quanto riguarda l'alimentazione (batterie + celle solari), sia per quanto riguarda l'invio dei dati al server che funge da banca-dati.

Slide 33

Ma, nel caso che la soglia di 6 V/m venga superata, occorre eseguire misure molto più dettagliate, con attrezzature sofisticate, in grado di individuare tutti i contributi emessi da Gestori anche assai diversi.

La misura in questo caso, si chiama selettiva o **misura a banda stretta**, ed impiega uno strumento detto analizzatore di spettro, capace di discriminare segnali anche piuttosto vicini in frequenza, ed un'antenna a larga banda, in grado di raccogliere tutti i segnali presenti nell'ambiente, provenienti da tutte le possibili direzioni. Si nota l'antenna, un sensore con banda molto estesa, posto su sostegno dielettrico ad un'altezza di m. 1,50 dal suolo.

Il segnale ricevuto dall'antenna arriva, tramite il cavo coassiale, all'analizzatore che misura con precisione frequenza ed ampiezza di ogni componente, e le mostra sul display.

Slide 34

Il banco per misure selettive impiega l'analizzatore di spettro, per le sue spiccate caratteristiche di selettività, cioè di separazione di segnali differenziati in frequenza.

La scansione dello spettro è ottenuta grazie ad una base dei tempi lineare, che sposta virtualmente una "finestra di misura", la cui larghezza di banda determina la definizione spettrale, ovvero la capacità di discernere righe anche molto ravvicinate.

Il range di scansione, determina l'ampiezza della banda a RF misurata dall'analizzatore di spettro. Viene definito il fondo scala, in funzione dell'intensità dei segnali presenti nella zona, ed anche il parametro BW (Bandwidth) che determina la selettività della misura.

A questo punto, identificate le emittenti e misurate i loro contributi, vengono applicate formule di riduzione di potenza che, doverosamente applicate dai Gestori, dovranno dare il risultato di portare sotto la soglia voluta il campo elettromagnetico complessivo.

Slide 34

Con lo stesso principio del misuratore a larga banda sono realizzate le centraline per la rete di monitoraggio. Questa rete, prevista dal Ministero delle Comunicazioni su base nazionale, mira a effettuare un rilievo continuo dei livelli di campo elettromagnetico in numerosi punti del territorio, in modo da dare ai cittadini la possibilità di conoscere quasi in tempo reale valori relativi all'impatto elettromagnetico localizzati proprio nelle zone di interesse, e di verificarne l'andamento nel tempo.

Le centraline sono piccole ed autonome, sia per quanto riguarda l'alimentazione (batterie + celle solari), sia per quanto riguarda l'invio dei dati al server che funge da banca-dati.