

considerazioni sulla **ricezione** delle onde medie

IOZV, Francesco Cherubini
IOFDH, Riccardo Gionetti

Per meglio comprendere la necessità di una buona installazione di antenna sarà opportuno riassumere brevemente, sebbene tali concetti dovrebbero essere già noti, le caratteristiche delle onde elettromagnetiche e alcuni principi fondamentali che le caratterizzano.

Le onde elettromagnetiche, generate da un oscillatore e opportunamente amplificate, sono irradiate nello spazio mediante una **antenna** che rappresenta il mezzo di adattamento tra il trasmettitore e lo spazio, che una volta si chiamava « Etere ».

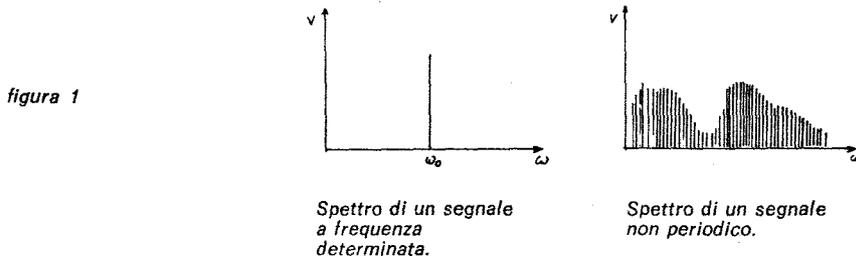
L'onda irradiata dall'antenna rappresenta una energia di natura elettromagnetica che ha la capacità di propagarsi a distanza: quindi con opportuni dispositivi rivelatori può essere captata anche a distanze grandissime.

Per captare le onde elettromagnetiche si dovrà disporre di un opportuno organo di ricezione che è precisamente l'impianto di antenna di ricezione, che a sua volta rappresenta anche la parte più importante di una qualsiasi stazione ricevente.

Prima di scendere nei dettagli dell'impianto di antenna sarà utile parlare di altre onde elettromagnetiche esistenti nello spazio, con caratteristiche simili a quelle delle onde radio e che sono perciò ricevute contemporaneamente a quelle « desiderate ». Le onde « indesiderate » rappresentano un disturbo o interferenza; esse sono prevalentemente create dall'umanità (meglio dire dalle attività umane), mentre in misura meno importante sono di origine naturale, come i segnali che provengono dallo spazio, dal sole, da scariche temporalesche, ecc. ...

Le interferenze di natura umana sono prodotte ogni volta che varia bruscamente lo stato di un circuito elettrico: per esempio l'apertura o chiusura di un interruttore produce una scintilla elettrica che genera sul circuito una forza elettromotrice oscillante ad alta frequenza che si smorza rapidamente. La scintilla, dunque, genera una radiazione elettromagnetica che viene irradiata nello spazio come quella emessa da un trasmettitore. La differenza sostanziale con le onde irradiate dai trasmettitori consiste nel fatto che la scintilla non ha una lunghezza d'onda determinata, bensì presenta uno spettro quasi continuo.

In figura 1 sono rappresentati gli spettri di frequenza di una onda elettromagnetica a frequenza nota e quello generato da una scintilla.



Nel caso delle scintille l'energia irradiata risulta essere minima e la loro propagazione è dovuta soprattutto ai conduttori elettrici collegati alla sorgente disturbatrice.

Quindi nasce spontaneo il problema di ricevere nel miglior modo possibile le onde elettromagnetiche utili e di limitare quelle dovute ai disturbi.

Nello spazio si irradiano quindi onde elettromagnetiche di diversa natura e provenienza, pertanto è bene farne una classificazione:

- 1 - Onde elettromagnetiche generate dai trasmettitori;
- 2 - Onde elettriche generate dalle scariche elettrostatiche nell'atmosfera;
- 3 - Nelle zone abitate si manifesta un forte addensamento di disturbi elettromagnetici generati dalle migliaia di scintille provocate da elettrodomestici, motori, interruttori, luci al neon, falsi contatti, ecc., i quali, in piccola parte, si irradiano a distanze limitate, in parte maggiore si propagano lungo le linee elettriche o provocano induzioni in altre masse metalliche.

Le onde elettromagnetiche del punto 1 avendo una ben determinata frequenza possono essere ricevute una alla volta da un ricevitore a cui si richiede una buona selettività per poter discriminare due segnali adiacenti. Le onde elettromagnetiche del punto 2 e 3 non avendo una frequenza determinata possono spaziare entro un ampio spettro di frequenze per cui nel ricevitore non è possibile discriminare il segnale utile dal disturbo se questo, appunto, copre anche la frequenza ricevuta.

Normalmente i disturbi di origine atmosferica sono assai limitati, d'inverno sono trascurabili, d'estate assumono una certa importanza di giorno e diventano molto consistenti in condizioni temporalesche.

I disturbi locali, quelli del punto 3, assumono una certa importanza nelle città e nelle zone industriali; data la loro natura e la loro scarsa capacità di propagazione possono essere ridotti drasticamente con l'ausilio di alcuni accorgimenti.

Applicando appositi dispositivi, in genere filtri costituiti da condensatori e induttanze, è possibile ottenere di eliminare le scintille. Purtroppo tale applicazione va fatta individualmente su ogni apparecchiatura che provoca disturbi; e in assenza di norme tassative in merito, o i dispositivi sono ignorati e non applicati o non se ne controlla l'efficienza. In taluni casi, come nelle insegne luminose, basta un contatto difettoso a creare disturbi ricevibili a distanze di centinaia di metri e più; i disturbi dovuti all'accensione delle auto, su frequenze piuttosto alte, sono ricevibili anche a 1 km di distanza.

Poiché non è possibile, per il singolo generico ascoltatore, agire in modo da eliminare alla fonte questi disturbi, occorre agire sul sistema di antenna, in modo da attenuare la ricezione di questi disturbi. Se si effettuano delle misure sulla intensità dei segnali ricevibili, si nota che, in aperta campagna, la forza dei segnali aumenta proporzionalmente all'altezza dal suolo. In città, invece, la situazione è alquanto diversa. Le masse metalliche esistenti negli edifici (tubazioni, travature, armature per il cemento, cavi) e anche le stesse costruzioni in muratura, si comportano da semiconduttori, con il risultato che l'intensità del campo magnetico decresce rapidamente procedendo dall'alto verso il basso.

Ripetute esperienze hanno mostrato che, per avere la stessa intensità di campo (facendo riferimento alla stessa altezza e a un campo uniformemente distribuito), ci si deve sovrarelevare, rispetto alla sommità dell'edificio, di almeno un paio di metri, in media.

Per dare una rappresentazione intuitiva del fenomeno, la figura 2 dà la distribuzione, in termini orientativi, del rapporto segnale-disturbo.

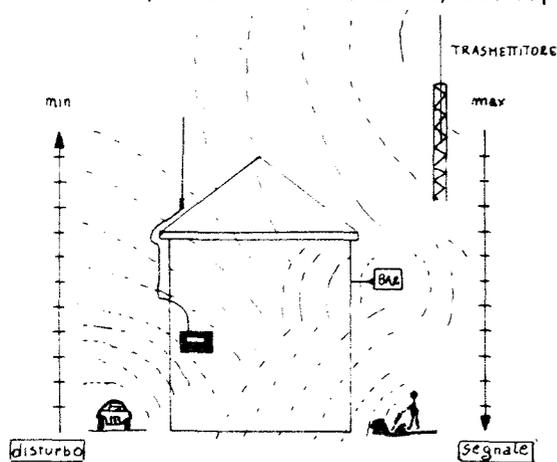


figura 2

Distribuzione dei disturbi e dei segnali in un quartiere di città.

il rumore è più denso al primo piano sul livello stradale, dato che a tale altezza troviamo le linee elettriche dei tram, molte linee elettriche e telefoniche, insegne luminose, ecc.

Spostandosi verso i piani più alti, il livello dei disturbi diminuisce, perché le sue stesse masse semiconduttrici (muri, armature, ecc.) che attenuano i segnali provenienti dall'alto, provvedono a indebolire i disturbi provenienti dal basso. Arrivando a qualche metro sopra il tetto di un edificio, i disturbi sono quasi scomparsi.

A conclusione di quanto detto viene spontaneo che si deve installare l'antenna nel punto più alto dell'edificio per ottenere il duplice vantaggio di:

- ottenere il massimo dell'intensità di segnale;
- ridurre i disturbi.

Esprimendo queste considerazioni in termini matematici si ha la definizione del rapporto segnale/disturbo:

$$F = S/N; \quad S = \text{intensità di segnale}; \quad N = \text{intensità del rumore.}$$

Tanto più elevato è il rapporto segnale/rumore tanto è migliore la ricezione; per una ricezione discreta F dovrà essere almeno 50. Con un impianto di

antenna ben studiato si possono raggiungere dei valori molto più elevati: 150 ÷ 200. A seconda delle disponibilità di spazio si possono avere tipi di antenne che rispondono più o meno bene ai requisiti detti precedentemente. Si possono avere i seguenti tipi di installazione di antenne:

- Antenne di emergenza o provvisorie;
- Antenne interne;
- Antenne esterne;
- Antenne esterne con discesa schermata.

Antenne di emergenza

Nelle antenne di emergenza si possono includere le antenne a tappo, le filari corte (pezzo di filo buttato a terra), il collegamento al tubo dell'acqua o del termosifone.

La più **inefficiente** è senza alcun dubbio la filare in quanto ha ridotte dimensioni e inoltre è immersa in un campo debole per quanto riguarda il segnale utile.

Le antenne « tappo luce » e « tubo dell'acqua » danno dei migliori risultati rispetto alla precedente in quanto hanno un'estensione fisica decisamente maggiore, per cui hanno una maggiore possibilità di ricezione.

Per quanto riguarda il rapporto segnale/disturbo esso è molto basso in quanto tutti tre i tipi di antenna sono, diciamo, completamente immersi nel rumore, addirittura l'antenna tappo-luce da questo punto di vista ha un comportamento disastroso in quanto capta non solo i disturbi indotti, ma anche quelli generati lungo la stessa rete.

Antenne interne

A questo gruppo appartengono quelle antenne filari tese nello stesso locale ove viene installato anche l'apparecchio ricevente. Normalmente è una trecciola di rame di lunghezza variabile da pochi metri fino a 20 ÷ 30 m. A questo gruppo appartengono anche quelle « esterne » così definite perché tese sul balcone o fuori della finestra, e che, ai fini pratici, si comportano quasi come le interne.

Tali antenne rappresentano una discreta soluzione dal punto di vista della ricezione se l'ambiente è poco disturbato mentre se i rumori sono di una certa consistenza il miglioramento del rapporto segnale/disturbo rispetto alle antenne di emergenza è quasi nullo in quanto, pur presentando un effettivo aumento della tensione utile, il rapporto S/N rimane invariato perché il segnale del disturbo è anch'esso aumentato. Per questa ragione non ha alcun senso aumentare la lunghezza dell'antenna oltre un certo limite.

Antenne esterne

Rispetto alle antenne descritte precedentemente l'antenna esterna rappresenta la migliore soluzione per quanto riguarda il rapporto segnale/rumore; essa è sempre installata in alto per avere forti segnali e deboli disturbi. L'unico grosso inconveniente è rappresentato dalla linea di collegamento (discesa) tra l'antenna e il ricevitore, infatti la discesa non solo convoglia i segnali utili verso il ricevitore ma anche i disturbi che essa stessa raccoglie strada facendo. Se il ricevitore si trova in un ambiente poco inquinato dai disturbi si otterrà un effettivo miglioramento del rapporto segnale/disturbo; in realtà nelle città e in centri industriali la discesa è immersa nel rumore per cui l'aumento del rumore diventa tale da neutralizzare quasi tutti i vantaggi dell'antenna esterna.

Antenne con discesa schermata

Affinché i vantaggi dell'antenna esterna siano effettivi è necessario che la discesa non sia influenzata dal rumore oppure da altri segnali non provenienti dall'antenna; per far ciò è necessario usare una discesa schermata (o, in alcuni casi, una discesa bilanciata).

La discesa schermata è realizzata da un cavo coassiale il cui schermo se collegato a massa impedisce che nel conduttore centrale si possano creare tensioni indotte.

L'efficienza dell'antenna dipende anche dal ricevitore che deve essere anch'esso schermato affinché non capti direttamente i segnali non desiderati riducendo sensibilmente i vantaggi ottenuti con la discesa schermata.

In conclusione, un'antenna ben studiata nei suoi particolari (altezza rispetto al suolo, minimizzazione della lunghezza del cavo, tipo di cavo, presa di terra) consente di migliorare notevolmente il rapporto segnale/disturbo consentendo quindi la ricezione di tutti quei segnali che normalmente venivano soffocati nel rumore.

* * *

Antenne per MF

Dopo i precedenti discorsi a carattere generico, interessa esaminare le caratteristiche di un'antenna per le MF (= Medium Frequencies, cioè frequenze da 0,3 a 3 MHz), poiché, mentre abbondano le descrizioni di antenne per HF e VHF, quando si va su lunghezze d'onda superiori a 100 m, le cose cambiano parecchio: cambiano perché essendo le antenne usuali lunghe al massimo qualche decina di metri, risultano piccole rispetto alla lunghezza d'onda da ricevere, e cioè impedisce l'uso di antenne come le conosciamo per il campo delle « decametriche ».

Una antenna situata su di un edificio, mostra, in media, segnali dell'ordine di 1 mV per stazioni distanti e intorno ai 100 mV per una stazione locale. Tale energia ricevuta va ceduta al ricevitore; siamo nel caso generico di « generatore-carico » ove il generatore è l'antenna e il carico è il circuito di ingresso del ricevitore. Sappiamo inoltre che il massimo trasferimento di energia si realizza quando l'impedenza del generatore è uguale a quella del carico:

$$Z_0 = Z_r \quad \begin{array}{l} Z_0 = \text{impedenza di antenna} \\ Z_r = \text{impedenza di entrata del ricevitore.} \end{array}$$

Ora vediamo qual è la natura di quella grandezza che abbiamo definito impedenza di antenna (Z_0).

L'impedenza Z_0 può essere considerata come la somma di tre componenti, cioè

$$Z_0 = R_0 + X_{C0} + X_{L0} \quad \begin{array}{l} X_{C0} = \frac{1}{2\pi fC} \\ X_{L0} = 2\pi fL \end{array}$$

dove R_0 è la resistenza ohmica propria del conduttore che costituisce l'antenna, X_{L0} la reattanza induttiva e X_{C0} la reattanza capacitiva.

Nel caso di un'antenna per MF, la componente resistiva e quella induttiva risultano trascurabili rispetto a quella capacitiva. Perciò l'impedenza interna

di un'antenna dipende quasi esclusivamente dalla propria capacità e abbiamo quindi:

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi f C}$$

In conclusione, l'impedenza di un'antenna è tanto più bassa, quanto più grande è la sua capacità; e antenne di piccola capacità hanno impedenza elevata.

Allo scopo di calcolare l'impedenza, almeno in forma approssimativa, ci necessita conoscere la capacità.

La capacità dell'antenna dipende da diversi parametri quali: altezza rispetto al suolo, diametro del conduttore, lunghezza, disposizione dell'antenna cioè se in posizione verticale od orizzontale.

L'altezza effettiva (fisica) è usabile solo nel caso ideale di un'antenna situata in campagna, lontana da masse metalliche; in città l'altezza geometrica va moltiplicata per un coefficiente in genere compreso tra 0,3 e 0,8, secondo i seguenti tipi:

- a) antenna orizzontale lunga, su tetti non conduttori, alta 5 o più m:
= 0,8;
- b) idem, alta da 2 a 4 m:
= 0,6;
- c) antenna orizzontale lunga, su tetto metallico a massa, alta 5 o più m:
= 0,6;
- d) idem, alta da 2 a 4 m:
= 0,5;
- e) antenna orizzontale corta, o verticale, su tetto non conduttore, alta almeno 5 m:
= 0,6;
- f) idem, alta da 2 a 4 m:
= 0,4;
- g) antenna orizzontale corta, o verticale, su tetto metallico a massa, alta 5 m o più:
= 0,5;
- h) idem, alta da 2 a 4 m:
= 0,3.

Troviamo così che la capacità per le antenne orizzontali assume un valore compreso tra 50 e 250 pF, mentre per le antenne verticali ha un valore compreso tra 40 e 100 pF.

Detto questo, si può fare subito un piccolo conto e verificare come la Z_0 varia con la frequenza nel caso di una antenna che ha una capacità di 100 pF:

$$\text{per } f = 500 \text{ kHz} \rightarrow Z_0 \cong 3.200 \Omega$$

$$\text{per } f = 1.000 \text{ kHz} \rightarrow Z_0 \cong 1.600 \Omega$$

$$\text{per } f = 1.500 \text{ kHz} \rightarrow Z_0 \cong 1.000 \Omega$$

Nel caso di un'antenna con discesa schermata il carico per l'antenna è rappresentato dal ricevitore più quello aggiuntivo del cavo che supponiamo abbia una lunghezza non superiore ai 25 metri; poi ne vedremo la ragione. Se si trascurano le perdite per attenuazione, data la lunghezza limitata del cavo e consideriamo soltanto la capacità distribuita (in un cavo RG59

la capacità è di 65 pF per metro lineare) il cavo presenterà al suo ingresso una impedenza Z_c pari a

$$Z_c = \frac{l}{2\pi f C_c} \quad \text{dove } C_c = C \times l$$

$C = \text{capacità per metro-lineare}$
 $l = \text{lunghezza cavo}$

valore che varia con la frequenza come risulta dai seguenti calcoli

per $f = 500 \text{ kHz}$	$Z_c = 196 \Omega$
per $f = 1.000 \text{ kHz}$	$Z_c = 98 \Omega$
per $f = 1.500 \text{ kHz}$	$Z_c = 65 \Omega$

Per quanto riguarda il ricevitore la sua impedenza d'ingresso non è di 50Ω come si potrebbe essere indotti a pensare in analogia a quanto avviene in onde corte, bensì ha un valore variabile con la frequenza, spesso questo valore è di alcune migliaia di ohm come è normale nel caso di ricevitore per le onde medie. Se si assume un valore medio di 2.000Ω e lo confrontiamo con il corrispondente valore del cavo schermato alla $f = 1.000 \text{ kHz}$ possiamo notare che esiste tra i due valori un notevole divario e l'antenna vedrà un carico costituito dal parallelo delle due impedenze.

In pratica il carico rappresentato dal ricevitore può essere trascurato rispetto a quello del cavo schermato. Precedentemente si è detto che il migliore trasferimento di energia tra generatore e carico si ha quando le loro impedenze sono uguali; verificiamo in questo caso cosa succede. Alla $f = 1.000 \text{ kHz}$ la Z_0 dell'antenna è di 1.600Ω , la Z_c del cavo è di 98Ω per cui per la legge del partitore la tensione ai capi del ricevitore sarà pari a

$$V_u = V_i \frac{Z_c}{Z_0 + Z_c} \approx 0,05$$

cioè soltanto il 5% della tensione d'ingresso, contro il 50% ottenibile in caso di adattamento ottimo.

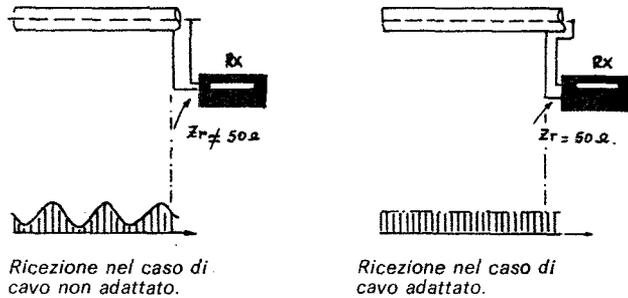
In realtà le cose si complicano leggermente per la presenza di onde stazionarie nel cavo in quanto non terminato sulla propria impedenza caratteristica (si ricorda che il cavo ha una Z di 50 o 75Ω a seconda del tipo, l'antenna a 1.000 kHz ha una Z_0 di 1.600Ω e il ricevitore una Z_r di 2.000Ω). Poiché nell'antenna si inducono tensioni a frequenza diversa si avrà una distribuzione diversa e incostante delle tensioni e delle correnti all'interno del cavo. Ciò comporterà una ricezione irregolare in quanto la tensione a radiofrequenza prelevata dal ricevitore è variabile in accordo con l'andamento della risultante di tutte le onde stazionarie. La figura 3 mostra come in presenza di onde stazionarie la ricezione diventi irregolare. Per ridurre gli effetti dovuti alle onde stazionarie si deve fare in modo che la lunghezza del cavo non superi $1/8$ della lunghezza d'onda relativa alla frequenza di ricezione più elevata.

Per 1.500 kHz si ha una lunghezza d'onda di 200 m per cui $200 \cdot 1/8 = 25 \text{ m}$, che indica la max lunghezza del cavo come avevamo già accennato precedentemente.

Comunque la migliore soluzione è quella di adattare il cavo coassiale sia all'entrata che all'uscita mediante dei traslatori.

Il traslatore ha lo scopo di adattare l'impedenza dell'antenna a quella del cavo e quella del cavo a quella del ricevitore.

figura 3



Il traslatore non è altro che un trasformatore con un opportuno rapporto di trasformazione, ad esempio se il rapporto di trasformazione è 5 : 1 vuol dire che sul secondario abbiamo 1/5 della tensione di primario, mentre la resistenza collegata all'ingresso del traslatore è diversa con il quadrato del rapporto spire per cui se al primario ci sono 1.000 Ω, sul secondario abbiamo $1.000 : 25 = 40 \Omega$.

Poiché la Z_0 antenna è variabile con la frequenza si prenderà il valore di impedenza a 1.000 kHz, cioè a centro banda, e lo si adatterà tramite traslatore di opportuno rapporto spire alla impedenza del cavo. Adattato il cavo all'antenna si dovrà successivamente adattare il cavo al ricevitore per cui si dovrà ricorrere a un secondo traslatore con un rapporto spire inverso cioè con un primario di poche spire e con un secondario di molte spire (il secondario è collegato al ricevitore).

Con un ricevitore avente una Z_r di 2.000 Ω si dovrà ricorrere a un traslatore con un rapporto pari a 1 : 6

$$\frac{Z_i}{n^2} = \frac{2.000}{36} = 55 \Omega.$$

La tensione ai capi del ricevitore può essere ottenuta (trascurando le perdite) dalla relazione che include i rapporti di trasformazione

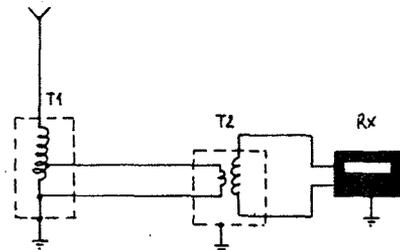
$$V_u = \frac{V_i}{n_1} \cdot n_2$$

n_1 = rapporto spire del traslatore antenna-cavo;
 n_2 = rapporto spire del traslatore cavo-ricevitore.

Lo schema complessivo dell'impianto è perciò quello visibile in figura 4.

figura 4

Collegamento di un'antenna a un ricevitore tramite traslatori.



Il traslatore

Abbiamo più volte nominato il « traslatore ».

Questo termine sta a indicare, in pratica, un trasformatore o un autotrasformatore, con un determinato rapporto in discesa o salita. Se noi avessimo a che fare con una ben determinata frequenza, potremmo usare un circuito accordato con prese sulla bobina o con partitore capacitivo; ma dovendo esso funzionare su di un intervallo di frequenze, occorre il cosiddetto « trasformatore a banda larga », simile concettualmente al trasformatore di bassa frequenza (audio) che è impiegabile in una gamma relativamente ampia di frequenza. Poiché noi ci troviamo su frequenze che vanno da frazioni di MHz a qualche MHz, dovremo necessariamente usare un trasformatore con nucleo magnetico adatto a tali frequenze, cioè che abbia basse perdite. La costruzione è realizzabile in due modi; con i nuclei a « olla » o con i nuclei toroidali, oggi di moda, ma in realtà già in uso da decenni. Si potrebbero anche usare speciali lamierini, ma essendo di difficile reperibilità, accantoniamo questa soluzione.

Il calcolo va fatto tenendo presente che il trasformatore deve avere una induttanza abbastanza alta, tale da non caricare eccessivamente il generatore. Supponiamo, per fissare le idee, di usare i dati precedentemente trovati; e quindi di costruire il traslatore per l'uso su frequenze da 500 kHz in su. La nostra antenna ha una impedenza, a questa frequenza, pari a 3.200 Ω; la reattanza del traslatore deve risultare sensibilmente più alta e decidiamo che debba essere dieci volte più elevata, cioè pari a 32.000 Ω (anche se un valore più basso potrebbe essere accettabile). Per avere questa reattanza a 500 kHz occorre una induttanza facilmente calcolabile:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

da cui

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad \text{cioè} \quad \frac{32.000}{6,28 \cdot 500.000} = \frac{32.000}{3.140.000} = 0,01H$$

cioè 10 mH.

Consultando i dati della Philips, relativi a nuclei a olla costituiti da due parti uguali (tipo P), nel campo di frequenze da 0,2 a 2 MHz occorre usare la gradazione 3D3; come dimensione, il tipo da 26 mm (nominali) di diametro è tra i più diffusi ed è preferibile ad altri più piccoli per maggiore maneggevolezza. Supponendo di avere il tipo con $\mu_c = 68$, i dati ci indicano che sono necessarie 68,4 spire per 1 mH (coefficiente *a*); per una induttanza qualsiasi, il numero di spire *N* è calcolabile con la formula: $N = a \cdot \sqrt{L}$ (*L* in mH), quindi nel nostro caso: $N = 68,4 \cdot \sqrt{10} = 216$. I dati della Casa ci dicono anche che possono entrare in tale nucleo 71 spire di filo da 0,7; usando lo 0,35 avremo il riempimento quasi totale con le 216 spire. Per realizzare un autotrasformatore 1:5 dovremo fare la presa dopo $216/5 = 43$ spire.

Oltre al tipo sopraindicato (cataloghi 1966 e seguenti) esistono molti altri tipi simili, anche di altre Marche; precedentemente la designazione Philips era IVB (con permeabilità iniziale $\mu_i = 750 \pm 20\%$) e il nucleo era costituito da quattro pezzi: fondello superiore e inferiore, anello esterno, cilindretto interno.

La Siemens ha prodotto tipi equivalenti (per frequenze da 0,2 a 1,6 MHz, il tipo 550 M 25) e il calcolo mostra che per un nucleo diametro 26, altezza 13 mm, le spire devono essere 250. Il calcolo esatto va fatto

comunque in relazione al tipo usato. L'avvolgimento più semplice, con filo normale smaltato, è il meno efficiente; infatti è opportuno contenere il più possibile la capacità fra spira e spira, cosa che si ottiene con vari accorgimenti. Il primo è di usare filo con isolamento in doppio cotone, riducendo il diametro del rame da 0,35 a 0,25 (o anche 0,2) e poi effettuando l'avvolgimento a nido d'ape. Questo tipo di avvolgimento può essere realizzato con un po' di pazienza e attenzione, anche a mano, osservando come è avvolto il filo sulle bobine prodotte appositamente; il filo procede a zig-zag con le spire vicine (ma senza toccarsi) e con un procedimento tale che poco a poco si copre la superficie della bobina e poi si procede verso l'esterno.

Volendo usare nuclei toroidali, la Amidon consiglia il Mix n. 61 di ferrite per frequenze di questa grandezza con $\mu = 125$. Scegliendo un nucleo FT 114.61, occorrono 1.000 spire per 79,3 mH; volendo arrivare a 10 mH facciamo il solito conto:

$$N = 1.000 \times \sqrt{\frac{10}{79,3}} = 355 \text{ spire,}$$

con presa alla 71ª spira.

Anche in questo caso, il filo con isolamento in doppio cotone è preferibile; per ridurre la capacità distributiva e per semplificare l'avvolgimento, conviene fare cinque avvolgimenti separati, ciascuno di 71 spire, da collegare in serie. Ogni avvolgimento sarà composto da diversi strati (4 o 5) e raggruppato in modo da avere i cinque avvolgimenti distribuiti sul toroide e separati fra loro da uno spazio di 1 o 2 mm. *****

