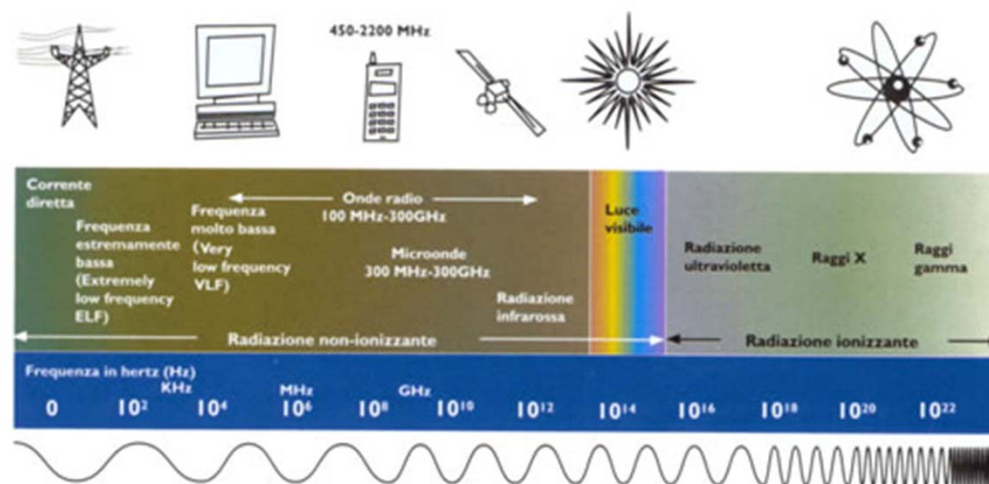

Misura dei Campi Elettromagnetici diffusi nell'ambiente

Il problema dell'impatto elettromagnetico

- Lo spazio interessato alla propagazione delle onde radioelettriche è un **ambiente condiviso**, non solo da apparati, ma anche da persone
- Consideriamo le **emissioni intenzionali**:
 - Sistemi di radiodiffusione sonora e televisiva
 - Sistemi di telefonia cellulare pubblica
 - Reti radio private
 - Apparati militari di telecomunicazione
 - Sistemi satellitarima anche le **sorgenti radio non intenzionali**:
 - Apparecchi per applicazioni biomedicali (marconiterapia, radarterapia, ipertermia)
 - Apparecchi per applicazioni industriali (riscaldatori a perdite dielettriche, a induzione magnetica, a microonde)
 - Fondo elettromagnetico naturale
 - Emissioni connesse con la presenza di circuiti elettrici ed elettronici (non ultimi i sistemi di accensione delle autovetture)
 - etc.

Il problema dell'impatto elettromagnetico

- Lo *spettro elettromagnetico* può essere diviso in due regioni: **radiazioni non ionizzanti** (NIR = Non Ionizing Radiations) e **radiazioni ionizzanti** (IR = Ionizing Radiations) a seconda che l'energia trasportata dalle onde elettromagnetiche sia o meno sufficiente a ionizzare gli atomi, cioè a strappar loro gli elettroni e quindi a rompere i legami atomici che tengono unite le molecole nelle cellule.



E' alle radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti con frequenza inferiore a quella della luce infrarossa che ci si riferisce quando si parla di inquinamento elettromagnetico.

Il problema dell'impatto elettromagnetico

Un'altra distinzione all'interno delle radiazioni non ionizzanti viene fatta tra:

- **Frequenze estremamente basse (ELF – Extremely Low Frequency)** con frequenza minore di 300Hz:
 - elettrodomestici, elettrodotti, impianti elettrici, etc.
 - viene di solito misurato il campo magnetico in quanto, alle basse frequenze, la componente magnetica si propaga praticamente inalterata attraverso i muri e gli ostacoli di varia natura, mentre il campo elettrico è facilmente schermato dalle pareti e dal terreno.
- **Radiofrequenze (RF – Radio Frequency)**, comprese tra 300KHz e 300GHz, che includono anche le microonde (frequenze > 300MHz).
 - cellulari, stazioni radio base, radar, ripetitori radio-televisivi, etc.
 - viene di solito misurato il campo elettrico

La distinzione fra emissioni a bassa ed alta frequenza è essenziale perché diversi sono i meccanismi di interazione con la materia vivente.

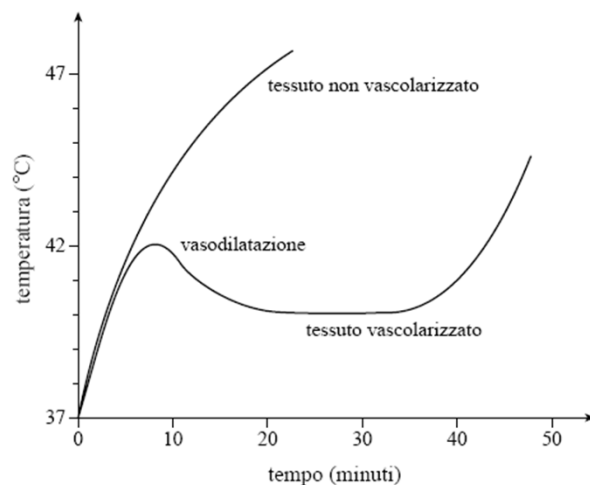
Il problema dell'impatto elettromagnetico

- **$100\text{KHz} < f < 20\text{MHz}$** l'assorbimento cresce con f ed è significativo nelle zone del collo e delle gambe
- **$20\text{MHz} < f < 300\text{MHz}$** elevati valori di assorbimento possono presentarsi in tutto il corpo; ci possono essere anche risonanze parziali
- **$300\text{MHz} < f < \text{diversi GHz}$** significativo assorbimento locale e non uniforme
- **$f > 10\text{GHz}$** assorbimento superficiale: la profondità di penetrazione nel tessuto è piccola

Il problema dell'impatto elettromagnetico

L'energia elettromagnetica, una volta assorbita, viene infine e comunque convertita in energia termica (calore). A seconda se l'effetto termico sia rilevante oppure no, si è soliti parlare di effetti termici oppure di effetti non termici .

- **Effetti termici** : la conversione in calore, che come abbiamo visto è un effetto sempre associato all'assorbimento di energia EM, può avvenire con o senza un apprezzabile rialzo della temperatura corporea.



Andamento della variazione di temperatura in vari tipi di tessuto biologico esposto a campi EM

- L'organismo reagisce all'immissione di calore cercando di eliminare quello in eccesso e mantenere la propria temperatura costante.
- Il trasferimento di calore all'interno del corpo avviene in minor parte per *conduzione termica* attraverso i tessuti e in misura maggiore per trasporto (*convezione forzata*) da parte dei fluidi organici (essenzialmente il sangue)
- nei tessuti vascolarizzati il flusso sanguigno permette efficaci scambi termici tra le varie parti indipendentemente dalla presenza di gradienti termici.

Il problema dell'impatto elettromagnetico

- **Effetti non termici** : l'assorbimento di energia EM può dar luogo, anche ad altri effetti che possono avere rilevanza biologica, anche se non è detto che essi debbono essere necessariamente interpretati come dannosi. Si deve anche precisare che, circa questi effetti, non tutti gli studiosi sono sempre d'accordo sulla loro entità e, talvolta, addirittura sulla loro esistenza.
 - *microtermici* (sensazione uditiva che si verifica in seguito a esposizione a microonde modulate ad impulsi, es. emissioni radar → conversione termoelastica)
 - *meccanismi a livello molecolare* (rotazioni delle molecole di acqua compresa acqua legata, meccanismo d'azione: polarizzazione di orientamento)
 - *interazioni a livello cellulare*: possibile azione del c.e. sulle membrane cellulari (formazione del potenziale di membrana)

Il problema dell'impatto elettromagnetico

La **DOSIMETRIA** quantifica l'interazione tra un campo elettromagnetico (EM) e un corpo biologico ad esso esposto.

Il problema della dosimetria dei campi EM non ionizzanti consiste cioè nella:

- quantificazione della potenza assorbita da un organismo biologico immerso in un campo EM;
- determinazione della distribuzione di tale potenza nell'organismo esposto.

SAR (Specific Absorption Rate), che esprime la potenza assorbita per unità di massa (W/kg) ed è dato dalla seguente espressione:

$$SAR = \frac{1}{2\rho} \sigma E^2$$

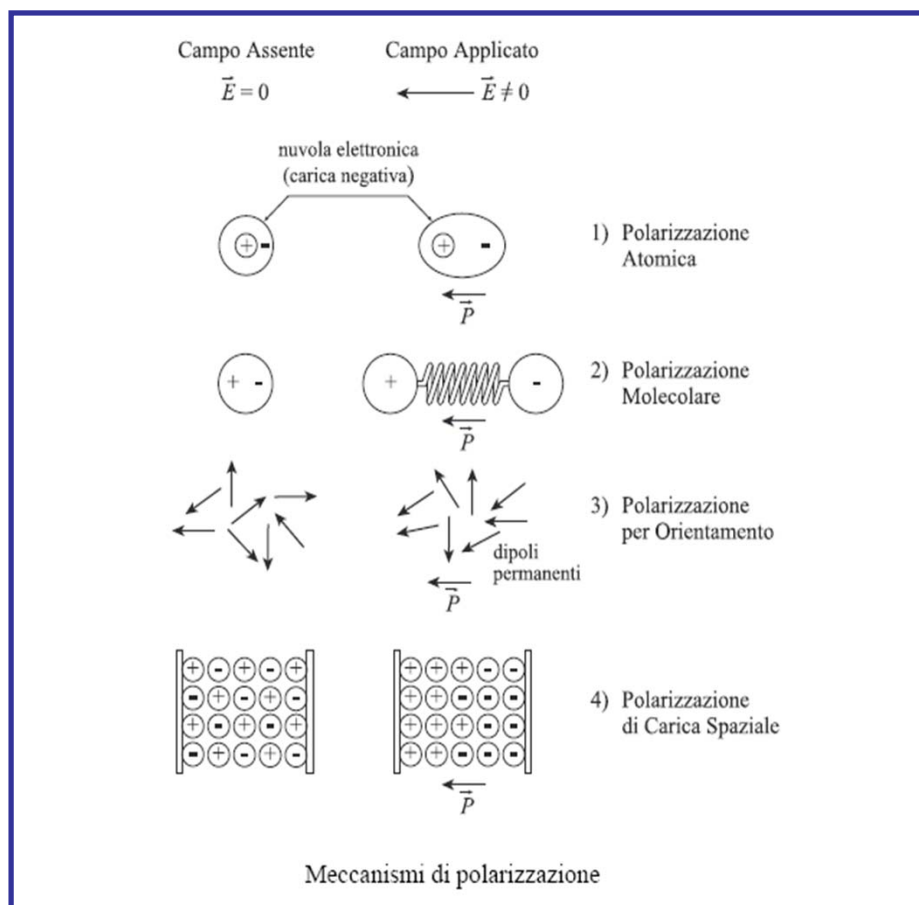
dove: E = campo elettrico interno (valore di picco) (V/m)

ρ = densità del tessuto biologico (kg/m³)

σ = conducibilità del tessuto biologico (S/m)

Il problema dell'impatto elettromagnetico

Interazione dei campi EM con la materia vivente.



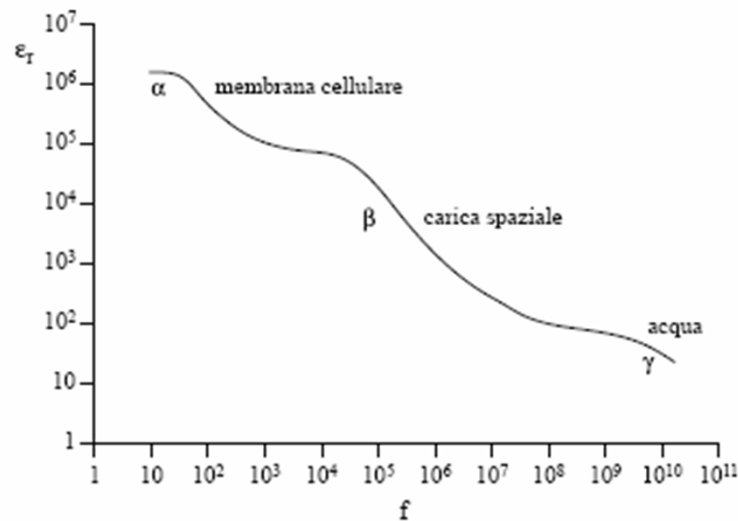
- La materia può essere considerata come un enorme aggregato di particelle portatrici di carica elettrica.
- Ogni molecola si presenta globalmente neutra: elettroni e ioni, detti anche portatori di carica, quando sono soggetti ad un campo elettrico e se sono liberi di muoversi, danno luogo ad una corrente elettrica.
 - conductibilità σ
- In un atomo o in una molecola, globalmente neutri, le cariche elettriche positive in genere non si sovrappongono esattamente nello spazio alle cariche negative.
 - dipolo elettrico: *indotto* o *permanente*
- vettore di polarizzazione; suscettività elettrica; induzione elettrica

$$\underline{P} = \epsilon_0 \chi \underline{E} \quad \underline{D} = \epsilon_0 \underline{E} + \underline{P} \quad D = \epsilon_0 (1 + \chi) \underline{E} = \epsilon \underline{E}$$
- costante dielettrica relativa (χ : contributo dei dipoli alla costante dielettrica)

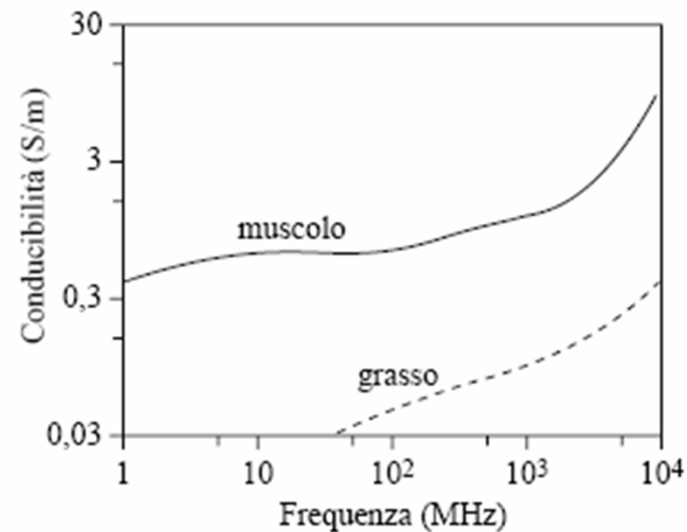
$$\epsilon_r = (1 + \chi)$$

Il problema dell'impatto elettromagnetico

Caratteristiche elettriche dei tessuti biologici.

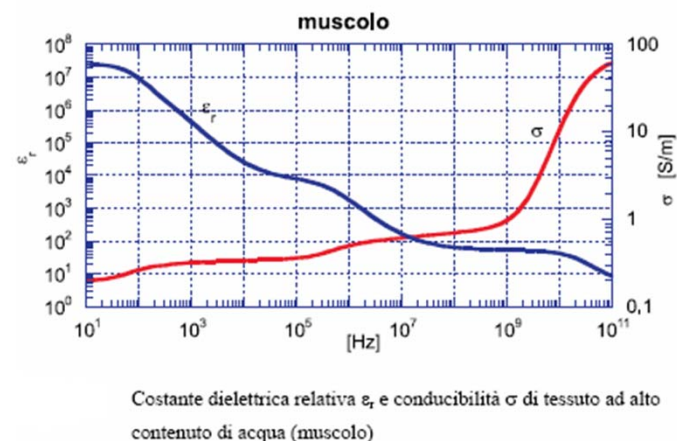
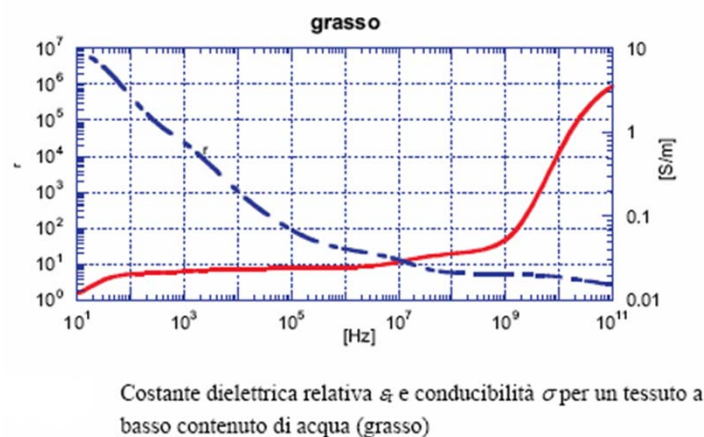


Andamento della costante dielettrica di un tessuto biologico al variare della frequenza f

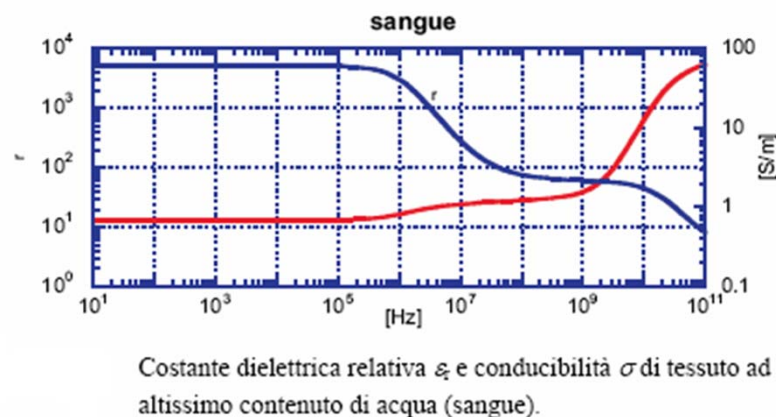


Conducibilità dei tessuti biologici nella gamma 1 MHz ÷ 10 GHz

Il problema dell'impatto elettromagnetico

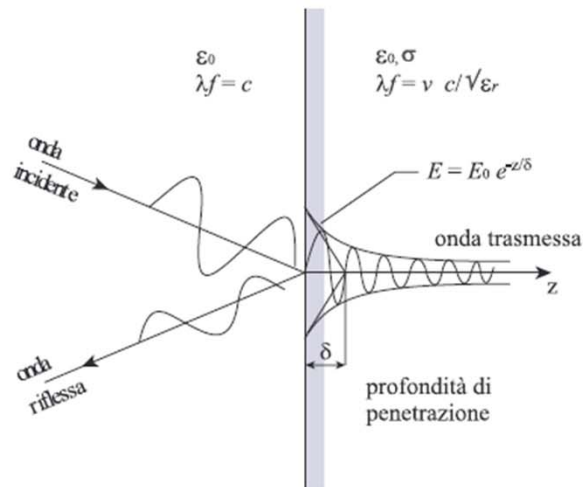


Nel caso dei tessuti biologici, l'elemento di maggior significato per le loro proprietà elettriche è senz'altro l'acqua → le caratteristiche elettriche dei vari tessuti biologici sono strettamente correlate con la percentuale di acqua in essi contenuta (basse frequenze: proprietà strutturali).

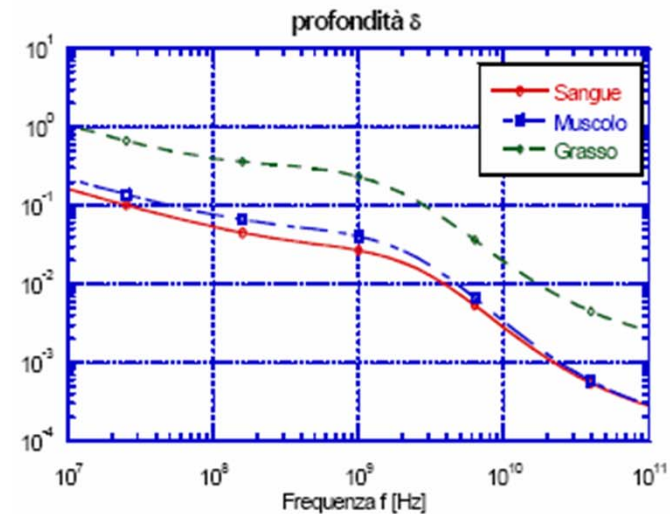


Il problema dell'impatto elettromagnetico

Propagazione e assorbimento dei campi EM nei tessuti.



Rappresentazione di un'onda che incide sulla superficie di separazione fra due mezzi di differenti caratteristiche dielettriche (il secondo con perdite). L'onda in parte si riflette nel mezzo di provenienza e in parte penetra nel successivo

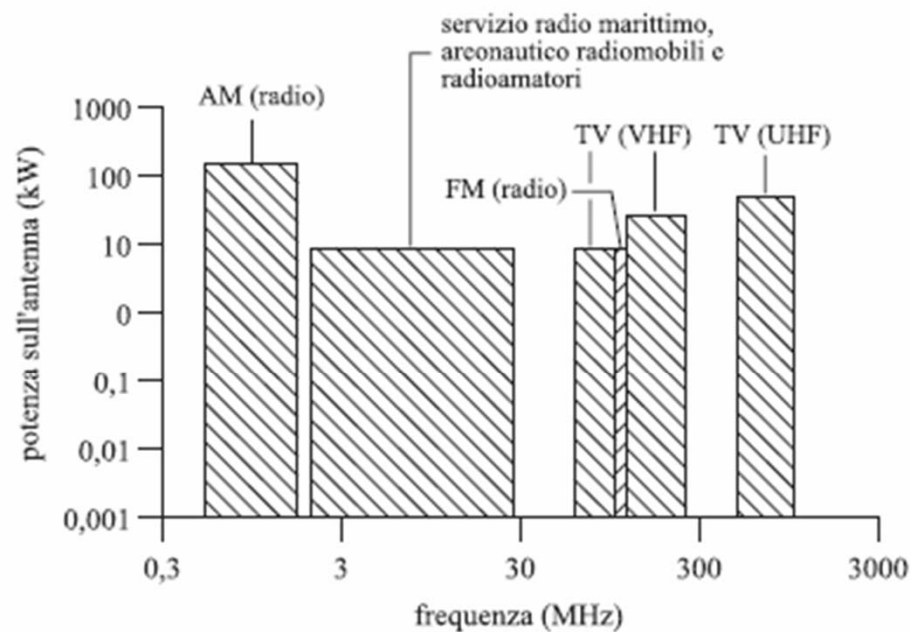
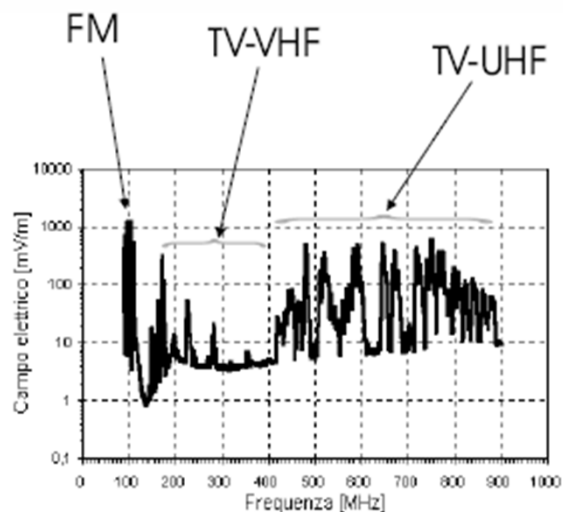


Profondità di penetrazione al variare della frequenza per sangue, muscolo e tessuto adiposo (rappresentativi di un tessuto ad altissimo, alto e basso contenuto di acqua).

Il problema dell'impatto elettromagnetico

Classificazione delle sorgenti NIR :

- Macchine per il riscaldamento industriale
- Apparati per telecomunicazioni
- Radar, radioaiuti alla navigazione
- Applicazioni biomedicali
- Sistemi di controllo a RF e MO



Allocazione in frequenza e potenze massime tipiche degli apparati a diffusione.

Il problema dell'impatto elettromagnetico

- 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***.
- La presenza di Campi E.M. nell'ambiente è percepita come indesiderata, relativamente a due aspetti:
 - *Campi EM anche di modesta entità possono provocare malfunzionamenti ad altri apparati elettronici od elettrici*
 - *Si sospetta che i Campi EM di una certa entità possano determinare effetti biologici sugli organismi viventi.*
- **Compatibilità** tra apparati:
 - **Suscettibilità:** *definisce il disturbo percepito da un oggetto con funzionalità elettriche quando investito da campi presenti nell'ambiente in cui esso opera*
 - **Emissione:** *definisce e quantizza di che tipo e di che intensità siano le radiazioni non intenzionali prodotte da un determinato apparato elettrico o elettronico.*

Il problema dell'impatto elettromagnetico

- Si parla di esposizione quando si introduce il concetto soggettivo di persona investita dalla radiazione elettromagnetica.
- L'**entità** delle **emissioni naturali** nella gamma delle **radiazioni non ionizzanti** è dell'ordine di circa $10pW/cm^2$, valore del tutto trascurabile rispetto all'intensità delle **radiazioni** prodotte da **sorgenti artificiali**, che risultano superiori di **6 ÷ 12 ordini di grandezza**.
- Da ciò l'attuale **sensibilità sociale**, proprio perché l'**esposizione** ai campi elettrici e magnetici ha come conseguenza un **assorbimento di energia elettromagnetica nei tessuti del corpo umano**, con possibili **implicazioni sanitarie**.

Il problema dell'impatto elettromagnetico

Il problema:

- Esiste un rischio sanitario
- La percezione del rischio genera timori ed apprensione nella popolazione
- Tutto ciò viene ingigantito dal forte impatto visivo delle antenne nel territorio.
- Si ingenera un conflitto tra Operatori, Amministrazioni e Popolazione

Considerando che:

- Gli impianti radianti non si possono spegnere
- La gravità del rischio è direttamente connessa con la quantità di energia elettromagnetica

Una ragionevole via d'uscita:

- Definire (con azione normativa) valori limiti da non superare
- Tenere sotto controllo nel territorio la distribuzione dei campi elettromagnetici
- Mantenere sempre attivo il principio di precauzione

Strumentazione per la misura dei campi

Problemi:

- difficoltà a reperire sensori commerciali adatti alla frequenza, all'intensità ed al tipo di campo (elettrico o magnetico) in gioco
- distribuzioni di campo a struttura complessa (zona di induzione, zona di Fresnel, prossimità di masse metalliche, riflessioni, interferenze etc.);
- perturbazioni dovute alla presenza dell'operatore o della attrezzatura;
- scarsa affidabilità di certa strumentazione commerciale, pur molto diffusa in ambito protezionistico.

Tecniche:

- Misure a BANDA LARGA
- Misure a BANDA STRETTA

Strumentazione per la misura dei campi

Misure a BANDA LARGA:

- Quando possibile, è da preferire: il valore che si ottiene esprime in maniera sintetica il campo a cui è esposta una persona nel punto di misura
- Forniscono un **unico valore** che indica il livello **complessivo** del campo elettromagnetico presente nel punto di misura
- La strumentazione è di ingombro ridotto e facilmente trasportabile
- Le procedure di misura sono relativamente semplici, facili e veloci
- Forniscono risultati immediati e di facile interpretazione

Misure a BANDA STRETTA:

- Richiedono strumentazione costosa e notevole competenza da parte dell'operatore
- Permettono una caratterizzazione completa delle situazioni complesse

→ Quando sono presenti emissioni in bande di frequenza per le quali i valori limite sono differenti

→ Quando, in caso di superamento dei limiti, è necessario stabilire il contributo specifico di ciascuna sorgente

Strumentazione per la misura dei campi

Gli strumenti per la misura dei campi e.m. sono costituiti da:

- ***Sonda/Sensore***
 - Deve rispondere ad un solo parametro caratteristico del campo
 - Deve avere piccole dimensioni alla massima frequenza di misura
 - Deve essere caratterizzata
 - Deve avere incertezza nota
- ***Cavo di collegamento***
 - Non deve perturbare in modo significativo il campo
 - Non deve accoppiarsi al campo (i.e. rilevarlo)
- ***Unità di lettura/elaborazione***



Struttura tipica di un apparato per misure a RF e MW.

Procedura di misura a larga banda

Strumentazione per misure a larga banda

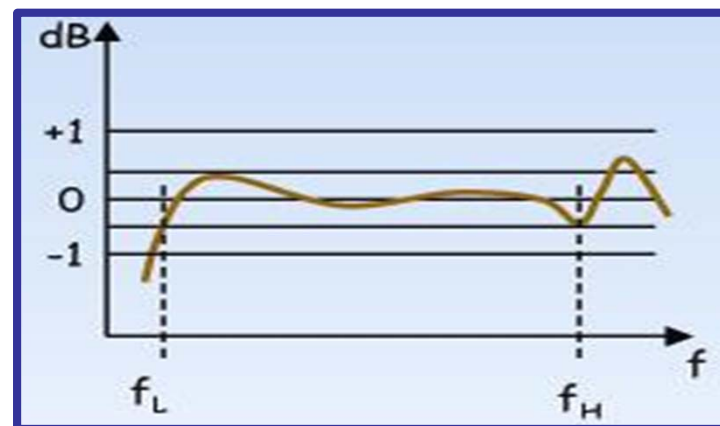
Set di misura a larga banda:

- Mainframe con display
- Sensore triassiale a larga banda
- Cavalletto dielettrico e telescopico



Caratteristiche del sensore:

1. Risposta in ampiezza uniforme su una banda molto estesa



Il sensore infatti deve rivelare l'ampiezza di segnali radioelettrici comunque distribuiti all'interno di una banda che, secondo il **D.M. 381/98**, deve essere compresa tra **100 KHz e 3000 MHz**

Procedura di misura a larga banda

Strumentazione per misure a larga banda

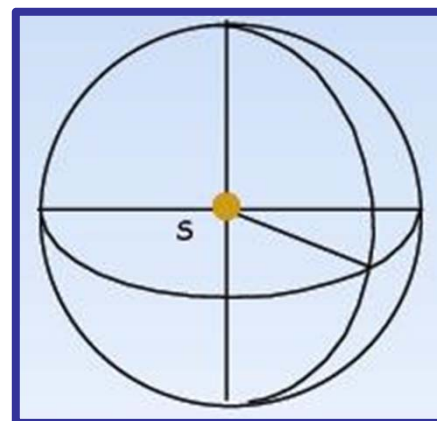
Set di misura a larga banda:

- Mainframe con display
- Sensore triassiale a larga banda
- Cavalletto dielettrico e telescopico



Caratteristiche del sensore:

2. Risposta in ampiezza nel rispetto della isotropia spaziale



Il sensore deve essere capace di rilevare con precisione l'ampiezza di qualunque segnale radioelettrico, indipendentemente:

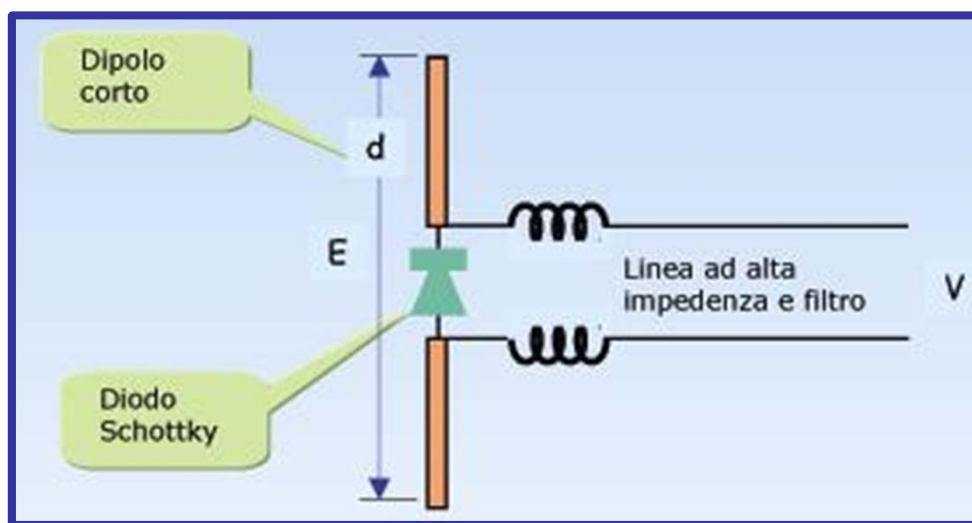
- dalla sua **polarizzazione**
- dalla **direzione di provenienza**

Procedura di misura a larga banda

Strumentazione per misure a larga banda

Sensori di campo elettrico a larga banda:

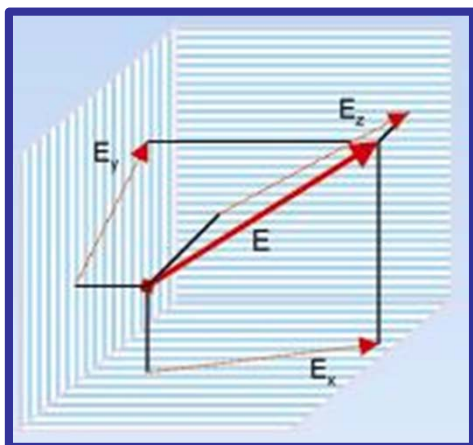
- Dipoli corti, ovvero aventi $d \ll \lambda/2$ caricati direttamente con diodi rivelatori
- La **tensione a vuoto** (fino a qualche centinaio di MHz) vale: $V = E \cdot d/2$



Il **valore medio** della tensione di uscita V è **direttamente proporzionale** al **quadrato** della **ampiezza del campo** che investe il sensore, purchè *l'ampiezza del segnale applicato al diodo sia tale da farlo operare in zona di legge quadratica (\leq circa $20 mV_{eff}$)*

Procedura di misura a larga banda

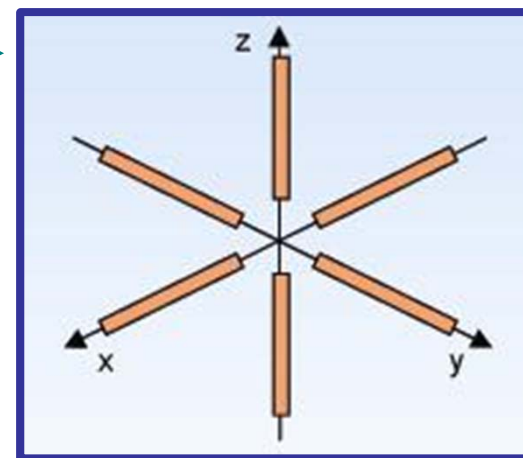
Strumentazione per misure a larga banda



Per **rilevare** l'ampiezza di una **portante** di cui non sia nota la **disposizione vettoriale**, occorre rilevare le **ampiezze delle componenti** su **tre assi ortogonali**, e farne la **somma quadratica**

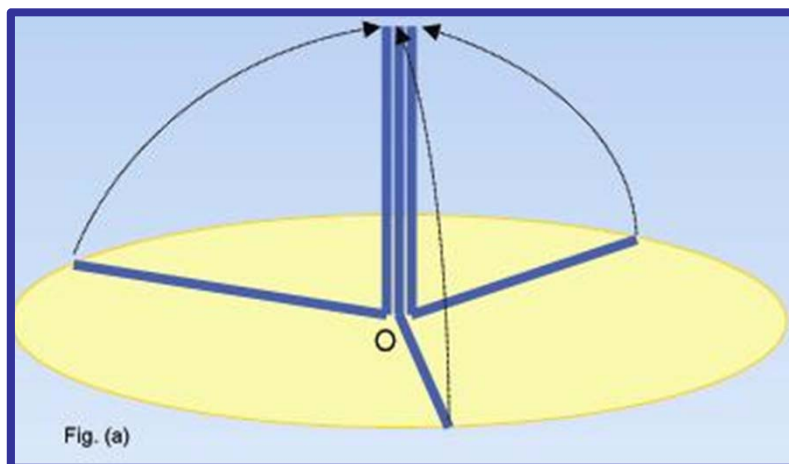
Un **sensore isotropico** si potrebbe realizzare con **tre dipoli lineari** il cui centro elettrico sia un punto **comune** alla terna.

Questa disposizione **non** risulta facilmente **realizzabile**, per cui si ricorre spesso ad una diversa soluzione, in cui i **dipoli** risultano **disposti su tre piani** reciprocamente **angolati di 120°** .



Procedura di misura a larga banda

Strumentazione per misure a larga banda



Il quesito che ci poniamo è **come realizzare la terna ortogonale** partendo da **tre dipoli** disposti su piani orientati reciprocamente con **angoli di 120°** .

Facendo **ruotare di 90°** , con centro in **O**, **tre segmenti** appoggiati sul **piano orizzontale**, essi finiranno per **sovrapporsi** andando a coincidere con l'asse del piano passante per **O**.

Nel corso di tale rotazione, l'**angolo reciproco tra i segmenti (β)** passerà gradatamente da **120° a 0°** , e attraverserà una posizione in cui **β assumerà il valore di 90°** . Tale **condizione** è correlata con l'**angolo di elevazione α** dei segmenti rispetto al piano di riferimento.

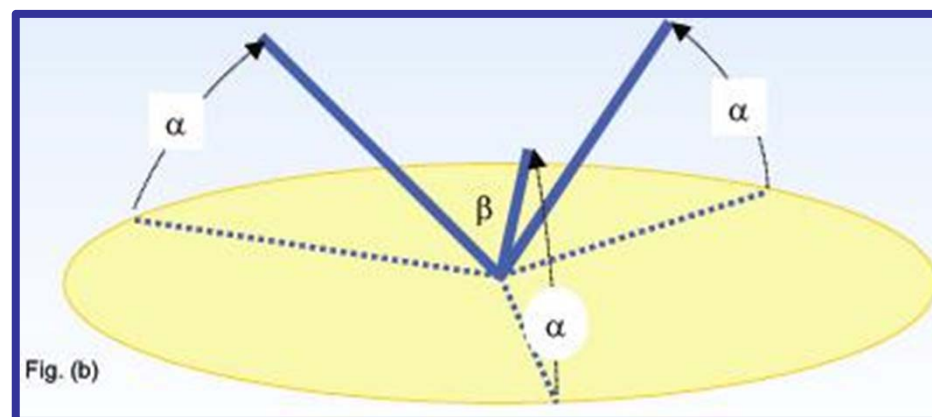


Fig. (b)

Procedura di misura a larga banda

Strumentazione per misure a larga banda

Occorre dunque **determinare** il valore di α .

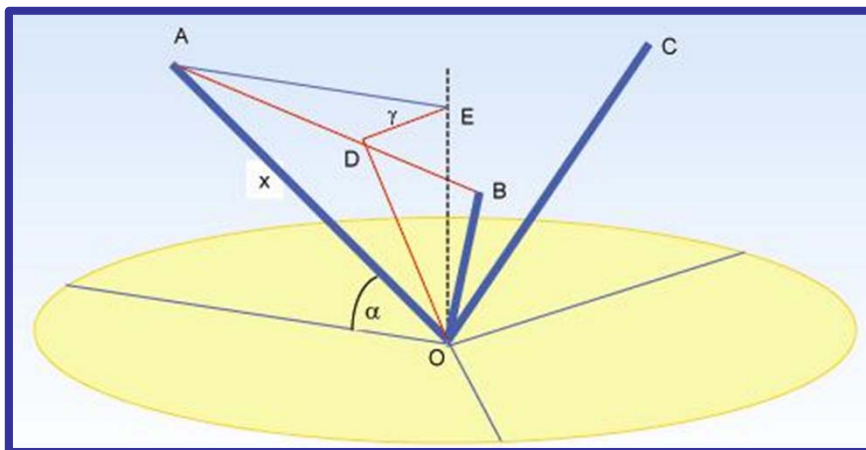
Il triangolo ADE è rettangolo, con angolo $\gamma(AED)$ pari a 60° . Il segmento $AE^{(*)}$ ha lunghezza pari a:

$$AE = AD / \sin \gamma = (x\sqrt{2} / 2) / \sin 60^\circ = x \cdot 0.8165$$

L'angolo in A del triangolo AOE corrisponde all'angolo α cercato, in quanto alterno interno (il segmento AE è parallelo al piano di riferimento):

$$\sin \alpha = AE / AO = x \cdot 0.8165 / x = 0.8165$$

da cui $\alpha = \arcsin 0.8165 = 54.74^\circ$

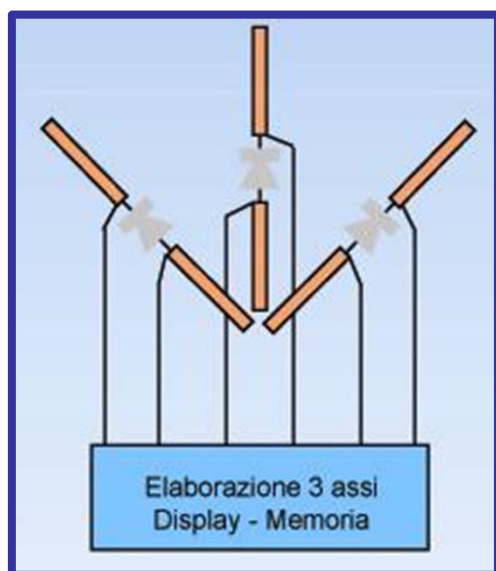


Risulta quindi che, nel caso in cui i tre segmenti presentino un angolo α di $54,74^\circ$, l'angolo tra segmento e segmento (β) è pari a 90° , realizzando così una terna allineata su tre assi ortogonali.

(*) Il triangolo AOB è rettangolo, ed è anzi la metà di un quadrato, essendo l'angolo AOB pari a 90° ed $AO=OB$, quindi AD è la metà della diagonale del quadrato

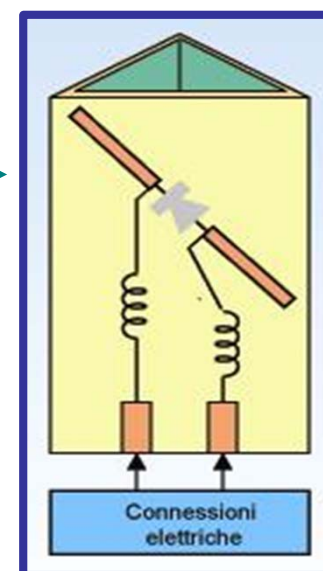
Procedura di misura a larga banda

Strumentazione per misure a larga banda



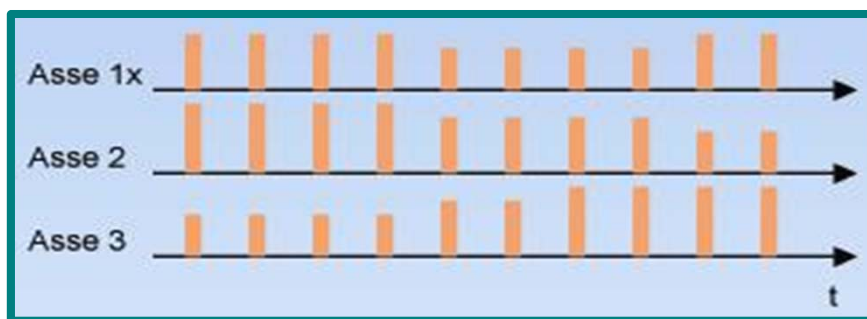
La geometria triassiale descritta si presta per realizzare un sensore isotropo. Si tratta dunque di realizzare un sistema di tre dipoli fra loro ortogonali, le cui uscite rivelate dai diodi posti al loro centro verranno elaborate da un circuito che eseguirà la funzione di valore quadratico medio

Una tipica disposizione prevede che ogni dipolo, insieme ai componenti correlati, venga stampato su una lastrina di vetroresina ramata, rispettando l'inclinazione di $54,74^\circ$. Tre lastrine disposte sui lati di un prisma equilatero realizzano la voluta configurazione isotropica, il cui centro di fase è sull'asse del prisma.



Procedura di misura a larga banda

Mediazione spaziale e temporale dei dati



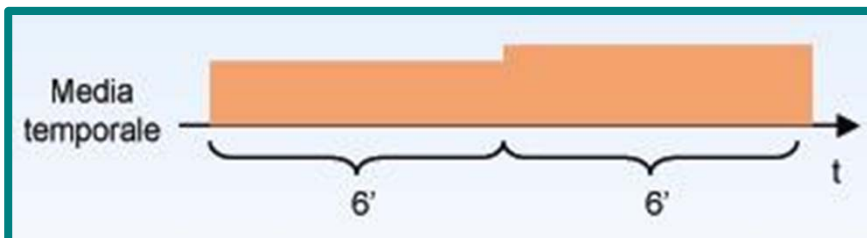
1° operazione:

Raccolta dei campioni sui singoli assi.



2° operazione:

Per ogni campione, calcolo del valore quadratico medio (valore isotropico)



3° operazione:

Calcolo del valore mediato su tempi compatibili con le necessità di presentazione (6').

Procedura di misura a larga banda

Esecuzione della misura a Larga Banda

- E'opportuno effettuare uno **studio preventivo del sito di misura**, per rendersi conto di quanti e quali impianti emittenti gravitino sull'area sottoposta a verifica, ed in particolare delle **potenze emesse**, del tipo di **antenne impiegate** e dell'**altezza da terra** del loro centro elettrico.
- La prima esigenza della misura a **Larga Banda** è la **scelta dei punti di misura**. Disponendo di una **carta topografica** sufficientemente dettagliata, è possibile individuare i **luoghi maggiormente sottoposti all'irradiazione**, sia in termini di **prossimità** e di **quota**, sia perché disposti lungo le **direttrici di massimo irraggiamento** dei sistemi radianti.

Procedura di misura a larga banda

Esecuzione della misura a Larga Banda

- Il **misuratore a Larga Banda** è facilmente trasportabile, e ciò favorisce la prima fase di misura: occorre, in via preventiva, **scansionare** l'area sottoposta a verifica con lo strumento acceso e portato manualmente nei luoghi individuati come **punti di misura**, ricercando i punti, all'interno delle aree sensibili, in cui il **campo elettrico presenta i valori più alti**. In tali punti verrà effettuata la **misura** rispettando le indicazioni del **DL 381/98**.
- Il **misuratore** verrà posto su un **supporto dielettrico**; verranno quindi effettuate **due misure**, col centro elettrico della sonda ad un'altezza rispettivamente a **1,10 m** e a **1,90 m**. Se la **differenza tra le due misure** è maggiore del **25%**, occorre effettuare una **terza misura** con la sonda a **1,50 m**. Il **risultato** della misura, in questo caso, sarà dato dalla **media** dei tre valori rilevati.
- In ogni punti di misura, e per ciascuna delle altezze della sonda, la **misura** deve avere **durata di 6 minuti primi**.

Procedura di misura a larga banda

Alcune avvertenze

- **Oggetti conduttori** nelle vicinanze della sonda possono **perturbare le linee di forza del campo elettrico**, e quindi inficiare la **validità** della misura. Occorre **posizionare lo strumento lontano da oggetti metallici**, così come anche le persone presenti devono allontanarsi dalla sonda per l'intera durata della misura.
- **Evitare** assolutamente di utilizzare **cavi di collegamento metallici** tra lo strumento ed un eventuale computer per la raccolta di dati. Se occorre realizzare un banco di questo tipo, è essenziale impiegare un **cavo di interconnessione in fibra ottica**.

Procedura di misura a larga banda

Alcune avvertenze

- Può accadere che **emissioni** particolarmente intense e/o a frequenze particolarmente basse, vengano **raccolte** dai **conduttori** posti nel gambo della sonda, in particolare quando questi sono **allineati con la polarizzazione**. Anche in questo caso la misura può risultare gravemente inficiata; per una **verifica**, è opportuno **ruotare lo strumento** in modo che il gambo del sensore si trovi perpendicolare alla polarizzazione, verificando che la misura non vari significativamente.
- Le misure all'aperto dovrebbero essere eseguite con **clima asciutto**.
- La **temperatura ambientale** deve essere compresa nell'intervallo di buon funzionamento dichiarato dal costruttore per la strumentazione utilizzata.

Procedura di misura a larga banda

Strumenti per misure a larga banda

Particolare dello strumento **EMR300** della Wandel -Goltermann



Connessione al PC
via cavo ottico.



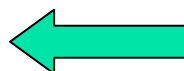
Lo strumento EMR300
posizionato sul treppiede
dielettrico

Procedura di misura a larga banda

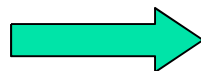
Strumenti per misure a larga banda



Uno strumento molto diffuso per misure a larga banda: **modello 8053 della PMM.**



Lo strumento 8053 posizionato sul treppiede dielettrico



Procedura di misura a larga banda

Strumenti per misure a larga banda



Il display dell'8053 come si presenta dopo l'accensione e la routine di controllo (si noti la risposta dei tre assi del sensore).

**Strumento 8053
della PMM**



Col comando “Mode” il display passa a visualizzare i valori MAX, MIN, RMS. Contemporaneamente è possibile lanciare la misura mediata sull'intervallo di tempo desiderato.

Procedura di misura a larga banda

Strumenti per misure a larga banda



Utilizzando il cavo RS232 è possibile scaricare i file di dati organizzati nella memoria interna.



La connessione tra computer e strumento in fase di misura, è possibile solo utilizzando il cavo ottico

Procedura di misura a larga banda

Certificazione di calibrazione



- Tutte le **misure** volte alla verifica della **conformità** degli impianti e delle apparecchiature ai **limiti** prescritti dalle legislazioni o dalle norme tecniche devono essere effettuate con **strumenti tarati** e riferibili secondo il **D.L. 273/91**.
- La **strumentazione** di misura deve necessariamente essere sempre dotata di **calibrazione aggiornata**, ed è opportuno che copia di questa accompagni lo strumento nel sito di misura.
- La **periodicità della taratura** non dovrebbe eccedere il **biennio** per gli strumenti attivi.

Procedura di misura a larga banda

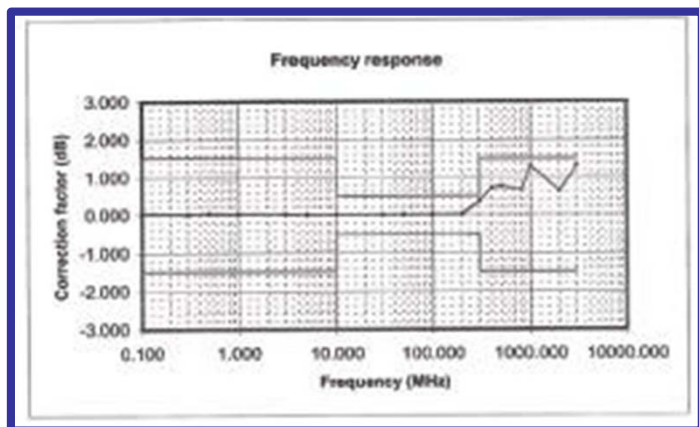
La certificazione degli strumenti

PMM	PMM Costruzioni Elettroniche Centro Misure Radioelettriche S.r.l.	Headquarters: Via Hegribl, 35 20133 Milano - ITALY Tel.: +39 02 76100801 Fax: +39 02 76100702	EMC Lab. and Development: Via Benetton, 22/0 17026 Chiasso sul Naviglio (SV) - ITALY Tel.: +39 0162 20346 Fax: +39 0162 20347 http://www.pmm.it
UNI EN ISO 9001 CERTIFIED QUALITY SYSTEM			
Certificate of Compliance			
This equipment has been tested and verified according to the PMM applicable procedures. This PMM 8053 complies with the PMM technical and functional specifications.			
Equipment description	<u>Electromagnetic Field Strength Meter</u>		
Equipment model	<u>PMM 8053</u>		
Equipment Serial Number	<u>0220360113</u>		
Date	<u>26-02-2001</u>		
Certificate number	<u>60113</u>		
Verification result	<u>successful</u>		
Test Procedure	<u>PTP 09-29</u>		
Recommended verification interval	<u>1 year</u>		
Test equipment used to verify	<u>The list and the calibration traceability of the equipment used is enclosed</u>		
Quality Control Sig. <i>Antonio Bo</i>			
Certificate of Compliance PMM 8053_03.doc			
Page 1 of 2			

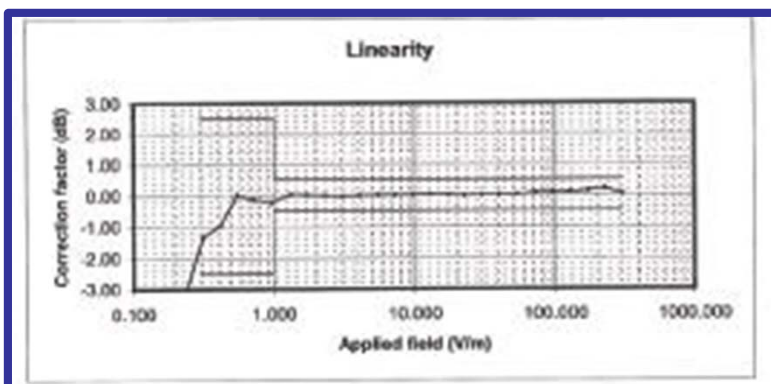
PMM	PMM Costruzioni Elettroniche Centro Misure Radioelettriche S.r.l.	Headquarters: Via Hegribl, 35 20133 Milano - ITALY Tel.: +39 02 76100801 Fax: +39 02 76100702	EMC Lab. and Development: Via Benetton, 22/0 17026 Chiasso sul Naviglio (SV) - ITALY Tel.: +39 0162 20346 Fax: +39 0162 20347 http://www.pmm.it
UNI EN ISO 9001 CERTIFIED QUALITY SYSTEM			
Certificate of Calibration			
This equipment has been tested and verified according to the PMM applicable procedures. This PMM EP330 complies with the PMM technical and functional specifications.			
Equipment description	<u>Electric Field Probe (100) 500 kHz - 3 GHz</u>		
Equipment model	<u>PMM EP330</u>		
Equipment serial number	<u>1010J10130</u>		
Date	<u>26-feb-2001</u>		
Certificate number	<u>10130</u>		
Verification result	<u>successful</u>		
Test procedure	<u>PTP 09-29</u>		
Recommended verification interval	<u>1 year</u>		
Quality Control Sig. <i>Antonio Bo</i>			
Certificate of Calibration PMM EP330_01.doc			
Page 1 of 5			

Procedura di misura a larga banda

La certificazione degli strumenti



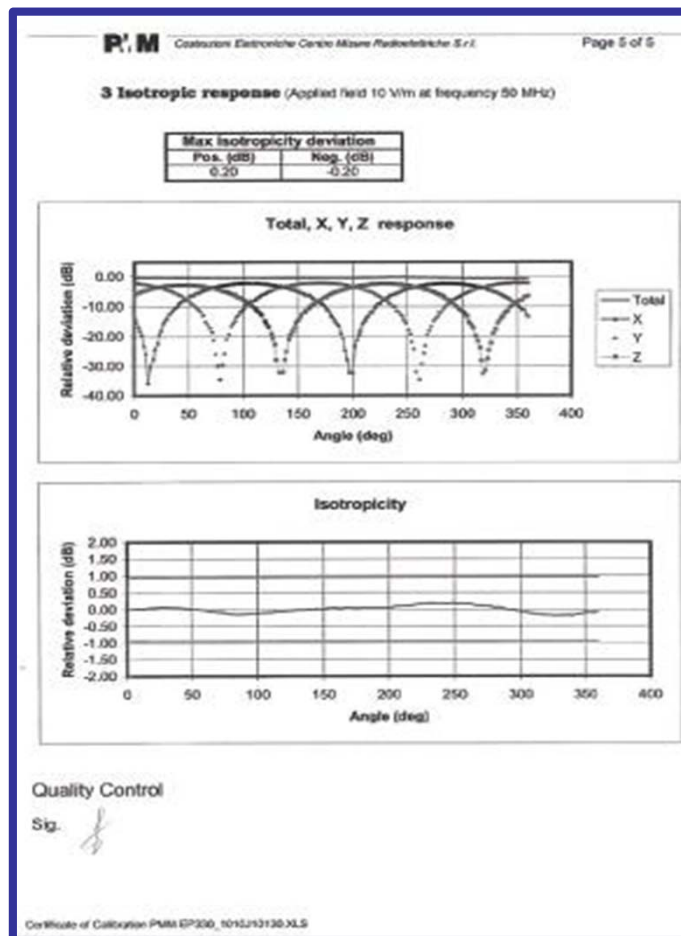
Verifica della risposta in frequenza del sensore.



Verifica della risposta in ampiezza del sensore.

Procedura di misura a larga banda

La certificazione degli strumenti



Verifica dell'isotropicità del sensore

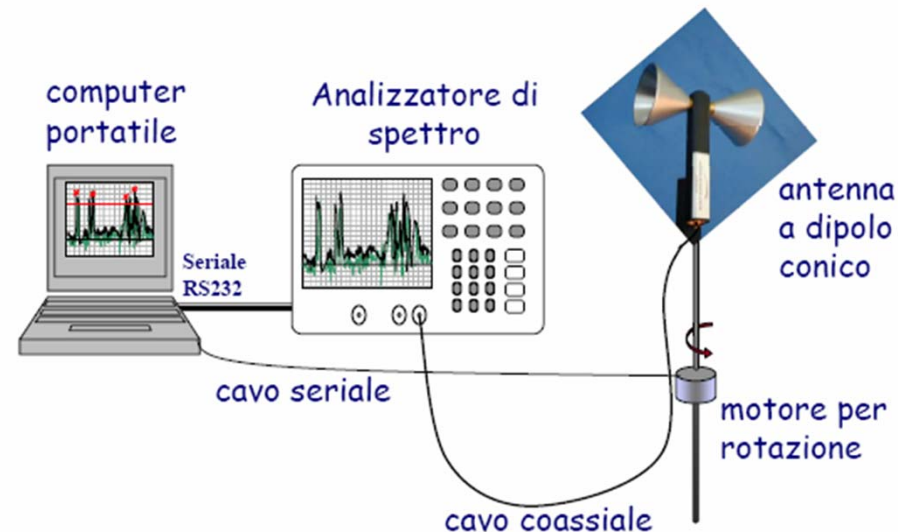
- Si noti come **ogni dipolo** presenti, in funzione del suo **orientamento** nei confronti della sorgente, il tipico comportamento del **disaccoppiamento di polarizzazione**.
- La **curva complessiva**, ottenuta applicando l'algoritmo di **somma quadratica**, esibisce una **risposta** del sensore triassiale notevolmente **piatta** (lo **scostamento** è contenuto entro $\pm 0,2 \text{ dB}$)

Misure selettive

Il passaggio alle misure selettive

- La **misura a banda larga** va integrata con la **misura selettiva**, qualora il **valore** ricavato sia **superiore** al **75%** del **limite prescritto**, ovvero **4,5 V/m** nel caso del **DL 381/98** (spesso ridotto a **3 V/m** per compensare l'**incertezza di misura**).
- In questo caso la **misura selettiva** è **indispensabile** per individuare i contributi dovuti alle diverse emittenti.
- E' necessario effettuare la **misura in banda stretta** anche qualora siano presenti **più sorgenti** che emettono in intervalli di frequenza su cui devono essere applicati **differenti valori limite**
- Se si sono effettuate ambedue le misure e vi è **discordanza** tra i risultati, si considerano valide le **misure selettive**, indicando quando possibile le ₄₀ **motivazioni** delle **discordanze** rilevate.

Misure selettive



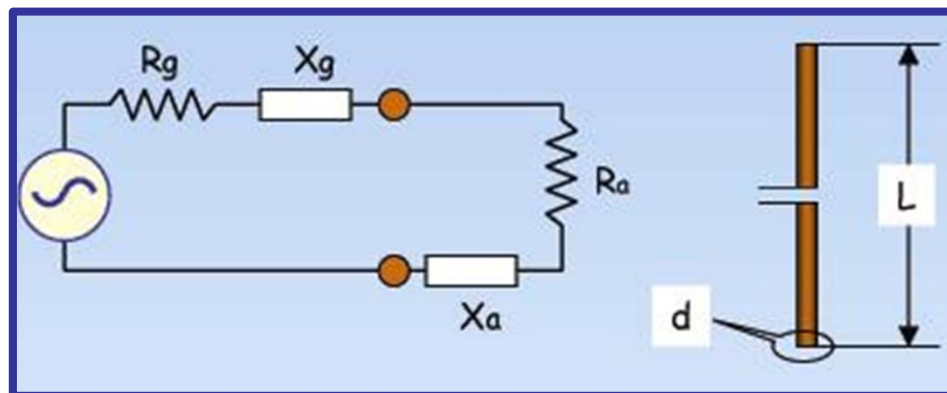
Antenna, montata su cavalletto dielettrico: converte la grandezza elettromagnetica in una grandezza elettrica.

Analizzatore di spettro: elabora opportunamente il segnale presente al suo ingresso per renderlo utilizzabile dall'operatore.

Cavo coassiale di raccordo tra antenna e ricevitore. Occorre tenere nel dovuto conto sia il *fattore d'antenna*, sia la *perdita del cavo*.

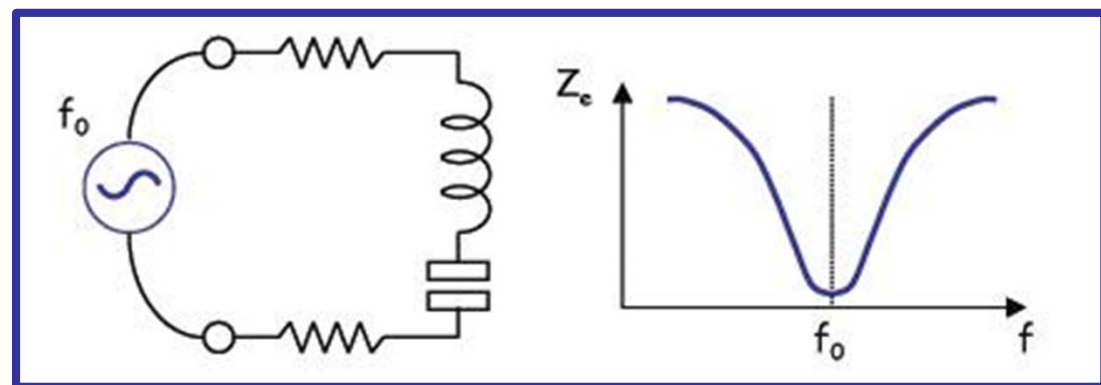
Antenne a larga banda per misure selettive

Larghezza di banda di un'antenna



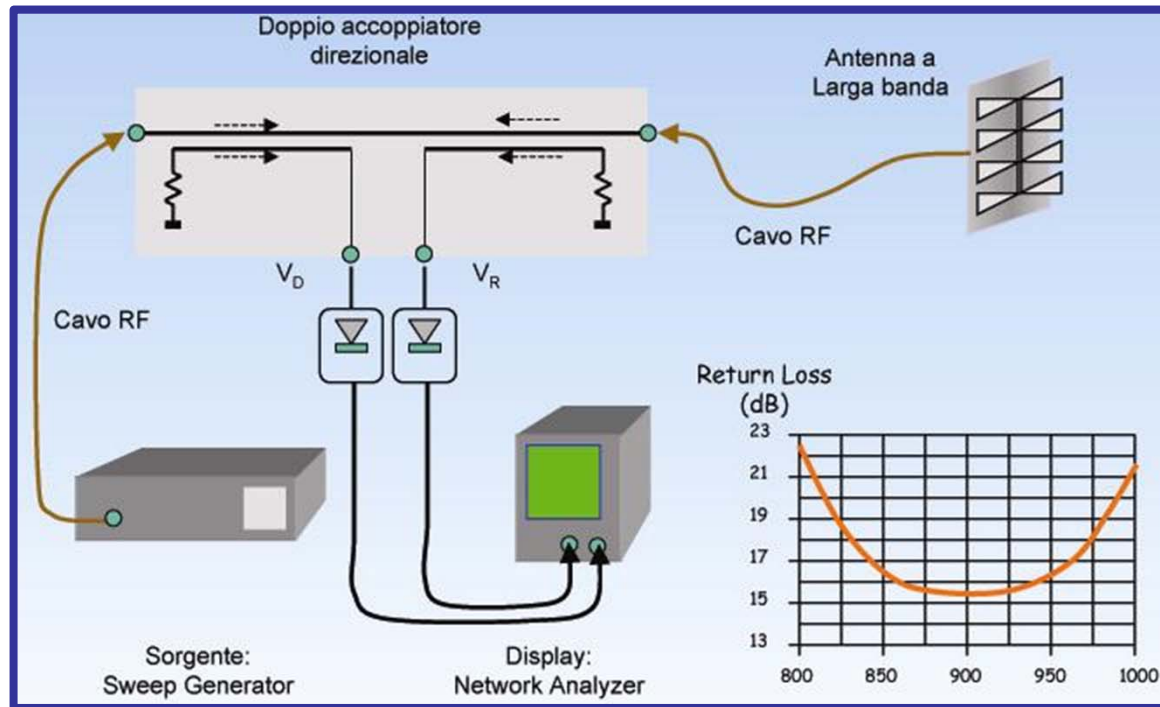
Ai fini della capacità di trasmettere su una estesa **banda di frequenza**, l'antenna dovrebbe presentare **reattanza nulla**.

In realtà, l'antenna si comporta come **circuito risonante**, la cui **curva di risonanza** è tanto più acuta quanto maggiore è il rapporto L/d (lunghezza / diametro del conduttore).



Antenne a larga banda per misure selettive

Larghezza di banda in funzione di Return Loss



La **banda utile** di un'antenna corrisponde all'**intervallo di frequenza** in cui la R_c rimane sostanzialmente **costante**, e quindi, con riferimento alla curva che descrive la funzione di **Return Loss**, in cui lo **scostamento** rispetto al **centro banda** è contenuto entro **deviazioni** di **piccola entità**.

Antenne a larga banda per misure selettive

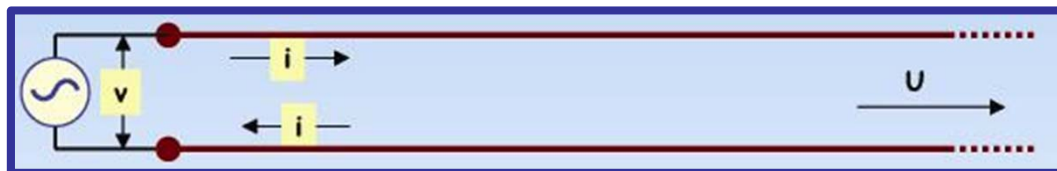
Impedenza della linea

Tra v (Tensione) ed i (Corrente) esiste la relazione (*Legge di OHM*):

$$v/i = R_C$$

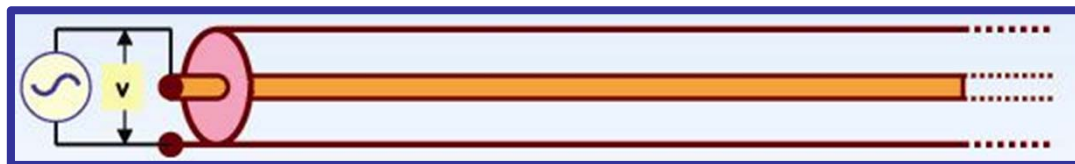
R_C (resistenza caratteristica della linea) dipende dalla geometria della linea.

Esempi



Linea bifilare: noti d ed r (diametro e distanza dei conduttori):

$$R_C = 276 / \sqrt{\epsilon_r} \log_{10} r / d$$



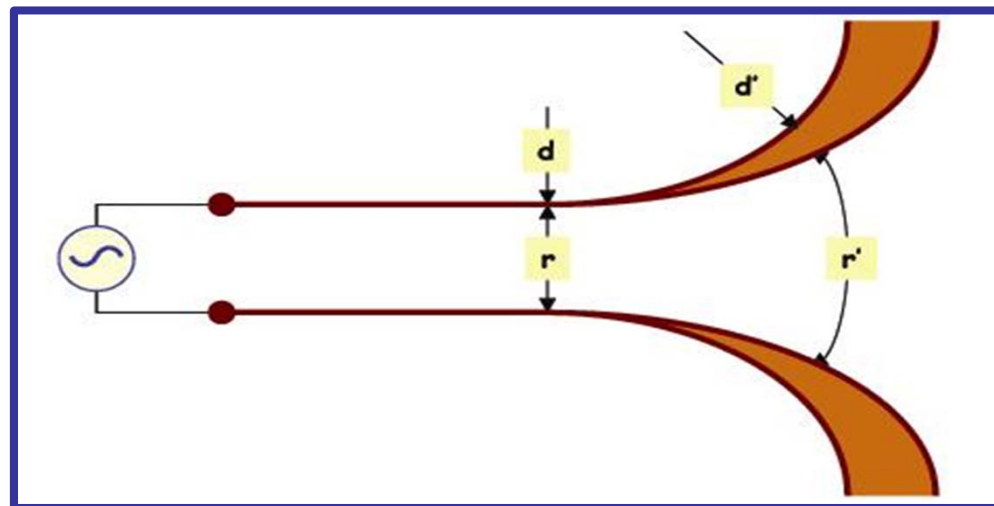
Linea coassiale: noti D e d (diametro est. e int. dei conduttori):

$$R_C = 138 / \sqrt{\epsilon_r} \log_{10} D / d$$

Antenne a larga banda per misure selettive

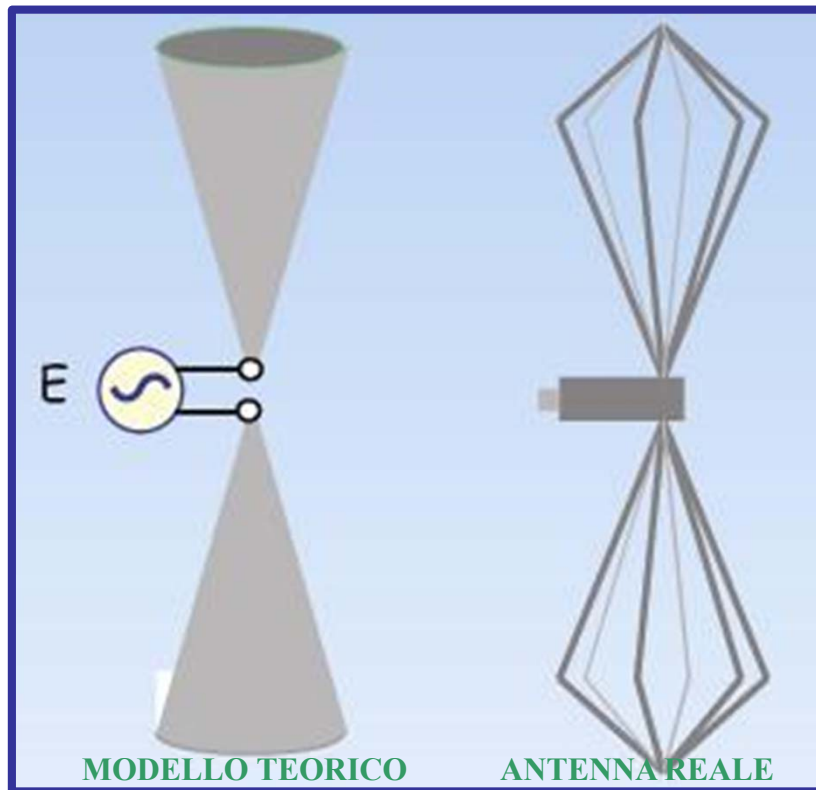
Trasformazione geometrica ad impedenza costante

- Se i conduttori vengono progressivamente **distanziati** mantenendo costante r/d , la R_c rimane **costante** e quindi la linea rimane **adattata**.
- Tuttavia la **disposizione geometrica** dei due conduttori **cambia** sostanzialmente, passando da una **configurazione parallela** ad una **aperta**.
- Si ottiene quindi un **dispositivo** che **irradia** su uno **spettro infinito** di frequenza.
- Da questo principio deriva l'**antenna biconica**.



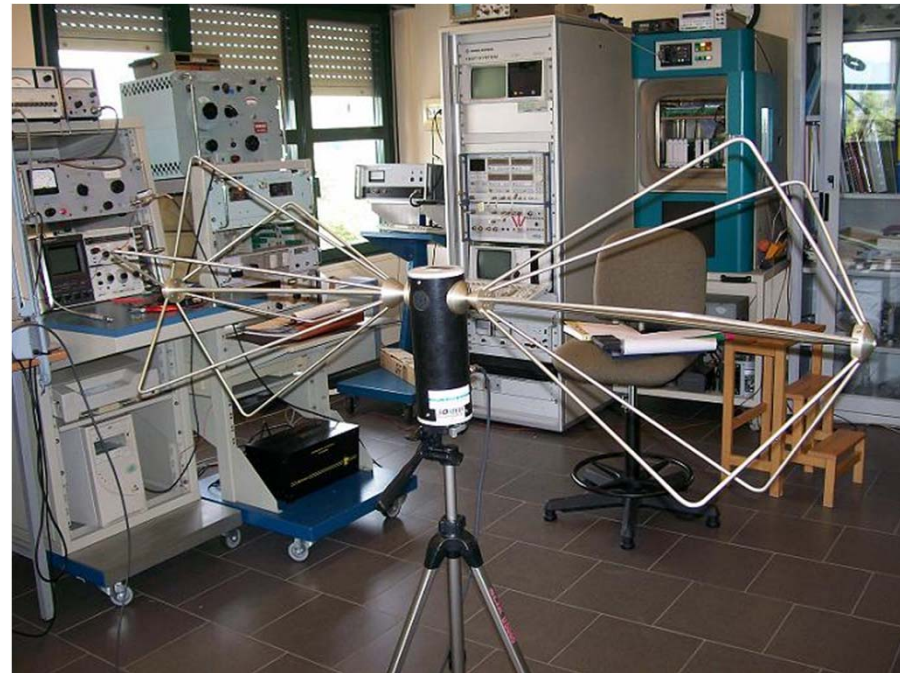
Antenne a larga banda per misure selettive

Antenna biconica

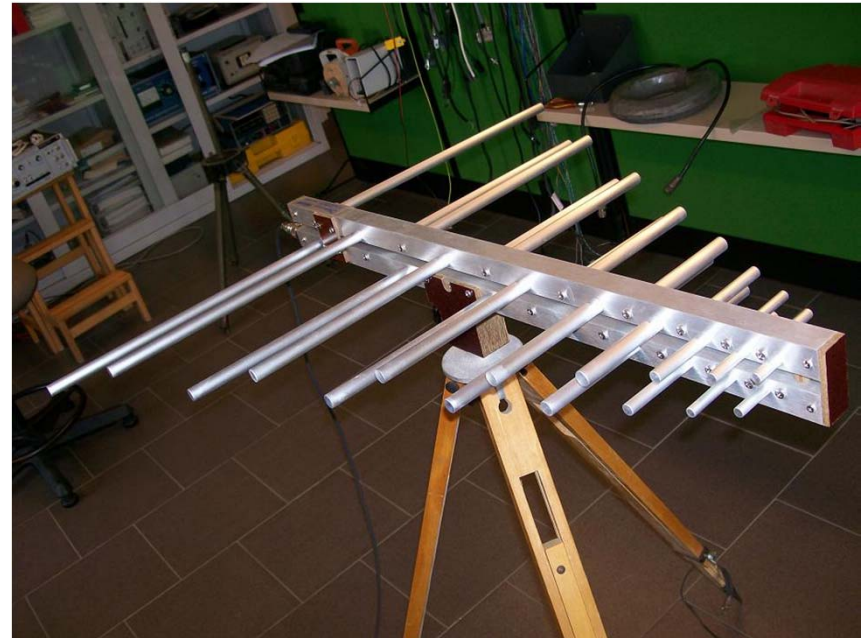
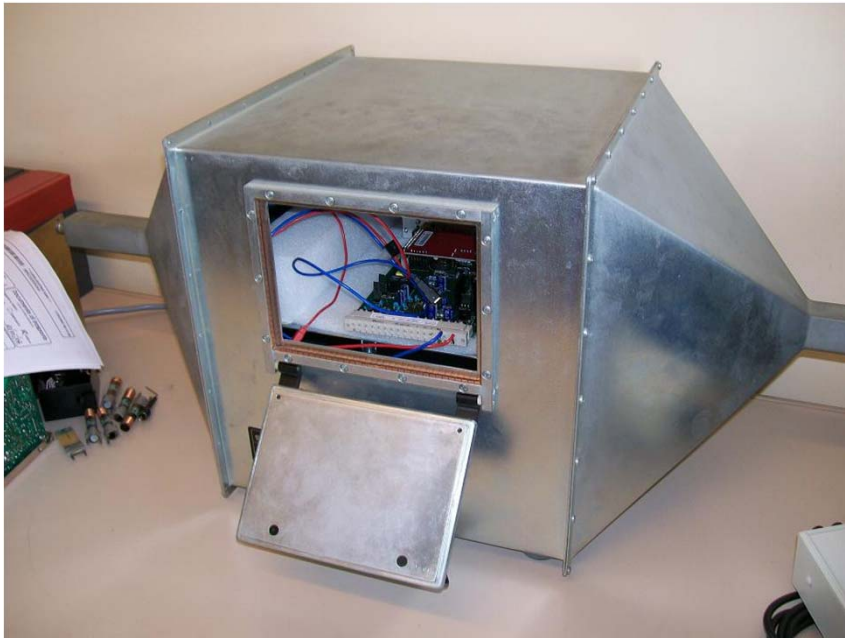


- L'**antenna biconica** è mutuata da un modello teorico formato da due coni di lunghezza infinita, alimentati al centro: presenta impedenza **resistiva**, **indipendente** dalla frequenza.
- L'**antenna reale** è **troncata** e **rastremata**, richiede un **adattatore d'impedenza** e la sua **larghezza di banda** corrisponde alla porzione in cui il **ROS** presenta valori **inferiori** ad un determinato **limite** non superato.

Antenne a larga banda per misure selettive



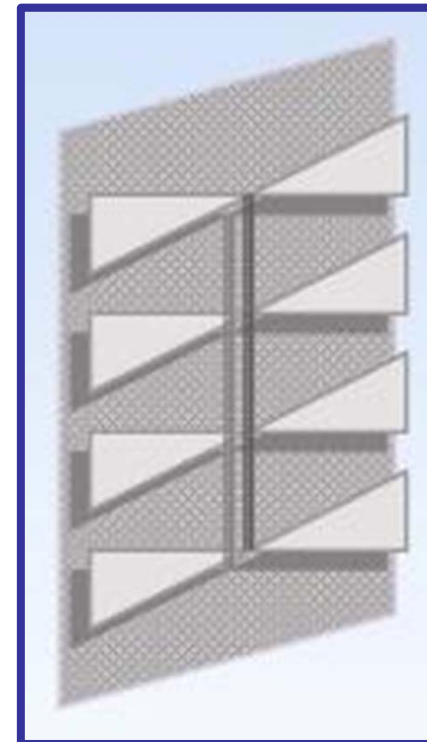
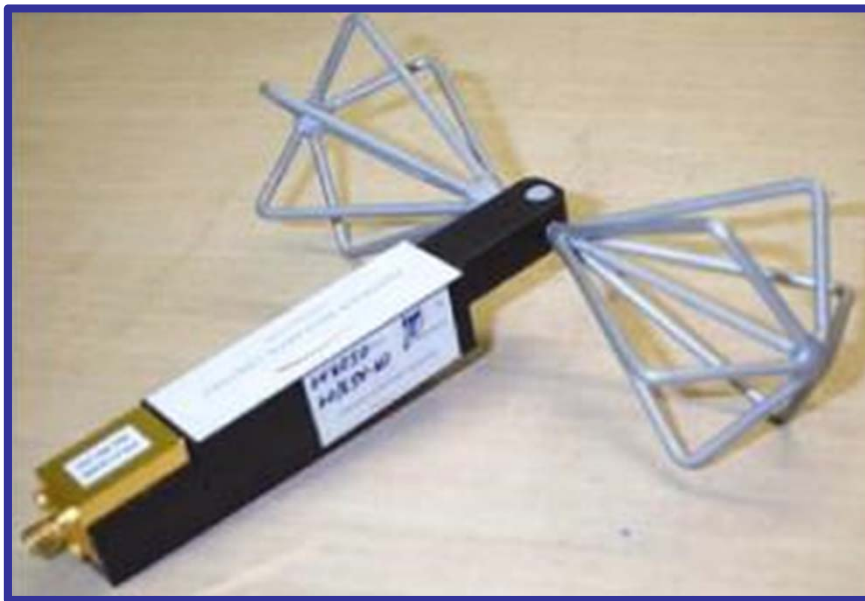
Antenne a larga banda per misure selettive



Antenne a larga banda per misure selettive

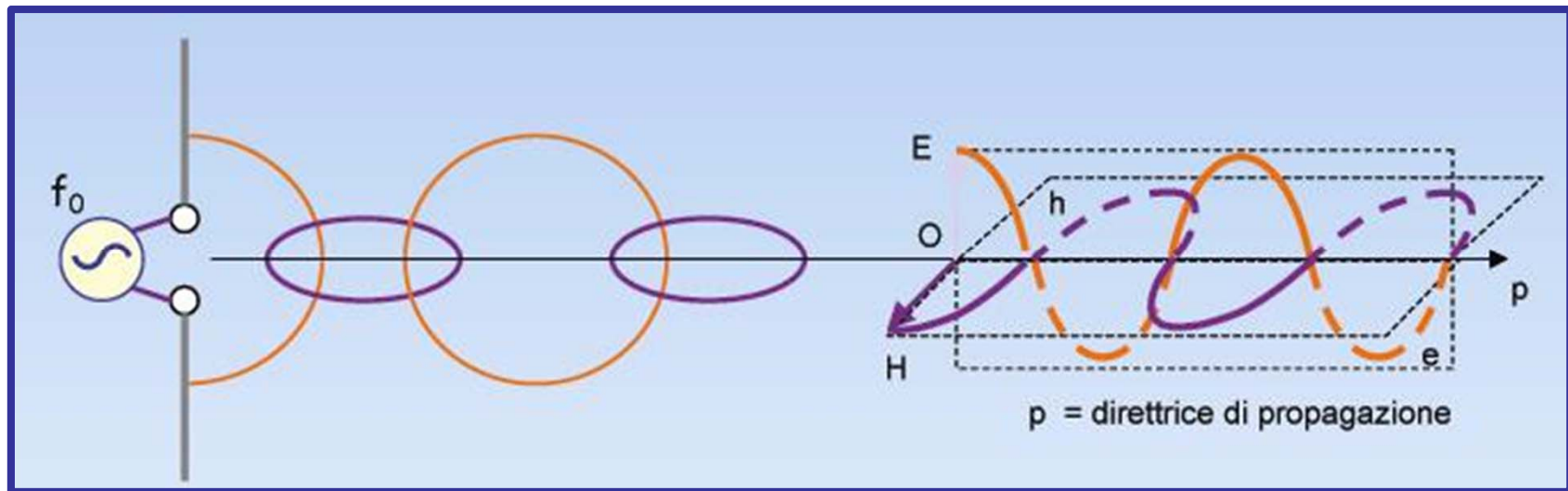
Antenne derivate dalla biconica

Dal modello di **antenna biconica**, derivano altre strutture (a **farfalla**, ad **aste aperte**, ecc) utilizzate in campo civile e professionale per sistemi a **larga banda**.



Antenne a larga banda per misure selettive

La polarizzazione del campo elettromagnetico



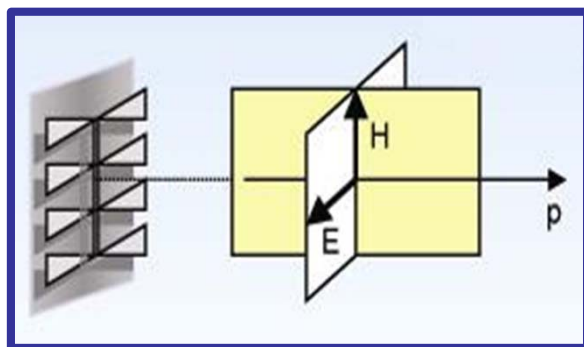
Il **piano di polarizzazione** dell'antenna, coincide col piano che appartiene al **campo elettrico**.

Antenne a larga banda per misure selettive

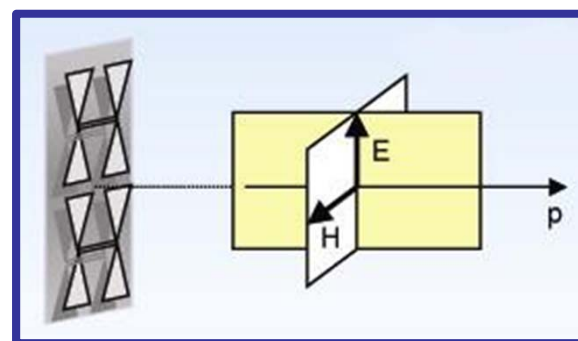
La polarizzazione del campo elettromagnetico

Sulla base di questa convenzione, si possono fondamentalmente individuare **due** tipiche **polarizzazioni** delle antenne:

Polarizzazione Orizzontale



Polarizzazione Verticale



Nel caso di **misure a distanza** dalla sorgente, non si può dare per noto l'**orientamento** del vettore \underline{E} , anche perché la **polarizzazione** di un'Onda E.M. che si propaga nello spazio troposferico **può** facilmente **cambiare** rispetto all'origine.

Antenne a larga banda per misure selettive

La movimentazione triassiale



La foto a sinistra mostra una tipica **antenna per misure selettive**, capace di raccogliere **contributi di campo elettrico** da **tre direzioni** dello spazio **fra loro ortogonali**.

Si tratta di una piccola **biconica a larga banda (80 MHz-2000 MHz)** che ha la capacità di **allineare** il suo **diagramma di radiazione** (con forma a 8, come il dipolo) su **tre assi ortogonali**, quando venga **posizionata** successivamente lungo **tre direttrici** fra loro differenziate di **120°** sul **piano orizzontale**.

Lo strumento illustrato nella foto a destra mostra che l'**asse** della **biconica** è effettivamente **inclinato** di circa **55°** rispetto al **piano orizzontale**.



Antenne a larga banda per misure selettive

La movimentazione triassiale



La sequenza che segue vuole dare una dimostrazione immediata dell'allineamento sui tre assi ortogonali. Si inclini il piano di rotazione di $54,74^\circ$, in modo che la biconica risulti perfettamente orizzontale.

La foto mostra l'allineamento della biconica nella posizione indicata come "1". La foto viene ripresa dalla posizione che mostra l'asse della biconica orizzontale e parallelo agli occhi dell'osservatore (**allineamento Est-Ovest**).



Antenne a larga banda per misure selettive

La movimentazione triassiale



Il **supporto** della biconica viene fatto **ruotare** di **120°**, e raggiunge così la posizione indicata come “**2**”.

Si noti che la **biconica** assume in questo caso un **allineamento** perfettamente **verticale**.

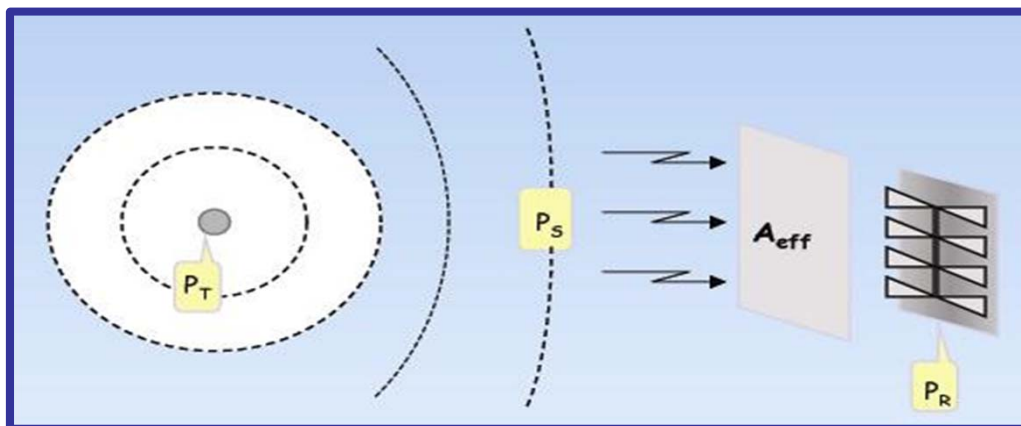


Ora il supporto della biconica ruota ulteriormente, raggiungendo la posizione indicata come “**3**”.

Si noti che ora la biconica è tornata **orizzontale**, ma il suo **asse** stavolta risulta **perpendicolare** agli occhi dell'osservatore (**allineamento Nord-Sud**).

Antenne a larga banda per misure selettive

L'antenna in funzione ricevente: area efficace



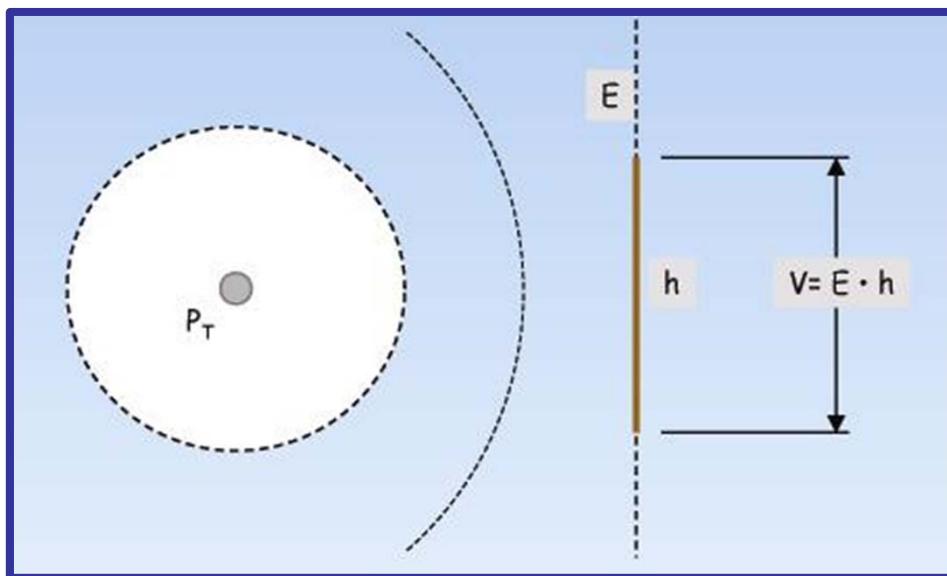
- L'**Area efficace** definisce l'**attitudine** dell'antenna a **captare energia** da un'**onda incidente**. La **potenza disponibile** sul carico dell'antenna ricevente è data dal **prodotto** tra la **densità di potenza** P_S in corrispondenza del centro di fase dell'antenna ricevente, e la sua **apertura efficace** :

$$P_R = P_S \cdot A_e$$

- L'**area efficace** può essere concepita come una “**finestra**” di superficie $A_e m^2$, entro la quale l'antenna **raccoglie** una **porzione** $P_R (Watt)$ della **potenza specifica** P_S distribuita sulla superficie del **fronte sferico di propagazione** dell'onda ($Watt/m^2$). 55

Antenne a larga banda per misure selettive

Altezza efficace dell'antenna



Dall'elettrotecnica sappiamo che se un **filo** di lunghezza h viene posto lungo una **linea di forza elettrica**, ai suoi capi si ottiene una **tensione**

$$V = E \cdot h$$

- Se il conduttore ha lunghezza molto inferiore a λ , h corrisponde alla sua lunghezza efficace h_{eff} :

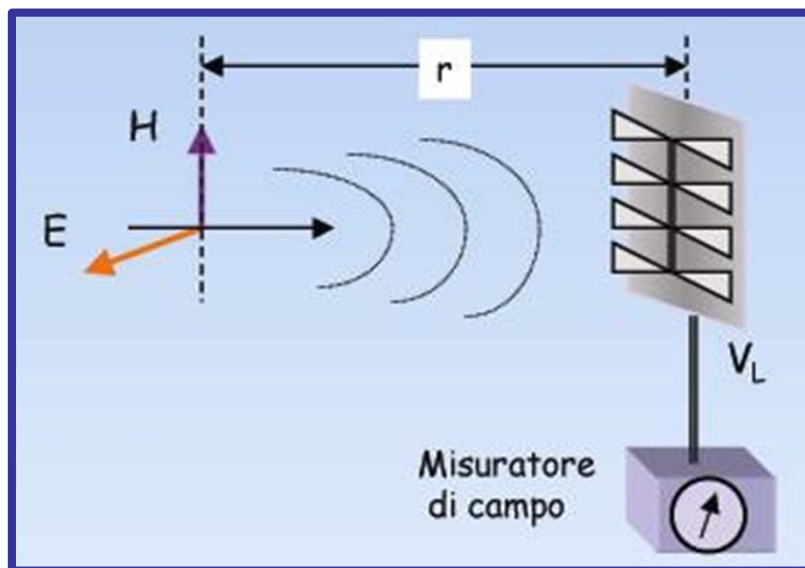
$$V_M = E \cdot h_{eff}$$

Nel caso del dipolo $\lambda/2$:

$$h_{eff} = 2h / \pi = \lambda / \pi$$

Antenne a larga banda per misure selettive

Il fattore d'antenna AF



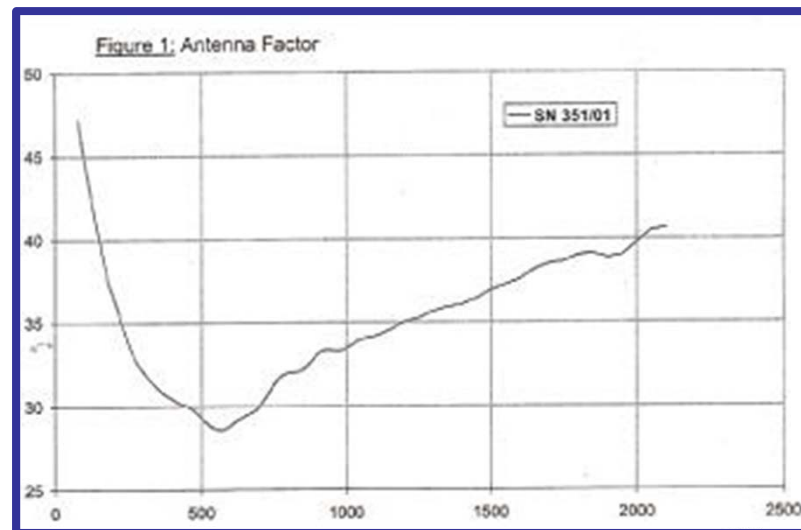
Noto il guadagno G_i , AF può venire calcolato in funzione della frequenza:

$$AF_{[db(m^{-1})]} = 20 \log[f_{(MHz)}] - 29.79 - G_{i(db)}$$

$$AF = E / V_L$$

Noto il valore di AF alla frequenza di lavoro, e misurato V_L , si può risalire al campo E :

$$E_{[db(\mu V/m)]} = V_{L[db(\mu V)]} + AF_{[db(m^{-1})]}$$

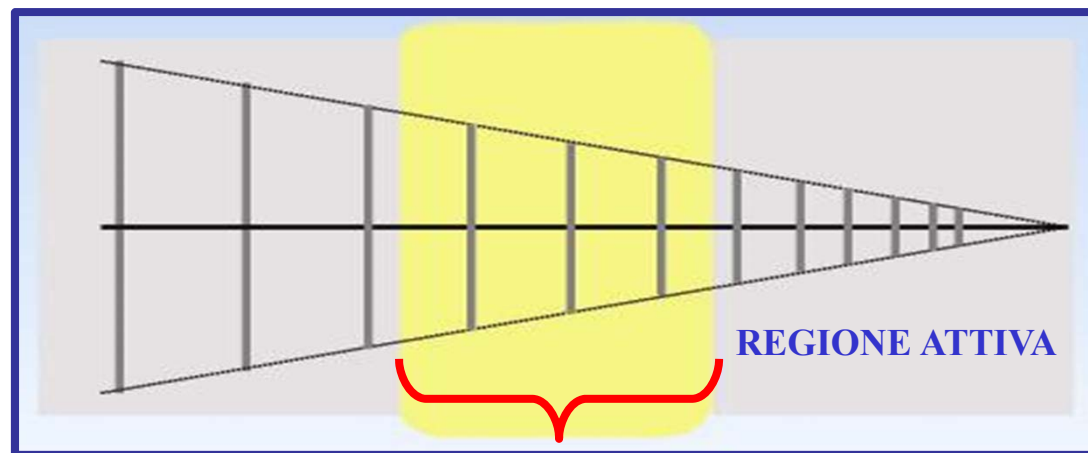


In figura, l'andamento del **Fattore d'Antenna** della **biconica Seibersdorf**.

Antenne a larga banda per misure selettive

Antenna log-periodica

- Nell'**Antenna Log Periodica** l'irradiazione è affidata agli elementi della **“regione attiva”**; al variare della frequenza, la **regione attiva** si sposta lungo la linea.

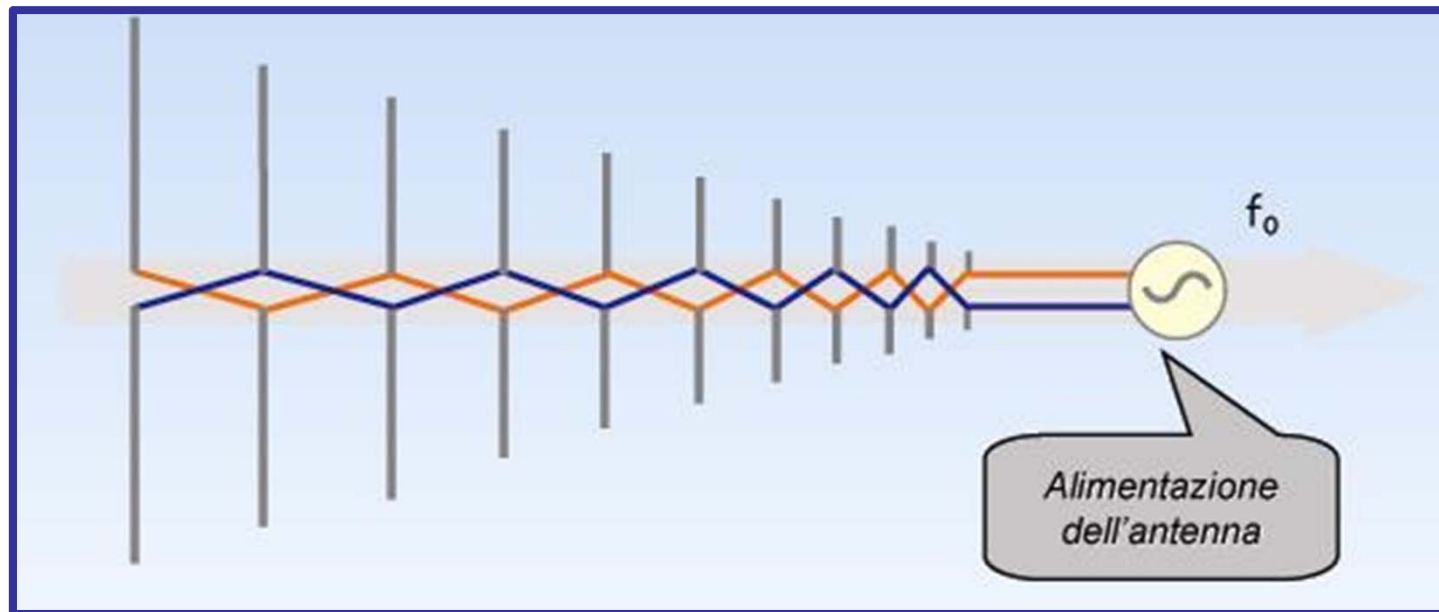


- Nella **zona attiva** la **direttività** viene ottenuta per il **diverso sfasamento** tra gli elementi (*effetto Yagi*). La **progressione geometrica** dei dipoli (*lunghezza e distanza reciproca*) è tale che la **regione attiva** rimane sempre **simile a se stessa**.

Antenne a larga banda per misure selettive

Antenna log-periodica

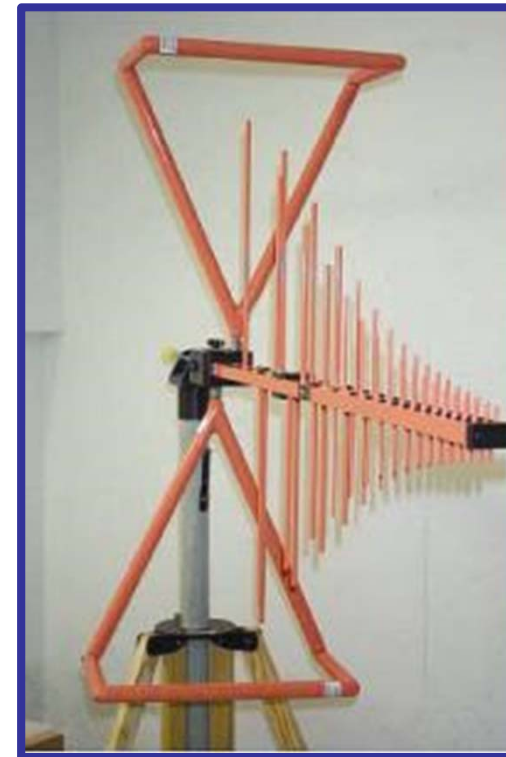
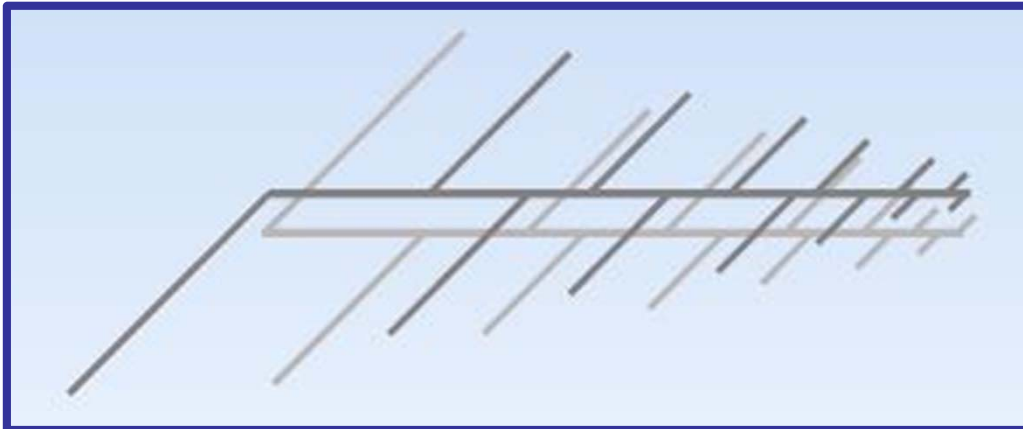
- L'antenna log periodica irradia, come la **Yagi**, nella **direzione** degli **elementi più corti**.
- L' **alimentazione** avviene invece nel **senso opposto**.



Antenne a larga banda per misure selettive

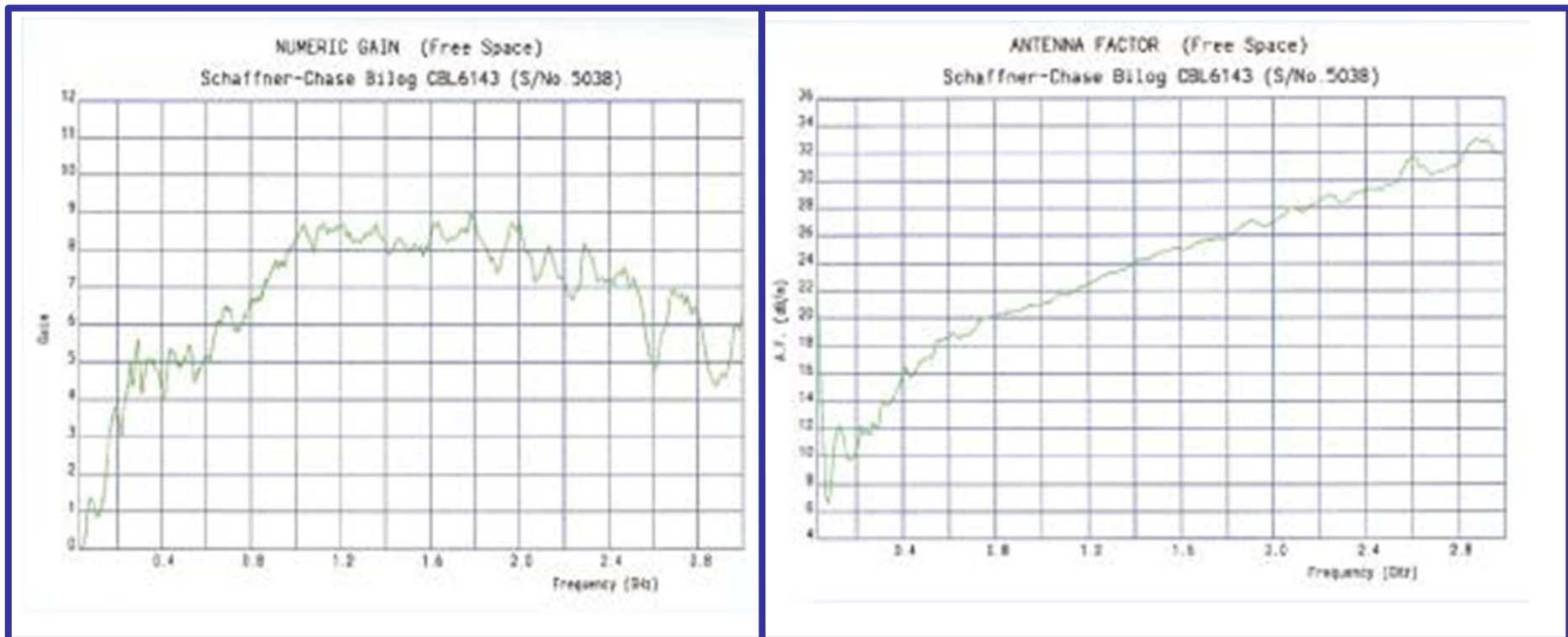
Antenna log-periodica

- L'antenna log periodica presenta un **discreto guadagno** ($6 \div 12 \text{ dB}$) ed una **larghezza di banda** pari ad un **ordine di grandezza** (tipicamente, $200 \text{ MHz}-2 \text{ GHz}$)



Antenne a larga banda per misure selettive

Curve caratteristiche AF e G della Biconilog

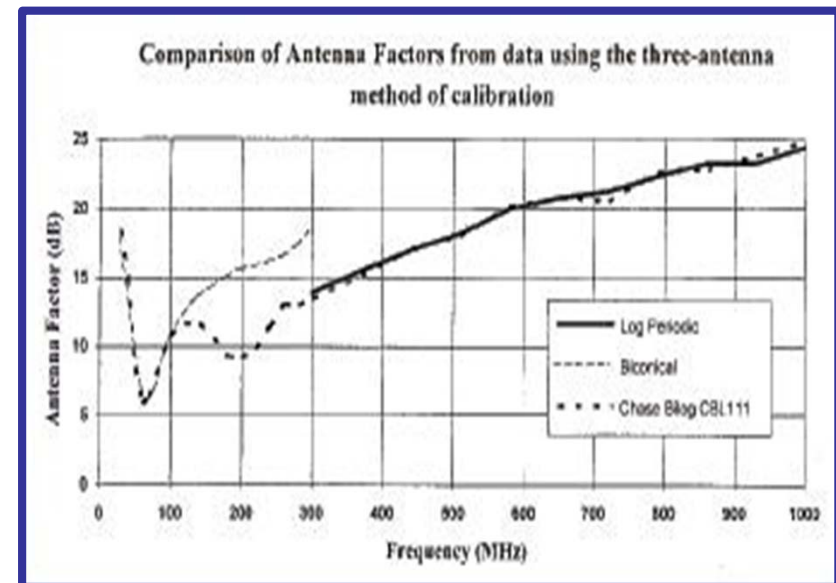
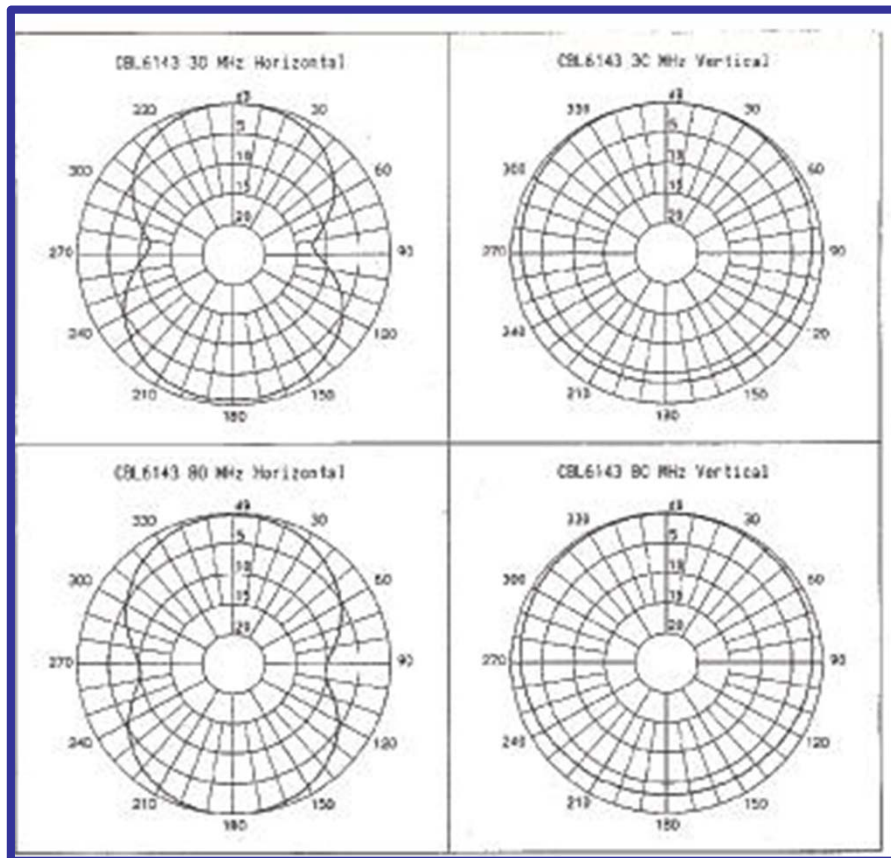


Andamento del **Guadagno** in funzione della frequenza dell'antenna Schaffner.

Andamento del **Fattore d'Antenna** in funzione della frequenza, dell'antenna Schaffner. 61

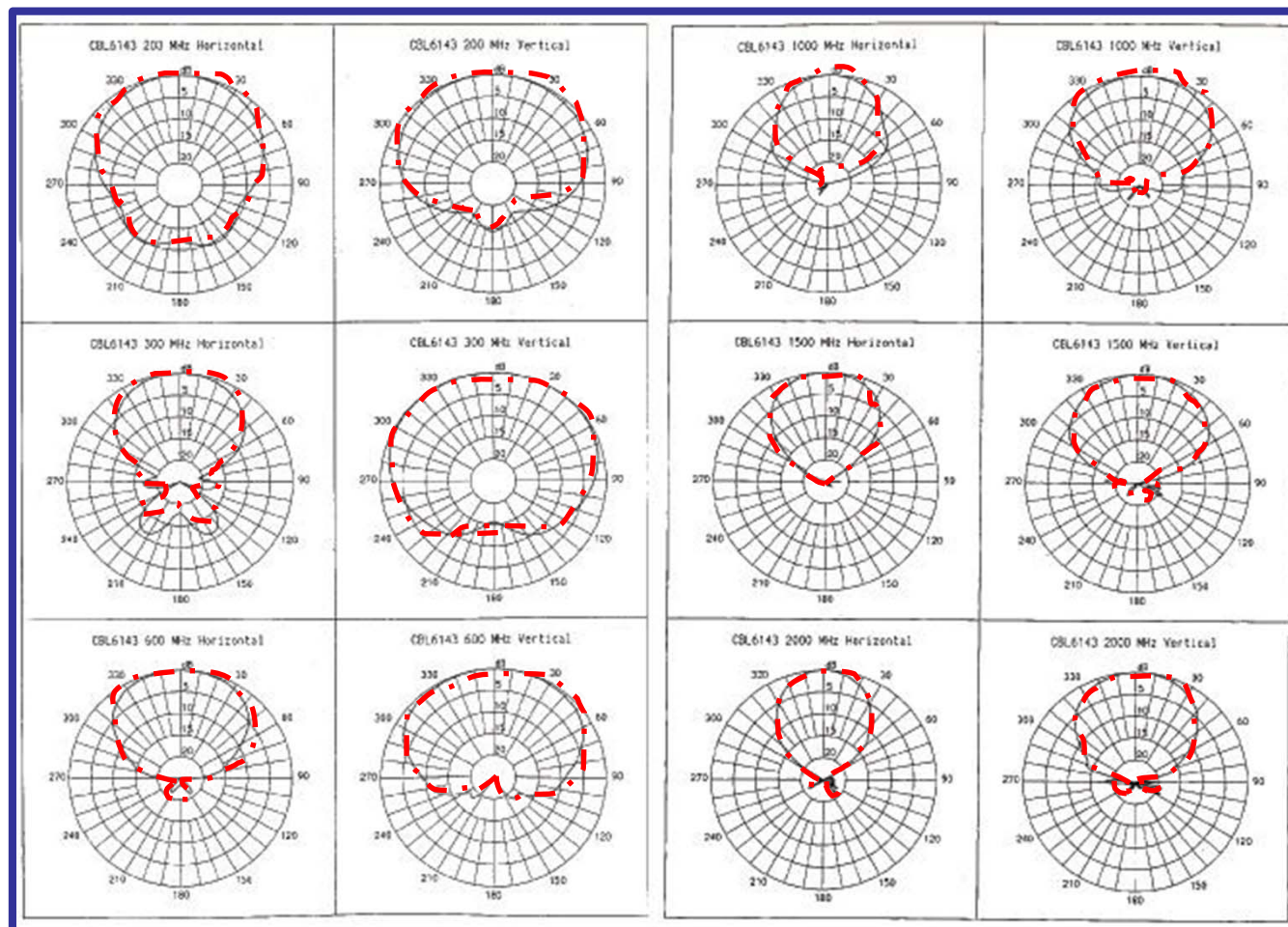
Antenne a larga banda per misure selettive

Fattore d'antenna della Biconilog



Antenne a larga banda per misure selettive

Irradiazione della Biconilog



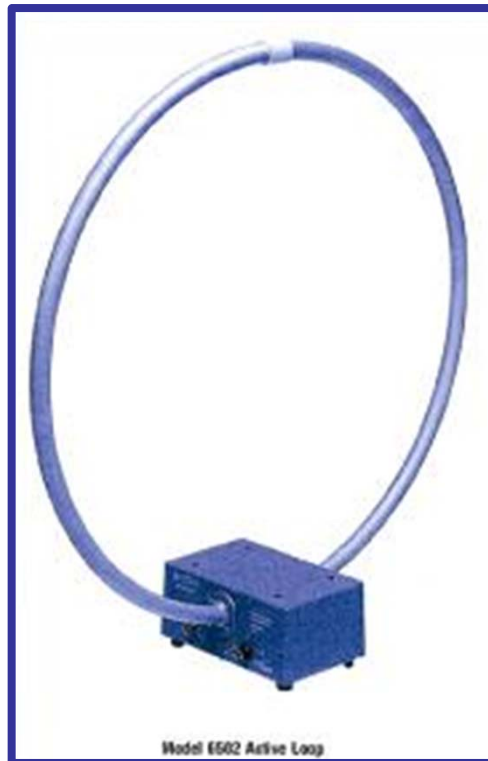
Antenne a larga banda per misure selettive

Antenne standard



1. Rod Antenna (attiva):
gamma da 1 KHz a 30 MHz

2. Loop antenna (active loop):
gamma da 10 KHz a 30 MHz



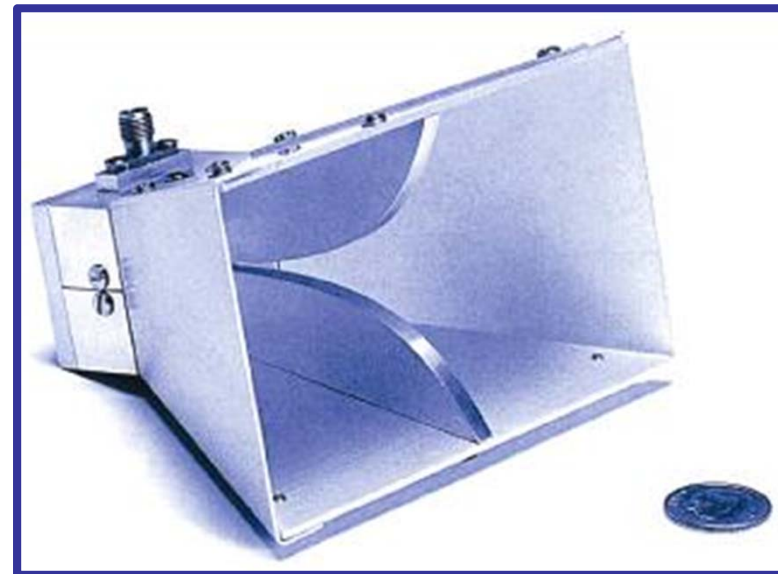
3. Biconical Antenna:
gamma da 20MHz a 300 MHz

Antenne a larga banda per misure selettive

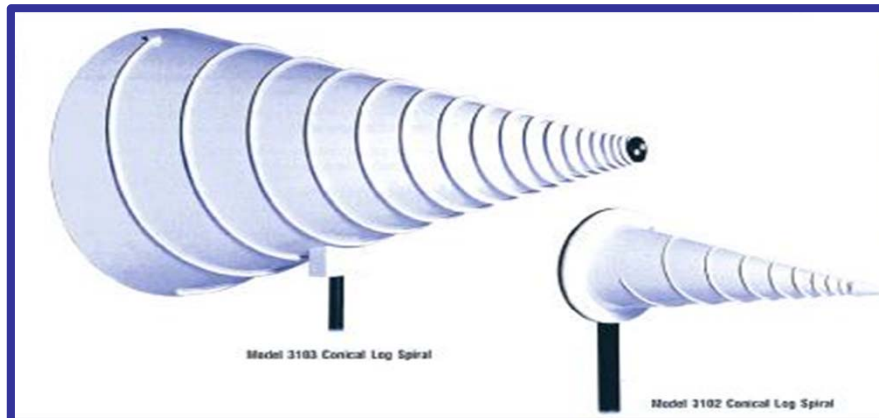
Antenne standard



4. LogPeriodic antenna:
gamma da 100 MHz a 3 GHz



5. Double-ridged Waveguide horn:
gamma da 1GHz a 40GHz



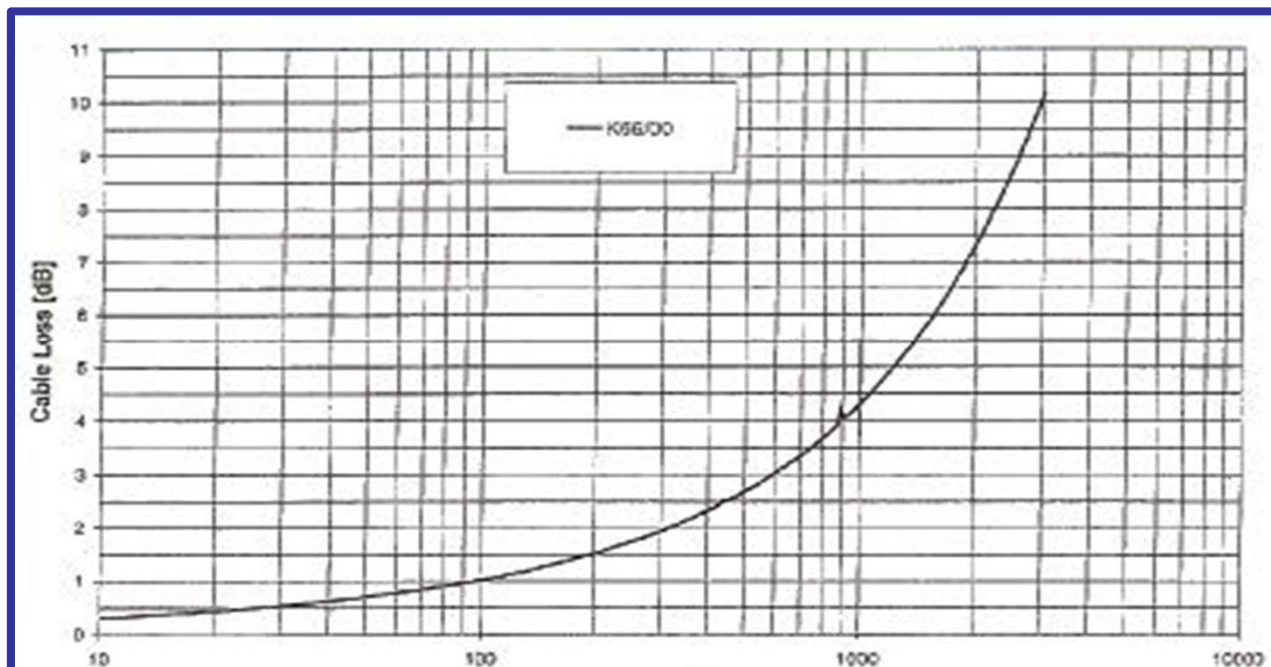
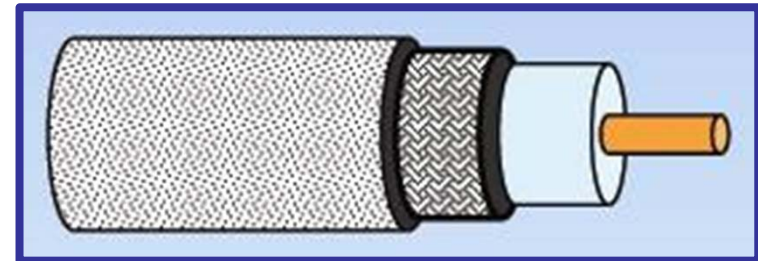
6. ConicalLog Spiral:
gamma da 200 MHz a 10 GHz

Antenne a larga banda per misure selettive

I feeders

Il **cavo coassiale** ha valori di **impedenza** normalizzati a **50** e **75 Ohm**.

Per un buon **funzionamento a RF**, esso deve presentare **basse perdite** e una **perfetta geometria**.



Antenne a larga banda per misure selettive

Attenuazione dei cavi

I **cavi coassiali** si utilizzano non oltre i **3 GHz**.
A questa frequenza i **cavi migliori**
(*Flexwell 1"5/8*)
attenuano circa **3 dB/100 m**.

Frequenza	Attenuazione (dB/100 m)			
	RG 58/CU	RG 8/U	RG 214/U	CellFlex 1/2"
10 MHz	4,1 dB	1,9 dB	2,2 dB	0,68 dB
100 MHz	15,1 dB	6,8 dB	6,5 dB	2,3 dB
400 MHz	34,5 dB	15,0 dB	14,1 dB	4,5 dB
1000 MHz	57,4 dB	30,2 dB	24,9 dB	7,7 dB
3000 MHz	123 dB	60 dB	57,5 dB	15 dB



Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Analizzatore di spettro E4402B



Caratteristiche:

Banda di misura: 9 KHz–3 GHz

Frequency accuracy at 1 GHz: ± 100 Hz

Phase noise at 1 GHz: -90 dBc/Hz

Average noise level: -117 dBm (1 KHz RBW)

Overall amplitude accuracy: $\pm 1,1$ dB

Minimum resolution Bandwidth: 10 Hz

Built-in AM/FM demodulator

Built-in tracking oscillator

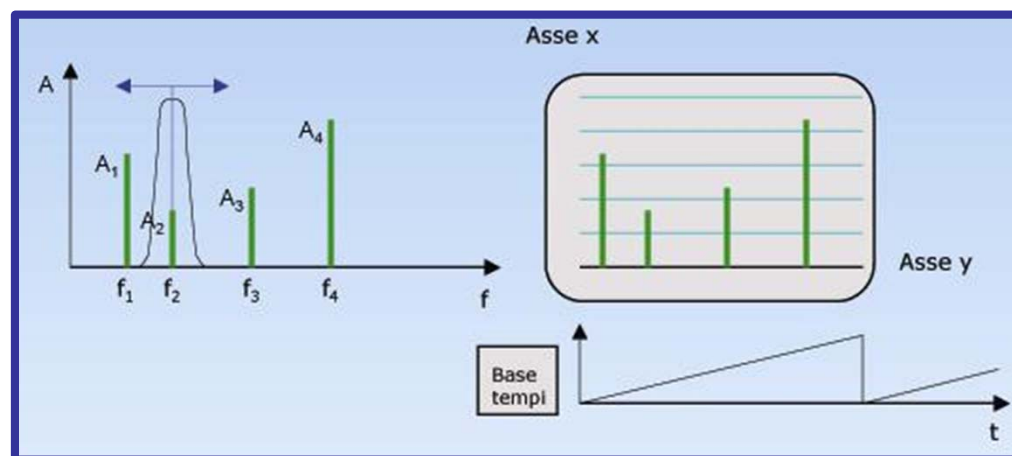
Tempo di warm-up: 5 min. typ.

Peso 16 Kg.

Costruzione a norme MIL

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Strumentazione per misure selettive



- Il **segnale ricevuto** dall'antenna arriva, tramite il **cavo coassiale**, ad uno **strumento** capace di misurare con precisione **frequenza** ed **ampiezza** di ogni **componente**, e darne **adeguata presentazione**.
- Ogni “**riga**” dello spettro può a sua volta essere **composta** da **numerosa righe**, dovute alla **modulazione della portante**. L'**analisi spettrale** può essere spinta fino a **separare** le **righe dello spettro di modulazione**.
- 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**.

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

I parametri dell'analizzatore di spettro

- 1. **START –STOP**: si impostano separatamente le frequenze di inizio e di fine della scansione.
- 2. **CENTER FREQUENCY**: con questo comando si imposta il valore centrale della banda da esplorare, e con SPAN la larghezza della stessa, simmetrica rispetto al Center Frequency
- 3. **FULL SCAN**: realizza la scansione dell'intera banda operativa dello strumento
- 4. **ZERO SCAN**: è la condizione opposta: non c'è scansione nel dominio della frequenza, ma del tempo, e quindi il display mostra l'andamento nel tempo del segnale rivelato; l'analizzatore si comporta come un ricevitore, ed il display come un oscilloscopio.

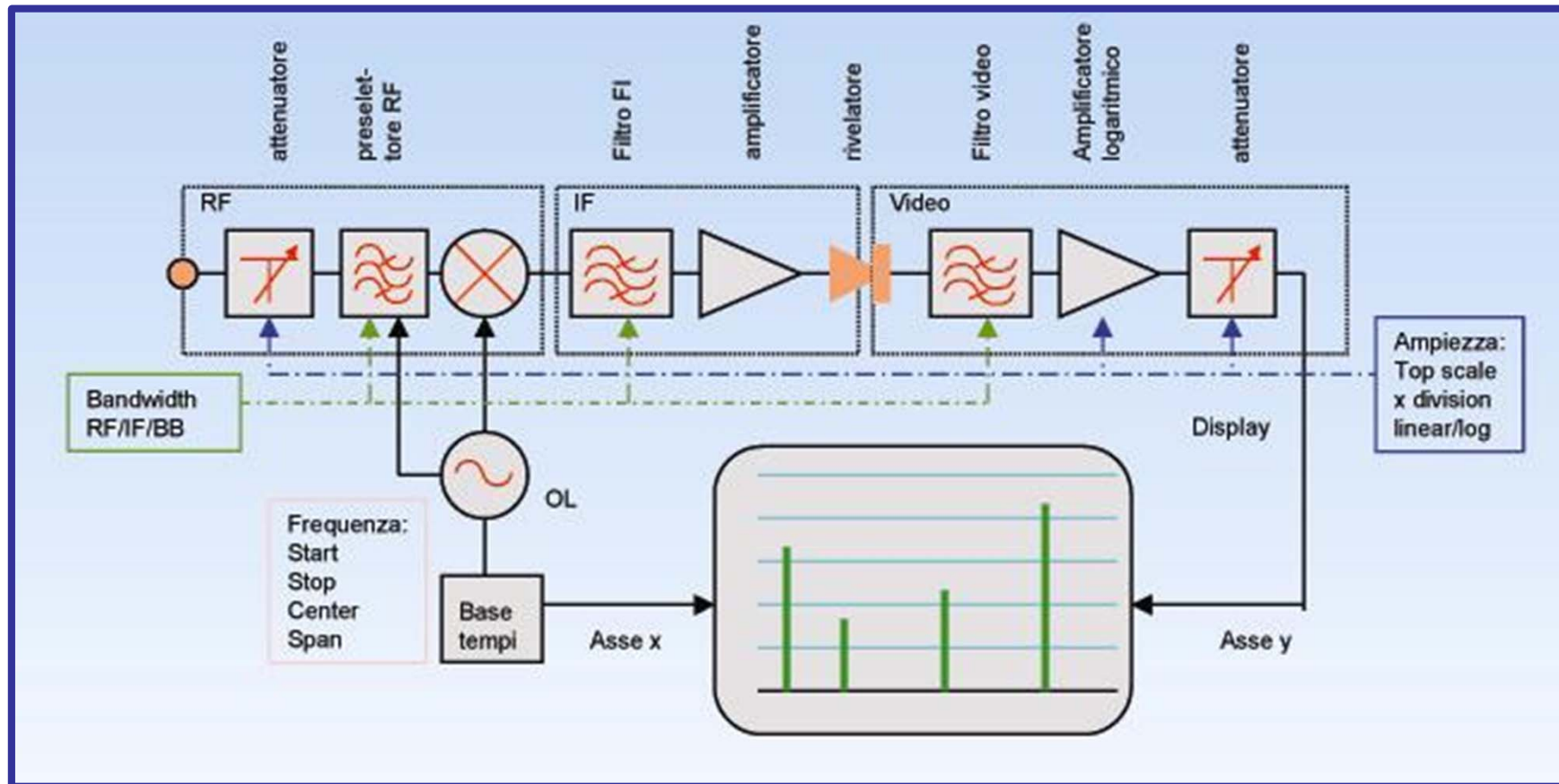
Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

I parametri dell'analizzatore di spettro

- 5. **RBW (Resolution BandWidth)**: indica la selettività dello strumento, ovvero la larghezza di banda a 3 dB del filtro IF. Due segnali molto vicini possono venire discriminati se si sceglie un valore di RBW inferiore alla loro distanza.
- 6. **VBW (Video BandWidth)**: è il filtraggio realizzato in banda base (video) che permette di filtrare (con taglio passa-basso mediante un processo di averaging) il segnale dopo la rivelazione.
- 7. **SCAN TIME**: è il tempo di passaggio di una singola traccia sul display.
- 8. **SENSITIVITY**: indica la minima ampiezza che l'analizzatore riesce a rivelare. La sensitivity dipende sostanzialmente dal rumore proprio dello strumento, che a sua volta dipende dalla larghezza del filtraggio a frequenza intermedia.

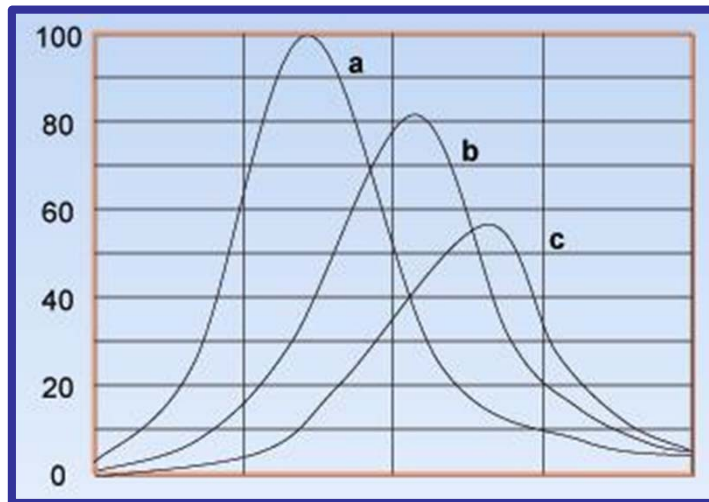
Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

L'analizzatore di spettro



Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Relazione tra SCAN e RBW



Il **tempo di risposta finito** del **filtro** a frequenza intermedia non consente di **ridurre** oltre un certo limite la **RBW** senza dover anche **rallentare** la **velocità di scansione**.

Lo **stesso impulso**, esaminato con tempi di scansione crescenti ($T_a < T_b < T_c$) mostra un progressivo **degrado** sia nell'**ampiezza** (vedi l'*altezza del picco*), sia nella **frequenza** (vedi la *posizione del picco* sull'asse delle frequenze).

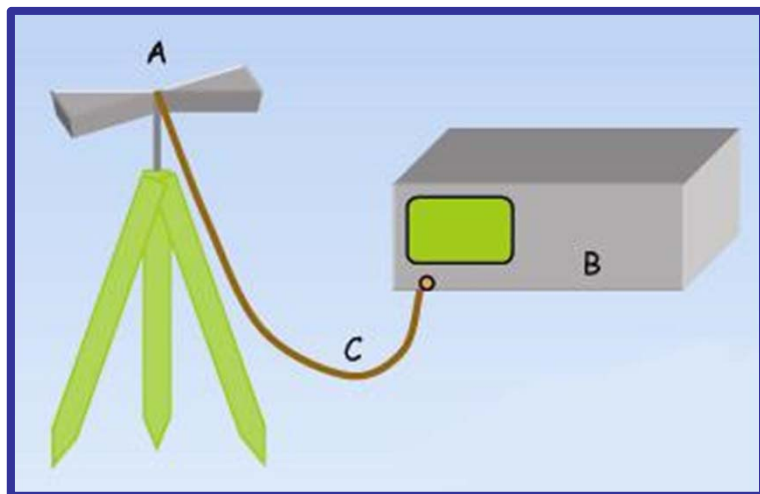
In generale, tuttavia, l'analizzatore dispone di **controlli** che correlano e determinano automaticamente i parametri che concorrono alla **precisione dello strumento**, ovvero:

- **SPAN** (*estensione della banda esplorata*)
- **RBW** (*larghezza del filtro di misura*)
- **SCAN TIME** (*tempo di scansione*)

In caso di **impostazioni manuali errate** le prestazioni del misuratore sono di fatto **degradata**, e lo strumento evidenzia una **segnalazione di errore**.

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Procedura per misure selettive



L'acquisizione dello spettro viene fatta in **MAX-HOLD** per un tempo sufficiente a **stabilizzare i valori di picco** (alcune *decine di secondi*).

Effettuare la **misura** adeguando i parametri dell'analizzatore alle **caratteristiche della sorgente** (vedi *Guida Tecnica ANPA*) :

Sorgente	Radio BW	Video BW	Span	Sweep
Radio AM	10 KHz	10 Hz	200 KHz	50 ms
Radio FM	30 KHz	30 KHz	5 MHz	50 ms
TV (video)	1 MHz	300 KHz	9 MHz	50 ms
TV (audio)	30 KHz	30 KHz	9 MHz	50 ms
TACS	30 KHz	30 KHz	5-10 MHz	50 ms
GSM	100-30 KHz	100-30 KHz	5-10 MHz	50 ms

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Alcune tipologie di sorgenti: RADIO AM

- Gli impianti radio broadcast in **Onde Medie** emettono nella banda da **0.6 a 1.6 MHz** in **modulazione d'ampiezza**, con **lunghezze d'onda** dell'ordine delle **centinaia di metri (200÷500 m)**.
- Le **problematiche di misura** sono consistenti sia con il metodo a banda larga sia con il metodo selettivo: infatti, data la **grande lunghezza d'onda**, difficilmente si uscirà dalla **zona di campo vicino**. Si rende quindi necessario **rilevare separatamente** campo elettrico **\underline{E}** e campo magnetico **\underline{H}** , mentre risulta **poco significativo** il valore di densità di potenza **\underline{S}** . **Verificare sempre il disaccoppiamento** (in funzione della polarizzazione) del gambo del sensore.
- In **AM** la **portante** ha valore **costante**, mentre la **modulazione varia in ampiezza e frequenza**. Con **$RBW = 10\text{ KHz}$** e **$VBW = 10\text{ Hz}$** è possibile misurare il **solo contributo della portante**.

Per risalire ad un valore comprensivo della modulazione stimata con ipotesi cautelativa all'80%, aggiungere 1,2 dB al valore misurato sulla sola portante.

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Alcune tipologie di sorgenti: MODULAZIONE DI FREQUENZA

- I segnali radio a **modulazione di frequenza (FM)** sono emessi nella banda **87.5 ÷ 108 MHz**, e la **potenza d'uscita** del trasmettitore è **costante** al variare della modulazione; i **canali distano** nominalmente **150 KHz**, mentre la **banda** necessaria per una emissione **stereo** è di **256 kHz**; talvolta capita di trovare stazioni che trasmettono su frequenze distanti soli 100 kHz.
Una **RBW < 50 KHz** consentirà comunque di **risolvere segnali adiacenti**.
- Le **misure a banda larga** non presentano difficoltà particolari, anzi si potrebbero considerare le **meno difficoltose in assoluto**.
- Le **misure selettive** invece presentano **alcune difficoltà**: la principale è la **dimensione dell'antenna**, se si considera che la **lunghezza d'onda** in banda FM è di circa **3 m**. Un'antenna con dipolo $\lambda/2$ tipicamente può essere utilizzata **all'aperto**, mentre ne è **sconsigliato l'uso** in ambienti **domestici o ristretti**. In questo tipo di ambienti sarà invece necessario utilizzare un **sensore di dimensioni limitate**, per evitare una possibile perturbazione dei campi misurati. 76

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Alcune tipologie di sorgenti: CANALI TELEVISIVI

In Italia i segnali TV sono emessi nelle seguenti bande:

- **Banda I**
*(pochi impianti, prevalentemente sul canale **B** = 61÷68 MHz)*
- **Banda III**
(8 canali larghi 7 MHz, tra 174 e 230 MHz)
- **Banda IV**
(17 canali larghi 8 MHz tra 470 e 606 MHz)
- **Banda V**
(32 canali larghi 8 MHz, tra 606 e 862 MHz)

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Alcune tipologie di sorgenti: CANALI TELEVISIVI

Le misure selettive richiedono una particolare attenzione:

- **1.** La caratteristica dei **segnali TV analogici** è la presenza di **due portanti** (*video e audio*) fra loro **distanti 5,5 MHz**, che vanno **valutate separatamente**.
- **2.** La **portante audio** (di *frequenza più alta*) è **modulata in frequenza** e va **rilevata** esattamente come i **segnali** in banda **FM**, senza particolari avvertenze.
- **3.** La **portante video** (di *frequenza più bassa*) è **modulata in ampiezza**, ed il **contributo principale** è il **picco del sincronismo**, che ha **indice di modulazione del 100%**. Per determinare il **livello del segnale video**, occorre **valutare in Max-Hold il picco di sincronismo**; **riducendo** quindi tale valore di **2,7 dB**, si ottiene un **livello efficace cautelativo** del segnale video corrispondente alla **modulazione di un quadro tutto nero**.
- **4.** Il **campo elettrico complessivo** del segnale TV va calcolato effettuando la **somma quadratica** del contributo video (calcolato come al punto 3) e il 78 contributo audio (punto 2).

Analizzatore di spettro per misure a banda stretta

Alcune tipologie di sorgenti: CANALI NOISE-LIKE

- Un **canale con modulazione numerica** (come i **CDMA** della telefonia 3G o i canali della **TV digitale**) presentano un **involuppo di potenza praticamente continuo**. La **misura a larga banda** può essere eseguita con le **modalità già descritte**; per quanto invece riguarda la **misura a banda stretta** è necessario adottare **nuovi criteri**, che riguardano la **strumentazione selettiva in frequenza**.
- E' opportuno innanzitutto **evitare** l'impiego di **antenne direttive** (meglio il dipolo o la biconica) ed è consigliabile applicare la **metodologia di misura Channel Power**, **simulando** con ciò una **misura di potenza di rumore entro una determinata banda di frequenza**.
- Utilizzando un **analizzatore di spettro** che ovviamente disponga di questa routine, occorre **predisporre la larghezza di banda** su cui si vuole realizzare l'integrazione (ovvero la *banda che contiene l'informazione*), nonché il **numero di medie** (che *sostituisce la funzione Max-Hold*) in modo che il **tempo complessivo di misura** (valutato *in funzione dello Sweep Time*) corrisponda a **6 minuti**.
- Il valore di **campo elettrico** va calcolato seguendo l'approccio della **Guida CEI 211-7** e relative Appendici.

Procedura di misura a banda stretta

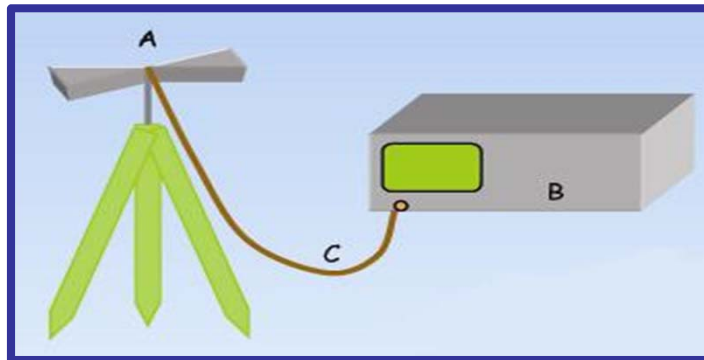
Isotropia e polarizzazione

ANTENNE DIRETTIVE/POLARIZZATE (*log-periodica, spirale-conica, tromba*):

Per **ciascuna portante**, occorre **puntare l'antenna** per il massimo segnale ricevuto; quindi si rilevano i **valori dell'ampiezza della portante**, su due polarizzazioni fra loro **incrociate**.

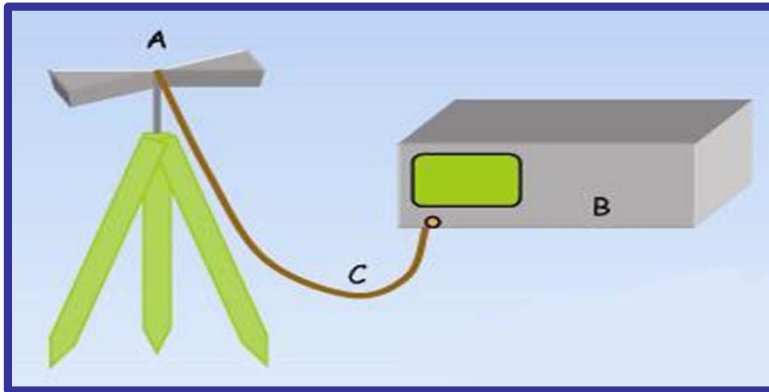
ANTENNA CON MOVIMENTO TRIASSIALE (*rod, biconica, loop*):

Si acquisiscono **tre distinti spettri** su **tre assi comunque orientati** nello spazio, ma necessariamente **fra loro ortogonali**. Per ogni spettro, vengono rilevati i **valori di ampiezza** che caratterizzano ciascuna delle **portanti individuate**.



Procedura di misura a banda stretta

In caso di elevati valori di campo



Occorre adottare **precauzioni** quando l'**intensità di campo** sia particolarmente **elevata**:

- **1.** Scegliere la postazione dell'analizzatore **B** (il campo elettrico **E** non deve superare il valore di immunità dichiarata dal Costruttore)
- **2.** E' opportuno utilizzare in **C** un *cavo "ferritato"*, ovvero dotato di **anelli di ferrite** che **blocchino** le **correnti a RF** sulla calza
- **3.** Verificare che l'analizzatore lavori in **zona lineare**, interponendo
attenuatori d'ingresso

Procedura di misura a banda stretta

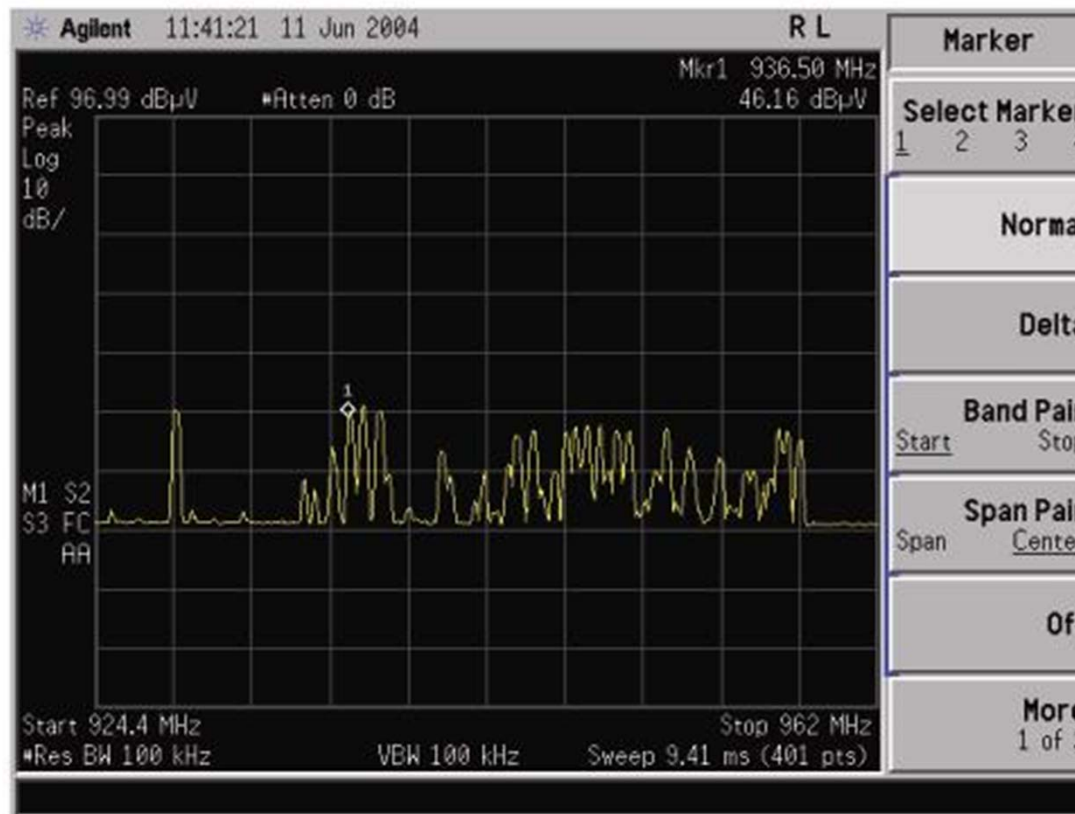
Strumentazione per misure selettive



Banco di misura ad alimentazione autonoma per rilevazioni sul campo 82

Procedura di misura a banda stretta

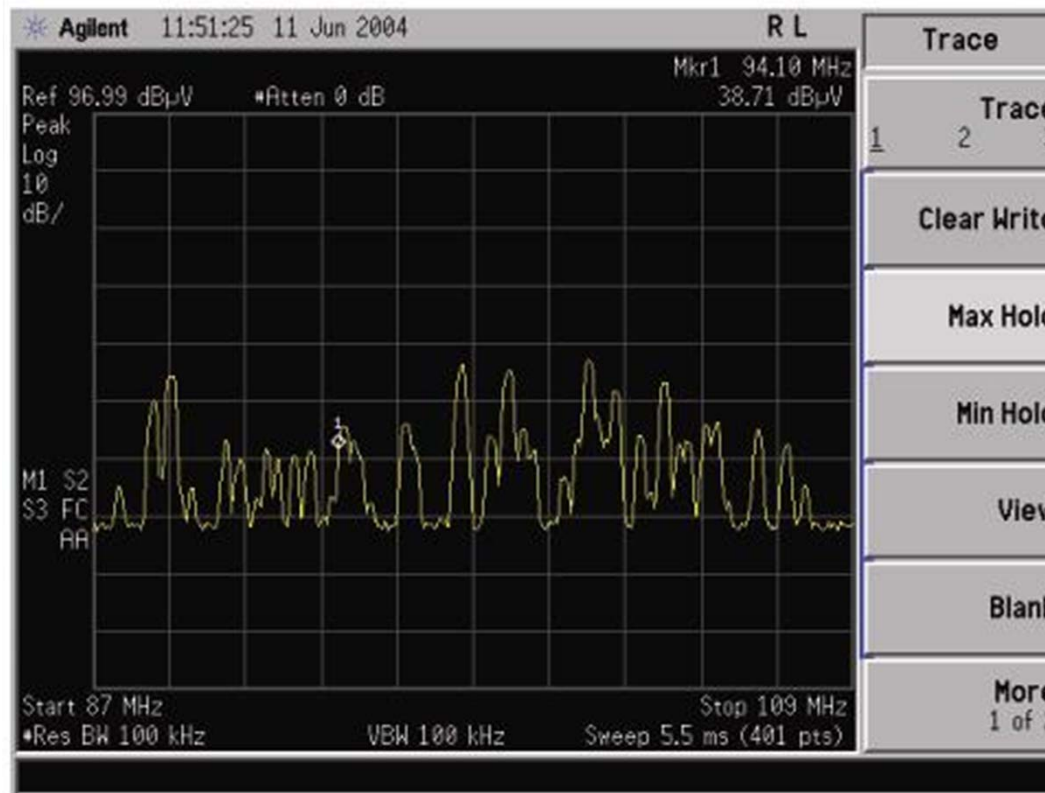
Misure selettive



Spettro di emissioni GSM

Procedura di misura a banda stretta

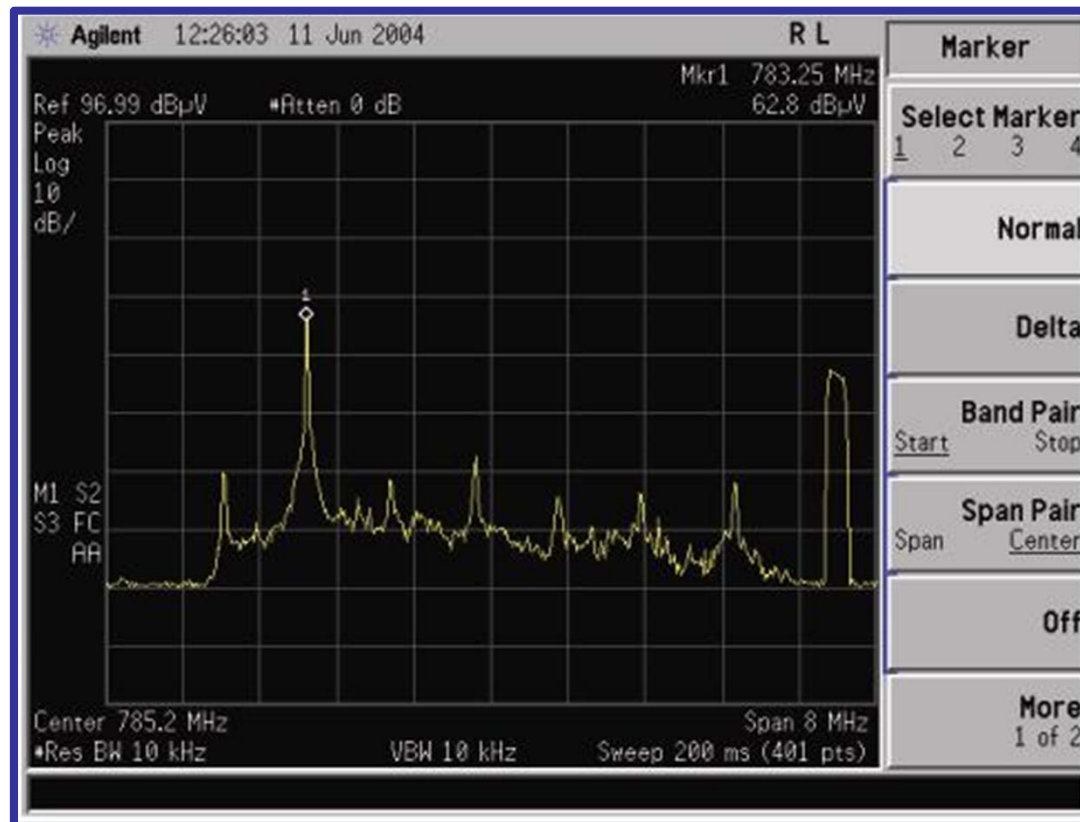
Misure selettive



Spettro di segnali broadcast FM

Procedura di misura a banda stretta

Misure selettive



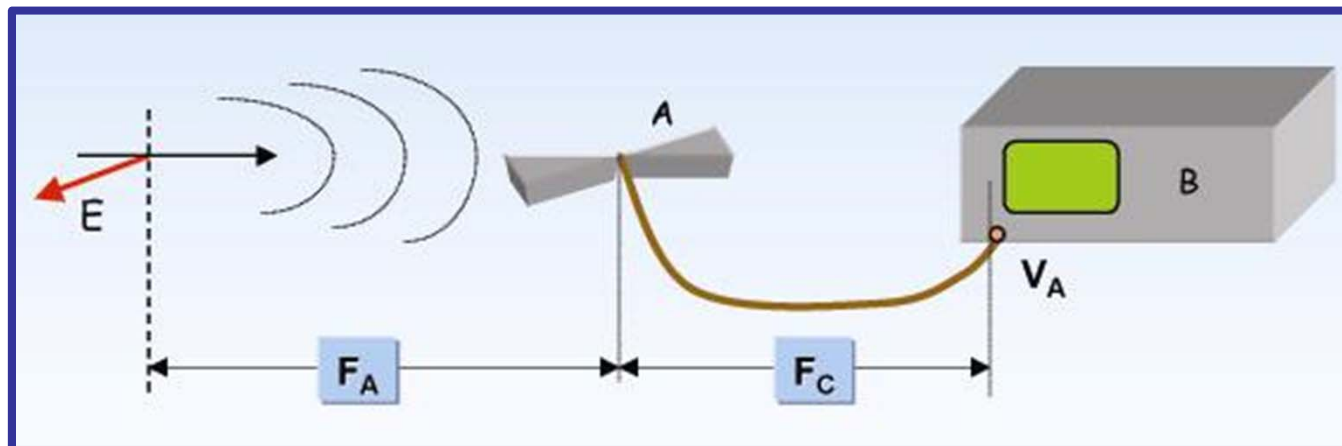
Spettro di canale analogico di broadcast TV

Procedura di misura a banda stretta

Valori della misura selettiva

- Come visto, la **misura selettiva** consente di individuare le **portanti** con livello significativo nel sito di misura.
- Per ogni **portante individuata**, una singola impostazione di **misura** consente di **rilevare** sullo **schermo dell'analizzatore** un **valore** espresso in **tensione** (tipicamente μV), che supponiamo di ampiezza V_A .
- Quindi occorre **ricavare**, dai dati di **targa** forniti dai **Costruttori**, in **corrispondenza della frequenza della portante**, due **fattori numerici**:

- Il FATTORE d'ANTENNA F_A
- L'ATTENUAZIONE del CAVO F_C



Procedura di misura a banda stretta

Valori della misura selettiva

Misurando un singolo vettore di campo elettrico, il valore di \underline{E} , partendo dal risultato V_A della misura, è dato da:

$$E_{[\mu V/m]} = V_{A[\mu V]} \cdot F_A \cdot F_C$$

Questa relazione più spesso è data in dB:

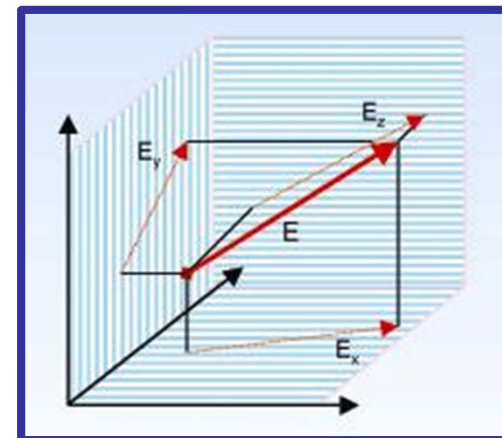
$$E_{[dB\mu V/m]} = V_{A[dB\mu V]} + F_{A[dB]} + F_{C[dB]}$$

Al fine di ottenere il modulo E_V del vettore rappresentativo del campo elettrico, questa procedura va ripetuta per ciascuno degli assi su cui sono stati raccolti i valori di campo \underline{E} . Se la misura è stata effettuata su tre assi x, y, z :

$$E_V = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

E_V rappresenta quindi il valore del campo elettrico relativo alla portante individuata, nel punto corrispondente al centro elettrico dell'antenna. La potenza corrispondente P sarà data da:

$$P_{[Watt]} = E^2 / \zeta_0 = E^2 / 377\Omega$$



Procedura di misura a banda stretta

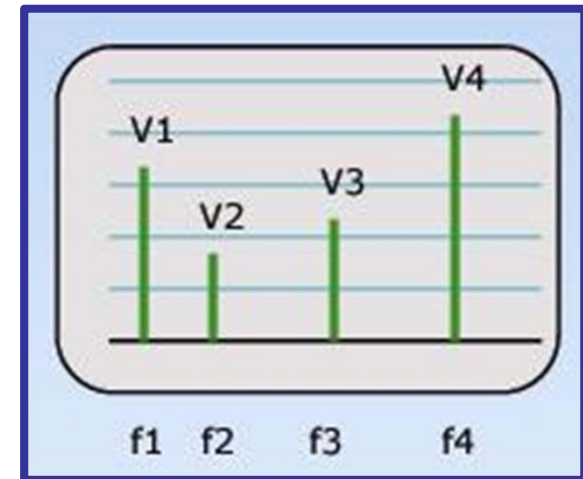
Valori della misura selettiva

In presenza di **più portanti**, il valore in **potenza complessivo** P_T corrisponde alla **somma** delle **potenze delle singole portanti**:

$$P_{T[Watt]} = P_{1[Watt]} + P_{2[Watt]} + P_{3[Watt]} + P_{4[Watt]}$$

Se invece è richiesto il **valore complessivo** E_T del campo elettrico, occorre calcolare il **valore quadratico medio** dei valori elettrici precedentemente ricavati:

$$E_T = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + E_4^2}$$



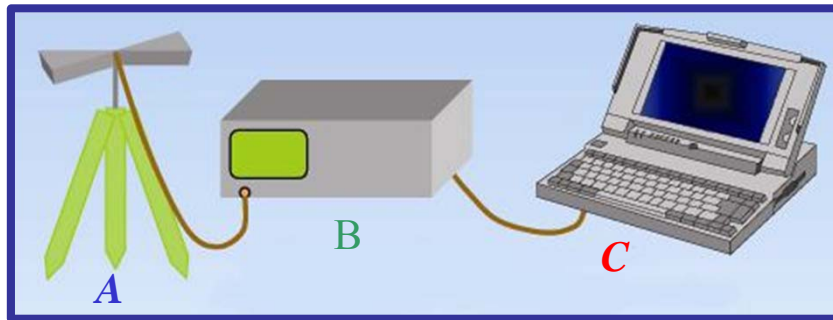
Spesso l'analizzatore fornisce una **lettura** in **dBm** (dB riferiti alla potenza di 1 mW). Si ricorda che è possibile passare dal valore in **dBm** a quello in **dBμV** con la relazione:

$$dB\mu V = dBm + 10 \log_{10} R_C + 90$$

Per $R_c = 50 \text{ Ohm}$ si ha la relazione generale: $dB\mu V = dBm + 107$

Procedura di misura a banda stretta

Misure selettive automatiche



A = Antenna a larga banda,
orientabile su tre assi
B = Analizzatore di spettro
C = PC equipaggiato con software di
lettura e calcolo vettore

Il banco di misura illustrato sopra consente di eseguire **misure selettive** con **procedura automatizzata**.

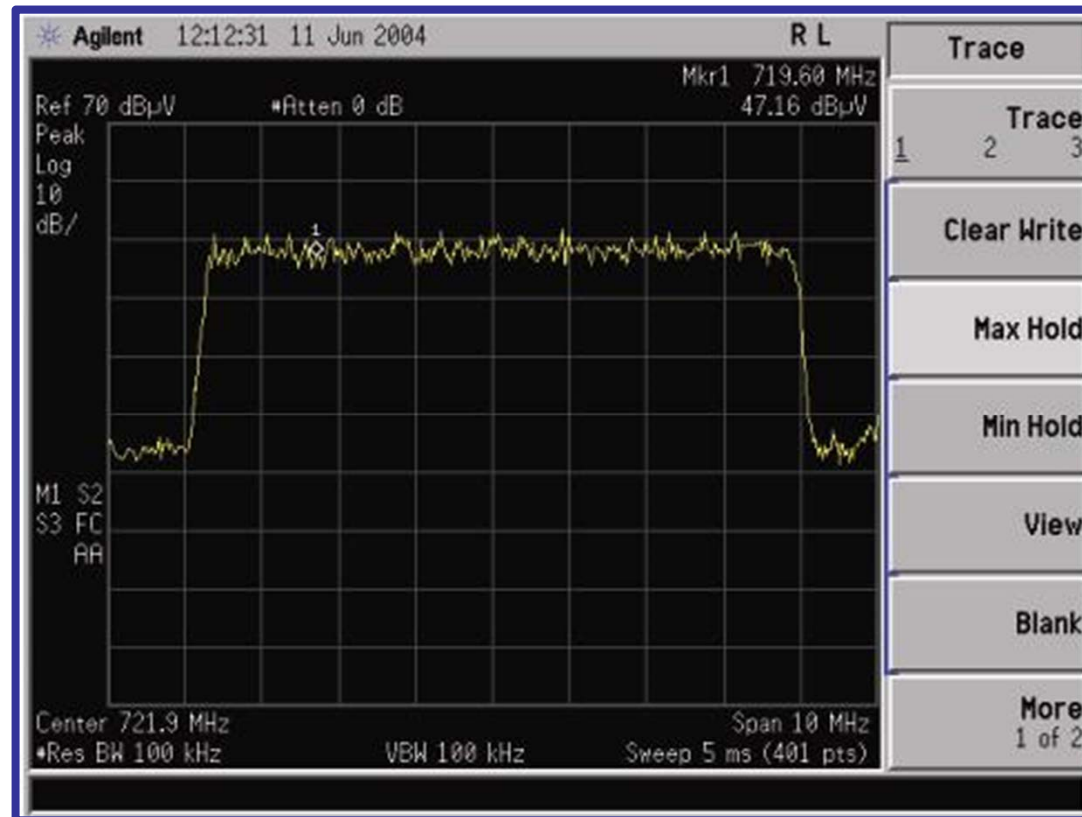
Attraverso il **software** presente in **C** è possibile **dialogare** con l'**analizzatore B**, definendo tutti i **parametri della misura**; i **valori rilevati** vengono **memorizzati** in **C**, che al termine della misura effettua, per ognuna delle frequenze individuate, un **semplice calcolo** il cui **algoritmo** è il seguente:

$$E_v = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2}$$

dove E_1, E_2, E_3 sono i **valori in ampiezza** rilevati rispettivamente con gli **orientamenti 1, 2, 3** dell'antenna. Il valore E_v rappresenta dunque il **modulo** del vettore di **campo elettrico** relativo alla **portante misurata**.

Procedura di misura a banda stretta

Misure selettive



Spettro di canale broadcast digitale DTT

Procedura di misura a banda stretta

Misure su segnali CDMA

Avvertenze per una corretta misura di segnali a larga banda

- Nel caso di **misure** su segnali **noise-like**, occorre utilizzare la routine **Channel-Power** offerta da strumenti di **fascia alta**.
- A meno di effettuare le **misure in spazio libero**, a distanza da ostacoli e dal terreno, la forma dello **spettro del segnale misurato** è soggetta a **fading selettivi**, che si manifestano in **variazioni** più o meno accentuate della **piattezza dello spettro**.
- L'impiego di un'**antenna di misura direttiva** può dar luogo ad un'eccessiva **sovrastima**, a causa degli ipotizzati **fading selettivi**. La **Norma CEI 211.7** suggerisce l'utilizzo di **antenne a bassa direttività (dipolo accordato o biconica)**.
- La **Integration Bandwidth** va settata a **5 MHz** per i canali **W-CDMA**, e a **8 MHz** per i canali **DTT**.

Procedura di misura a banda stretta

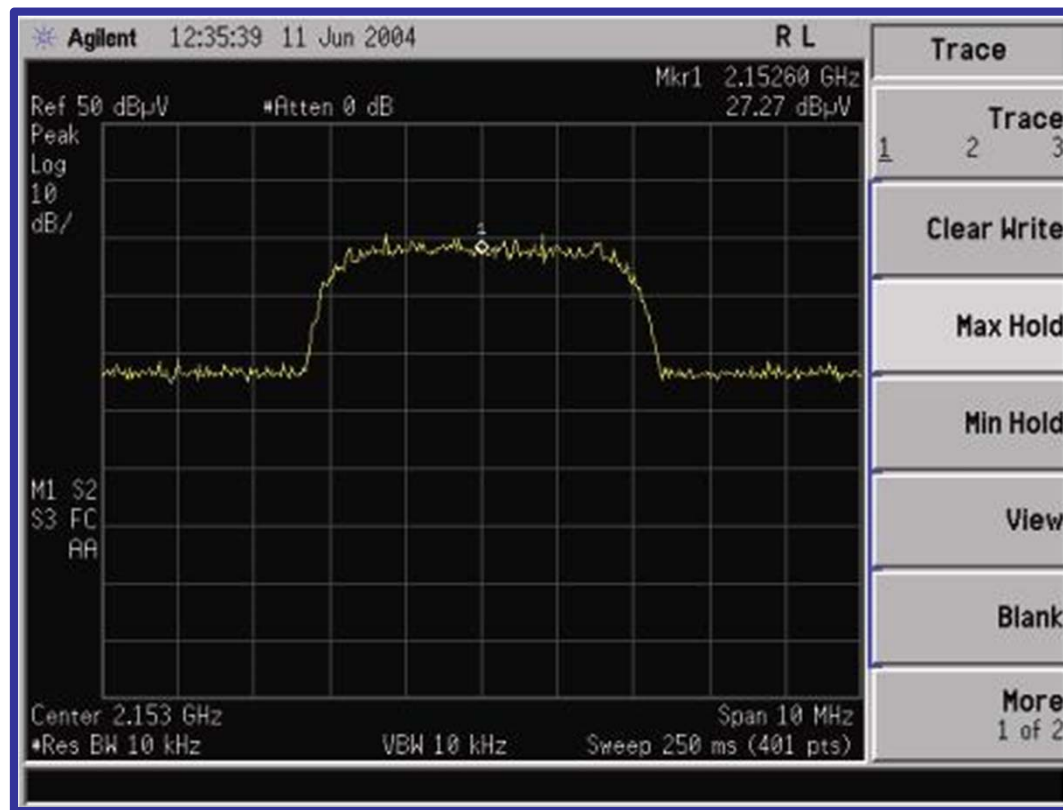
Misura Channel Power

Parametri su Spectrum Analyzer	Misura canali TACS	Misura canali GSM/DCS	Misura canali UMTS
RBW	30 KHz	100 KHz	100-300 KHz
VBW	30 KHz	100 KHz	≥ 3 RBW
SPAN	5 MHz	5-10 MHz	5 MHz
Sweep Time	50-100 ms	50-100 ms	funz. del rivelatore e tempi acquisizione
Trace	Max Hold	Max Hold	
Channel spacing			5 MHz
Channel BW			5 MHz

**Parametri impostati sull'Analizzatore di Spettro
per diverse tipologie di segnali per telefonia radiomobile**

Procedura di misura a banda stretta

Misure selettive



Visualizzazione di canale CDMA in banda UMTS

Procedura di misura a banda stretta

Misure su segnali CDMA

Misurando **segnali di reti radiomobili** con tecnica di accesso multiplo **CDMA**, può rendersi necessario **estrapolare** il cosiddetto **valore “di massimo esercizio”**, corrispondente alla **potenza massima autorizzata** per quel determinato Gestore in quella **determinata cella**.

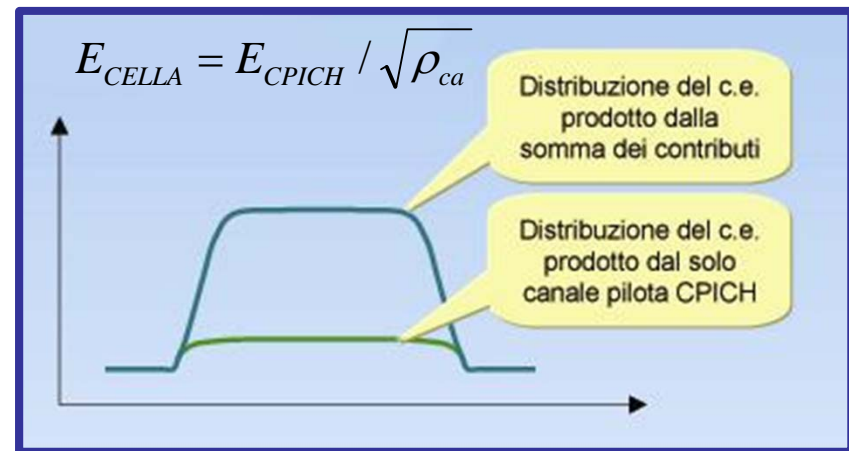
L'**estrapolazione** richiede alcune **precauzioni**:

- Il **rivelatore** deve essere di tipo “*sample*” o meglio “*RMS*”, non “*peak*” o “*negative peak*”
- Occorre **misurare**, se possibile, il **contributo di campo** E_{CPICH} associato al **solo canale CPICH**, e quindi applicare l'equazione:

$$E_{CELLA} = E_{CPICH} / \sqrt{\rho_{ca}}$$

dove ρ_{ca} è un **parametro di rete** noto al Gestore, e tipicamente pari a **0,1**.

- Qualora non risulti possibile rilevare **separatamente** E_{CPICH} resta la possibilità di eseguire la **misura di Channel Power** in condizioni di **minimo traffico**.



Procedura di misura a banda stretta

Misure su segnali CDMA

Con ricevitore vettoriale

- Con questo strumento, capace di effettuare **misure nel dominio dei codici**, è possibile **misurare direttamente** la sola **potenza associata al canale pilota della cella sotto misura**, e successivamente **stimare il campo elettrico in condizioni di massimo traffico della cella**.
- Poiché ρ_{ca} esprime il rapporto tra la potenza connessa col canale **CPICH** e quella massima trasmissibile, allora:

$$E_{CELLA} = E_{CPICH} / \sqrt{\rho_{ca}}$$

dove E_{CPICH} è il valore del **campo elettrico misurato** e E_{CELLA} è il valore del **campo elettrico estrapolato**

Con analizzatore di spettro

- Verificare che il **punto di misura** sia posizionato in modo da garantire che il **segnale dominante** sia quello della **cella sotto indagine** (rapporto **1 a 10** rispetto a celle adiacenti).
- Il **rivelatore** deve essere di tipo “*sample*” o meglio “*RMS*”, non “*peak*” o “*negative peak*”
- Qualora **non risulti possibile rilevare** separatamente E_{CPICH} resta la possibilità di eseguire la **misura di Channel Power** in condizioni di **minimo traffico**.

Procedura di misura a banda stretta

Misure su segnali CDMA

Avvertenze nell'impiego dell'analizzatore di spettro

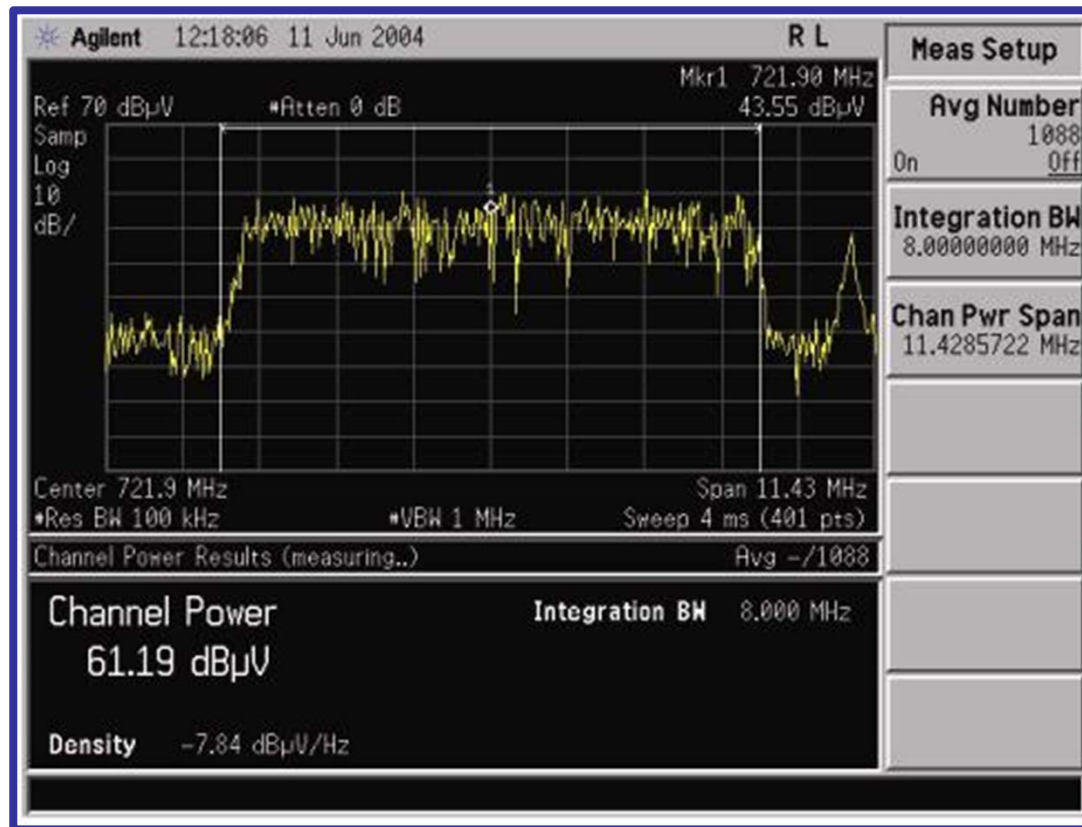
- Dovrà essere noto il parametro ρ_{SA} che rappresenta la percentuale di potenza dedicata a tutti i canali di controllo sempre presenti, rispetto alla massima potenza erogabile dalla BTS.
- In attesa di linee guida, è possibile quantificare il parametro ρ_{SA} secondo le indicazioni di **3GPP**, su un valore di $\rho_{SA}=19\%$
- Dividendo la potenza associata ai canali di controllo E_{can_CONTR} per ρ_{sa} si ottiene la misura associata alle condizioni di potenza massima erogabile dalla cella, quindi:

$$E_{CELLA} = E_{can_CONTR} / \sqrt{\rho_{SA}}$$

- In definitiva, la potenza di canale CP viene calcolata dall'analizzatore –una volta fissata la frequenza centrale e lo SPAN, nonché definendo la banda di integrazione – a partire dalla traccia misurata, pixel per pixel, mediante integrazione numerica.
- Occorre ricordare che UMTS applica il riuso unitario delle frequenze, e quindi la misura selettiva deve essere preceduta verificando che il contributo della cella sotto misura sia dominante rispetto a quelli delle celle adiacenti, che comunque contribuiranno a sovrastimare la misura.

Procedura di misura a banda stretta

Misure selettive



Misura di CHANNEL POWER su segnale digitale DTT

Calibrazione delle antenne

La calibrazione delle antenne è effettuata con diversi schemi di misura:

- per frequenze *fino a qualche centinaio di MHz* le celle TEM permettono la realizzazione di un campo noto. Recentemente le celle GTEM permettono di estendere la calibrazione fino a qualche GHz;
- nella banda delle *microonde* vengono impiegati, come generatori campioni di campo, guide d'onda standard e antenne a tromba in una camera anecoica schermata;
- i *sensori di campo magnetico* sono calibrati usando il campo generato da un'antenna a spira di geometria nota;
- i *sensori di campo elettrico* sono calibrati per confronto con dipoli campioni accordati nelle bande VHF e UHF