

PROTEZIONE PER RICEVITORI HF

contro le scariche atmosferiche
ovvero come ti proteggo Perseus.

I2VGO

GIANFRANCO VERBANA





- △ Il lavoro è diviso in tre parti:
 - △ Nella prima parte, si descrive l'origine dell'enorme quantità di carica elettrica del fulmine quantificando i parametri principali dell'impulso.
 - △ Nella seconda parte illustreremo un modello teorico abbastanza in accordo con i rilievi sperimentali per evidenziare che anche a distanze di oltre 2-4 km dal canale di fulmine si ottengono valori di campi elettrici (un migliaio di V/m) sufficienti a provocare danni agli apparati.
 - △ Nella terza parte, dopo aver evidenziato i vantaggi e svantaggi dei tipi di soppressori di sovratensione viene presentato uno schema di protezione molto efficace senza modificare sostanzialmente le specifiche elettriche del ricevitore HF.

- △ Durante la presentazione saranno proiettate solo le slide riassuntive.



Cenni storici

- △ I fulmini costituiscono un tema che da sempre affascina gli uomini. Le prime tracce di questo fenomeno risalgono a 4500 anni fa con un'immagine della Dea del fulmine Zarpenit.
- △ Nella mitologia il fulmine scagliato da un dio o da una dea è l'elemento luce e calore che insemmina la Terra. I minerali, "pietre di luce" sono generati dal potere del fulmine, così pure i "geni" della Terra, come Tages e la stirpe dei Titani, detti anche Giganti. Ma è soltanto intorno al 1750 che iniziano a fiorire i primi esperimenti atti a dimostrare la natura elettrica del fulmine. E' infatti di tale epoca il padre putativo degli attuali addetti ai lavori: Benjamin Franklin (1706-1790).
- △ Da allora molti studi furono fatti da ricercatori ed i fisici che hanno dato un contributo determinante all'approfondimento delle conoscenze di questo fenomeno, tra cui il massimo esponente fu lo svizzero K. Berger (1898-1993).
- △ Fu stabilito l'ordine di grandezza delle tensioni in gioco, la scoperta di fulmini ascendenti e discendenti ecc ecc. Da allora e fino a qualche decennio fa, la spiegazione del fulmine era data come un'intensa elettrizzazione della nube (positiva o negativa) la quale elettrizzava per induzione il terreno con segno opposto.
- △ Perché una nuvola si elettrizzasse in un ambiente freddo e umido rimase un mistero fino alla nostra epoca.



Cenni storici

- △ Con lo sviluppo delle reti di elettrificazione (alta, media tensione) furono evidenziate le cause di guasto dovute ai fulmini. Pur non conoscendo “il perché” o la “forma” (ampiezza e durata) dell’energia liberata, la vecchia contromisura della gabbia di Farady connessa a parafulmine fu ed è ancora a tutt’oggi la prima difesa verso: incendi, distruzioni e salvaguardia della vita umana.
- △ Una vera ricerca sistematica con investimenti sempre più crescenti iniziò verso fine degli anni sessanta per i seguenti motivi:
 - △ L’aumento di guasti degli apparati dovuto allo sviluppo di semiconduttori impiegati nella radioelettronica. Questa componentistica risulterà fino ai giorni nostri sempre di più sensibile agli effetti dei campi elettrici esterni rispetto alla tecnologia dei tubi elettronici.
 - △ Il timore che l’impulso E.M generato da esplosioni nucleare (Guerra fredda) ad alta quota bloccassero le telecomunicazioni ed la distribuzione d’energia (NEMP).
- △ Si sviluppano negli anni ottanta le discipline EMC–EMI/RFI a causa di :
 - △ L’aumento di apparati radioelettronici locati nello stesso sito. (compatibilità disturbi esterni)
 - △ L’inizio dell’era della microelettronica comportò con l’incremento di numero di transistor equivalenti l’integrazione di interi sub-sistemi che erano sparsi in "scatole" diverse isolate elettomagneticamente fra loro.(compatibilità ai disturbi interni).
- △ Il termine EMI intende la generazione e valutazione dei disturbi con Il termine EMC intende la prevenzione e coesistenza degli apparati fra loro.

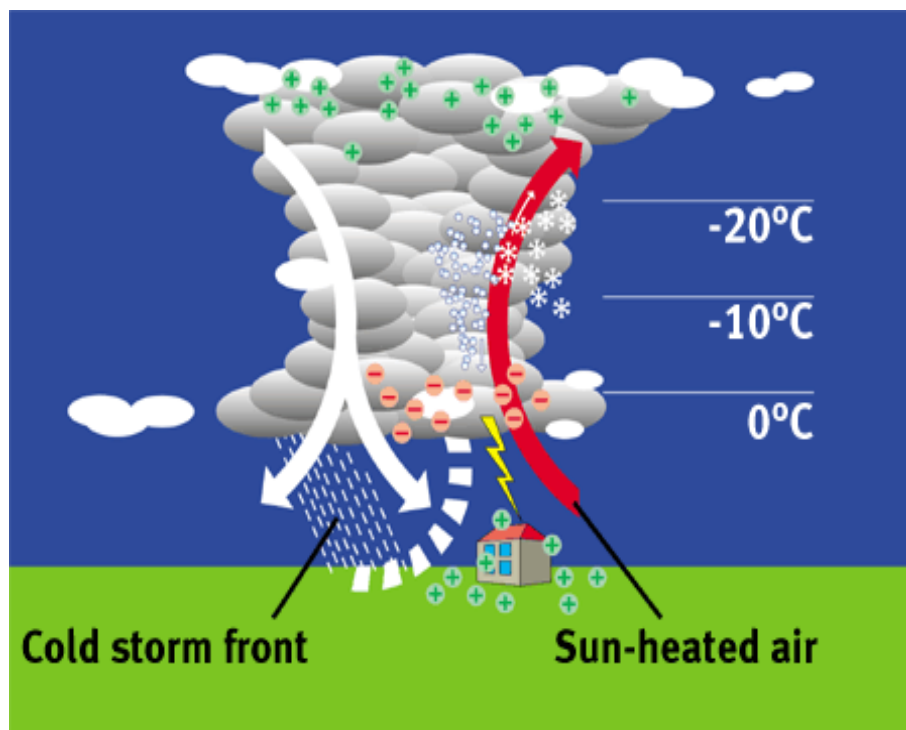


Si inizia a capire

- △ A metà anni ottanta le ricerche scientifiche mondiali iniziano lo sviluppo di nuovi sistemi di analisi per la modellizzazione del fulmine e la raccolta dei parametri.
- △ In Italia la caratterizzazione per l'analisi delle sovratensioni causate dai fulmini ed il progetto nazionale per l'individuazione di dispositivi per la protezione di apparati inizia a fine anni ottanta. E' di questo periodo la creazione prima di nuove normative Europee (CLC) mondiali (IEC) nazionali (CEI) e poi l'obiettivo di unificare le diversità fra le varie nazioni. Lavoro, forse, terminato nel dicembre 2006 (vedi appendice).
- △ Sarà proprio l'obbligo di far rispettare la sicurezza degli apparati radioelettronici (in Europa con inizio 1992) verso LEMP, EMC, ESD, che nelle grosse aziende di TLC si accelererà la costruzione di appositi laboratori e formazione della "nuova cultura". E' proprio dal 1987 che inizia la mia esperienza alle problematiche elettriche di EMC/EMI/ESD/LEMP dei ponti radio con unità RF esterna, ODU ed unità di banda base interna, IDU.
- △ Con lo sviluppo dei prodotti ICT prendono corpo le problematiche ESD. Le aziende si adeguano alle normative di qualità per la manipolazione di componenti sensibili alle scariche elettriche.
- △ Nel 1994 il CESI inizia la costruzione di una rete di sensori di fulmine, denominato SIRF (Sistema Italiano Rilevamento Fulmini), a tutt'oggi possiede una notevole banca dati nazionale. Ogni anno il territorio italiano viene colpito da circa un 1.500.000 fulmini.



L'ipotesi più accreditata



In condizioni normali, assenza d'inversione termica, la temperatura diminuisce di $6,5^{\circ}\text{C}$ ogni 1000 metri di altezza.

- △ Il fronte d'aria fredda penetra nell'area d'aria calda (origine dei temporali).
- △ All'interno delle nubi temporalesche si creano forti correnti ascensionali e precipitazioni che innescano complesse interazioni dei vari elementi.
- △ Le separazioni delle cariche avviene dalle collisioni fra le piccole gocce d'acqua, palline di neve o dai piccoli cristallini di ghiaccio, formati in seguito alla condensazione o alla sublimazione del vapore acqueo.
- △ Le particelle si separano per effetto delle correnti ascensionali e della forza di gravità. Esse si spezzano ed i frammenti, carichi positivamente, sono trascinati verso le zone superiori della nube. Le parti centrali, che sono più pesanti, sono trascinate verso le zone inferiori della nube.
- △ Le cariche positive si accumulano generalmente alla sommità della nube e quelle negative sul fondo (anche se piccole sacche di cariche positive si possono trovare a livelli più bassi).



Scarica Nube-suolo

- △ La carica negativa della nube induce una carica positiva sulla superficie della terra al di sotto della nuvola. Questa carica "ombra" scivola sul suolo, trascinata dalla nuvola che si muove portata dal vento. Il valore della carica media è circa 50 C (il valore massimo riscontrato è di circa 100 C)
- △ Si possono produrre enormi differenze di potenziale elettrico, sia all'interno della nuvola sia tra la nuvola e la terra. Quando viene superata la rigidità dielettrica la resistenza dell'aria si spezza producendo la scarica elettrica.
- △ Viene liberata energia: elettromagnetica a bassa frequenza, termica, meccanica, chimica, ottica e acustica (vedi appendice)
- △ Questa scarica può attraversare parti differenti di nuvole, passare tra due nuvole o tra una nuvola e la terra.
- △ Tipicamente sono chiamati lampi le scariche che avvengono all'interno della nube o tra nube-nube (8-16 km).
- △ Il maggior numero di scariche, (con rapporto di 9 su 10), si sviluppa tra le nubi o all'interno della nube stessa.
- △ Le scariche nube-suolo (3-7km), per fortuna solo 1/10 delle scariche, sono quelle pericolose per le persone, costruzioni e apparati radioelettronici.



L'insieme FULMINE

Ciò che noi chiamiamo “FULMINE” è in realtà un insieme di “scariche” più meno complesse

- △ Inizialmente dalla nube scende verso il suolo una scarica debole ed invisibile (o leggermente visibile) composta da particelle cariche negativamente, essa è detta *stepped leader* ed avanza verso il basso con una velocità relativamente piccola (circa 100 Km/s) e con percorsi successivi (con pause di circa 50 msec) di breve lunghezza (circa 50 m).
- △ Lungo tale percorso a zig-zag si crea un'intensa ionizzazione che predispone alla seconda fase
- △ Quando lo stepped-leader tocca terra o incontra un canale analogo ascendente, il circuito nube-suolo viene chiuso e si ha passaggio di corrente.
- △ La corrente illumina il canale ionizzato fin qui rimasto oscuro generando così la classica striscia luminosa; questa fase è chiamata "return stroke".
- △ Il circuito si chiude in modo esponenziale raggiungendo una velocità tra $\frac{1}{4}$ ed $\frac{1}{2}$ della luce. E' questa velocità, associata al valore della carica che determina l'elevato valore della corrente di picco, medio 10-30KA massimo 200KA.
- △ Durante l'intenso passaggio di corrente, l'aria si riscalda, quasi istantaneamente, fino a 15.000 °C. Questo brusco cambiamento in un tempo brevissimo origina un'onda di pressione (esplosione) che si propaga e che viene percepita come tuono.



Return Stroke

- △ A questo punto il fulmine può esaurirsi, oppure dell'altra carica può passare nel canale preesistente, discendendo verso la terra un secondo colpo, chiamato *dart-leader*, depositando altra carica lungo il canale; di nuovo al raggiungimento della terra si avrà passaggio di corrente con un secondo illuminamento, e così via per due o più colpi. Solitamente questo con correnti minori e più veloce del primo colpo e di solito non presenta rami secondari(come invece capita spesso al primo colpo).
- △ Un fenomeno spesso concomitante alla discesa dello stepped-leader o alla presenza di una nube temporalesca, è la formazione di canali di carica ionizzata di segno opposto alla parte inferiore della nube, che si propagano verso essa o verso il canale discendente partendo da terra (tipicamente da punte o strutture isolate). Questi canali, chiamati "upward leader" (canali ascendenti), possono incontrare effettivamente il canale discendente, aiutandolo così a chiudere il percorso, o possono morire dopo poco senza aver originato il fulmine. Caso estremo è quello in cui il canale ascendente è così forte che riesce a raggiungere la nube prima di incontrare un canale discendente. Questo dà origine ad un fulmine ascendente.
- △ In breve il canale si forma dove si ha la minor resistenza elettrica tra la nuvola e il suolo, che non corrisponde tuttavia al percorso più breve dal punto di vista geometrico. Ogni "oggetto" che si sopraeleva sul suolo, come alberi, camini, edifici alti, cime di monti e persino un individuo a piedi, accorciano quindi il percorso e possono diventare il bersaglio del fulmine: più l'oggetto è alto, più è vulnerabile.



Classificazione dei fulmini

I fulmini nube–terra a polarità negativa, sono quelli dove si hanno le migliori conoscenze

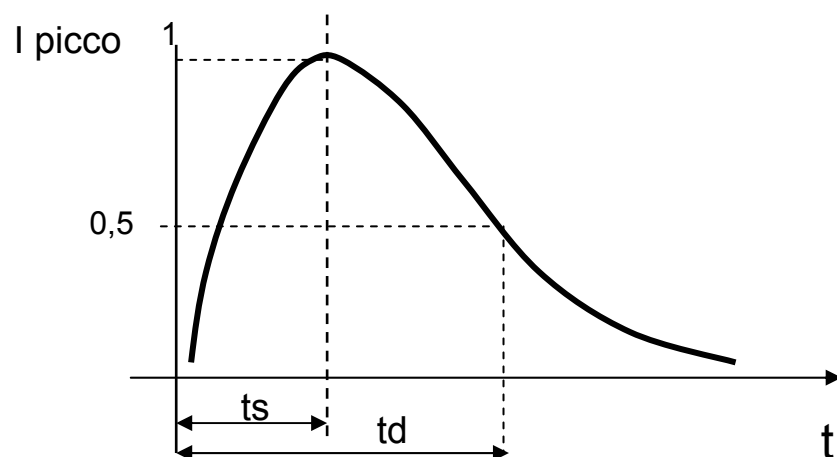
- △ 90% del totale sono fulmini discendenti quando non vi sono altezze di strutture rilevanti >100metri.
- △ Alta velocità fino ad $\frac{1}{2}$ velocità della luce. Durata massima fino a raggiungere il valore massimo di corrente circa 10 μ S. I fulmini discendenti sono caratterizzati da uno o più impulsi di corrente.
- △ Valor medio di corrente è di 30 kA, con un intervallo che va dai 2 kA ai 200 kA. Valori massimi di carica circa 100 C.

Fulmini a polarità positiva

- △ 10% del totale dei fulmini.
- △ 5% sono ascendenti con correnti elevate e 5% sono ascendenti e discendenti con correnti <10KA .
- △ Velocità bassa è durata molta alta presentano tempi più lunghi fino a 2mS
- △ I fulmini discendenti sono caratterizzati da un solo impulso di corrente



Parametri fondamentali dell'impulso di corrente



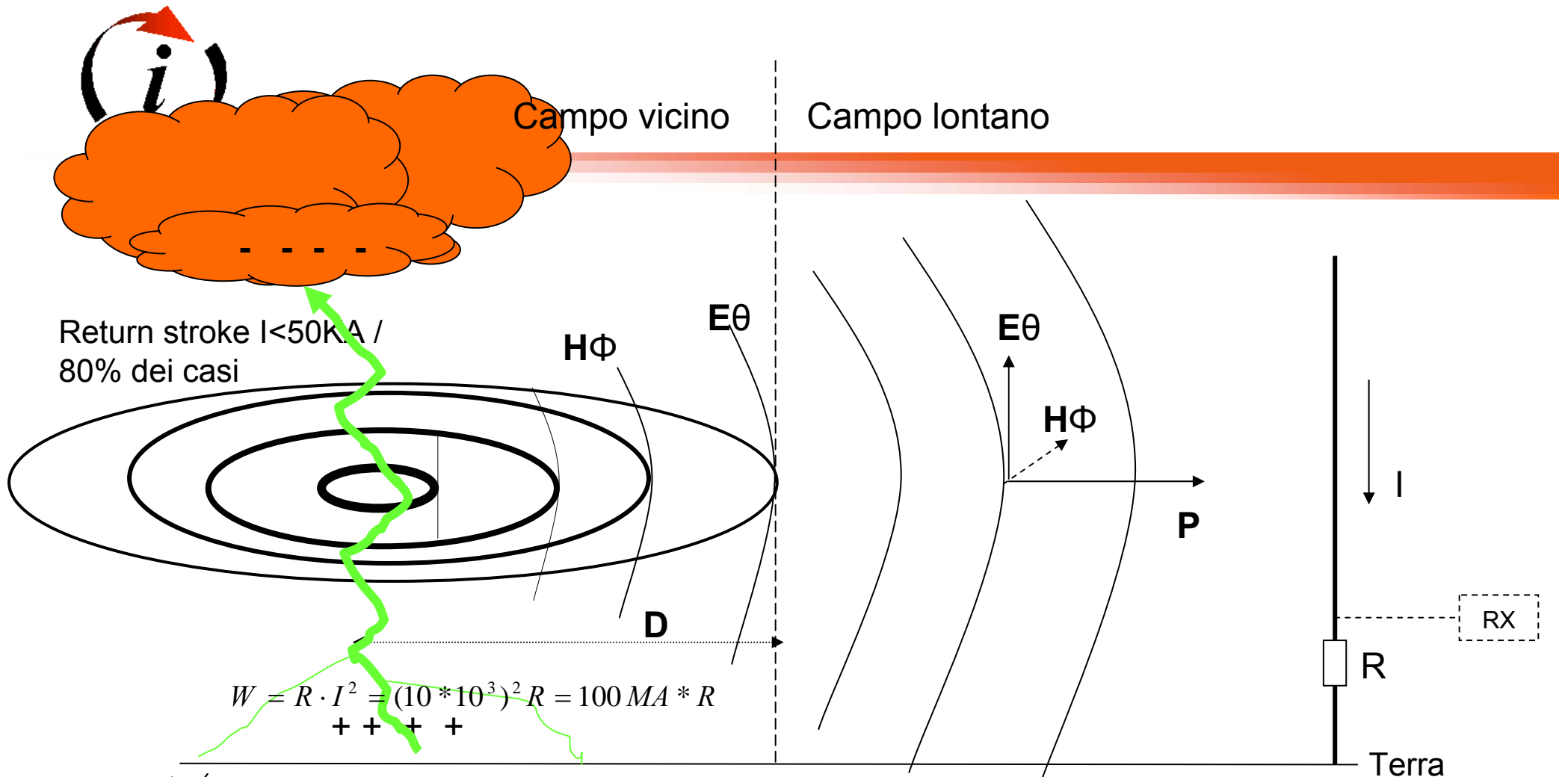
Nei test di LEMP si usano impulsi di corrente con valori tempi di $ts/td = 10/1000 \mu\text{S}$. In pratica un doppio esponenziale .
Pure test ESD abbiamo la medesima forma dell'impulso ma, la durata massima è molto minore di $ts/td = 5/50\text{ns}$.

- △ L'intensità di corrente di picco
- △ Il tempo di salita al valor di picco, t_s .
- △ Pendenza massima di/dt
- △ Il tempo di decadimento all'emivalore, t_d .
- △ Carica impulsiva relativa ad un solo impulso
- △ Energia impulsiva relativa ad un solo impulso



SECONDA PARTE

- △ Semplice modello teorico° del “Return Stroke” abbastanza in accordo(migliorativo) con i rilievi sperimentali. Il modello approssima il canale di fulmine ad un antenna verticale.
- △ L’obiettivo è di evidenziare come a distanze di 2-4 km dal canale di fulmine si hanno alti valori del campi elettrici un migliaio di V/m) sufficienti a provocare danni agli apparati.
- ° Price e Pierce -The modeling of channel current in the lightning return stroke-Radio scienze Nr12- 1986.



$$D \geq \frac{\lambda}{2\pi} \quad (E, H \div 1/D)$$

Campo lontano o radiato

R tipica paletto interrato 5-50 ohm

$$D \geq 0,1 \frac{\lambda}{2\pi} \quad (HeE \div 1/D^2)$$

Campo vicino o d'induzione

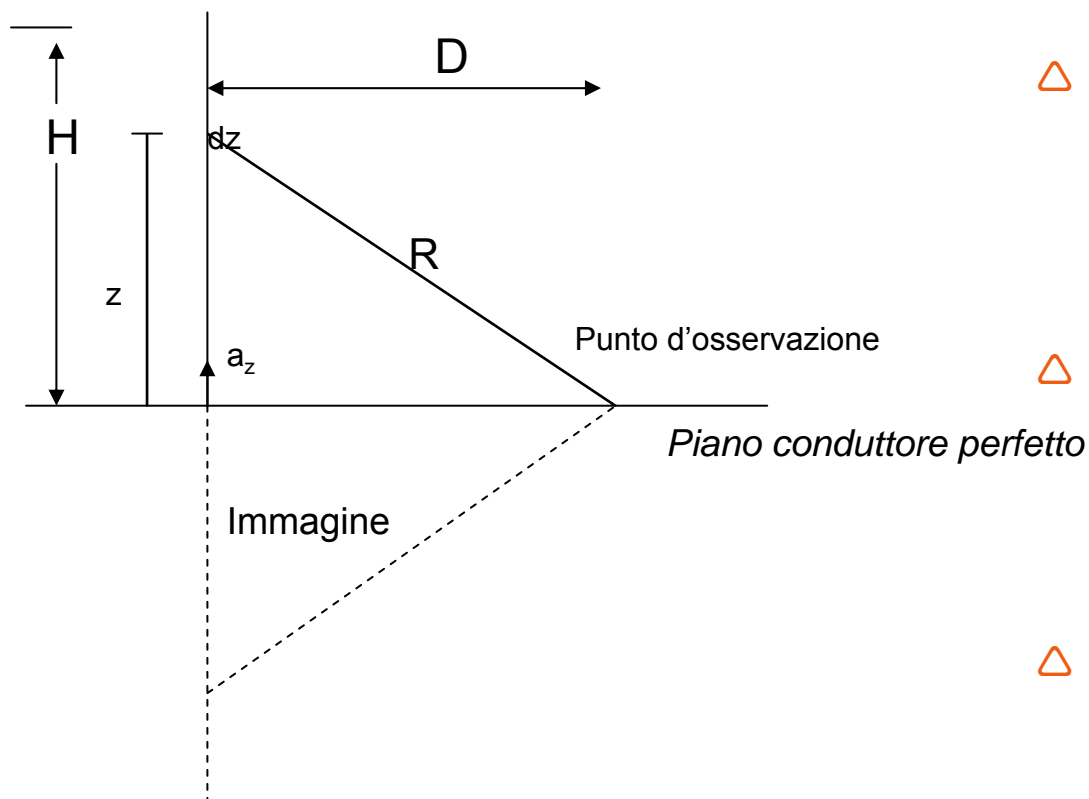
$$D < 0,1 \frac{\lambda}{2\pi} \quad (HeE \div 1/D^3)$$

Campo statico

Impedenza del campo vs distanza, vedi appendice



Analisi nel tempo del campo EM impulsivo



- △ Il canale di fulmine è schematizzato come un antenna verticale di altezza H , disposta su un terreno conduttore perfetto, (in questo caso abbiamo solo la componente verticale del campo elettrico).
- △ L'antenna verticale è percorsa da un impulso di corrente che si propaga dal suolo verso l'alto con una velocità v e che si annulla senza riflessione una volta raggiunta la cima del canale.
- △ Tale modello usando le correnti al suolo dà luogo a risultati (nel tempo ed in frequenza) abbastanza simili ai rilievi sperimentali.
- △ Le espressioni del campo elettromagnetico al suolo ed a diverse distanze risultano:



Ordine di grandezza dei campi nel tempo ed in frequenza.

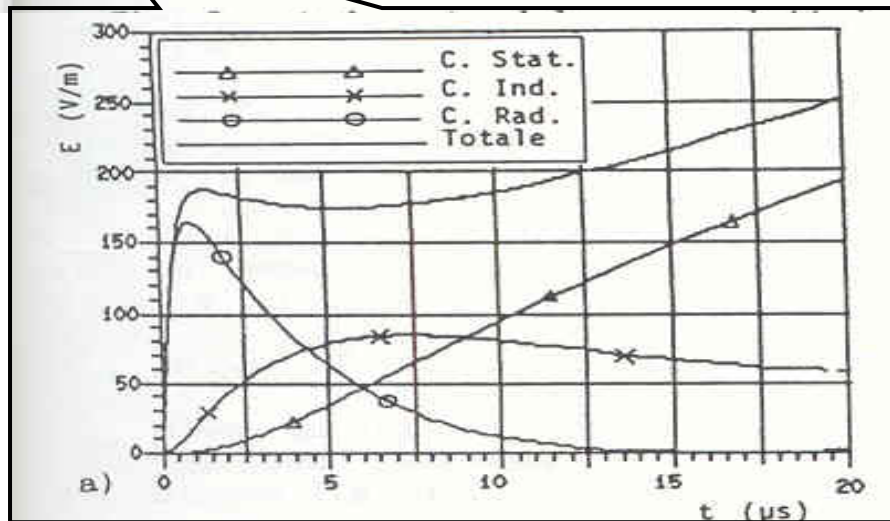
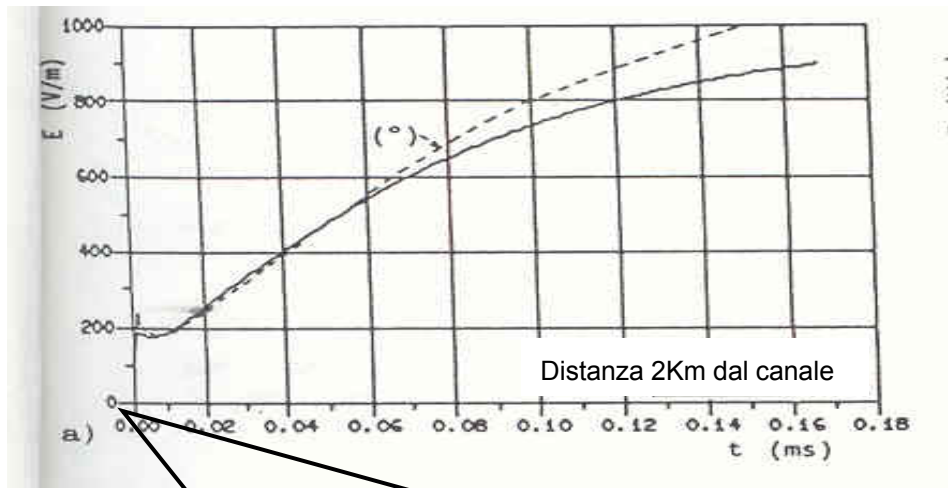
$$\begin{aligned}
 & \text{Campo elettrostatico} & \text{Campo d'induzione} & \text{Campo di radiazione} \\
 E_z(D, t) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} & \left[\int_0^H \frac{(2z^2 - D^2)}{R^3} i(\tau - t_r - R/c) d\tau dz + \int_0^H \frac{(2z^2 - D^2)}{cR^4} \cdot i(t - t_r - R/c) dz - \int_0^H \frac{D^2}{c^2 R^3} \left[\frac{\partial i(t - t_r - R/c)}{\partial t} \right] dz \right] & & \\
 & & & (1) \\
 B_\theta(D, t) = \frac{\mu_0}{2\pi} & \cdot \left[\int_0^H \frac{D}{R^3} \cdot i(t - t_r - R/c) dz + \int_0^H \frac{D}{cR^2} \cdot \left[\frac{\partial i(t - t_r - R/c)}{\partial t} \right] dz \right] & & \\
 & & & (2) \\
 \text{con } t_r \text{ tale che } z = & \int_0^{t_r} v(t) dt & & \\
 & & & (3)
 \end{aligned}$$

Si è approssimato la corrente (alla base del canale) con un somma di doppie esponenziali, e che si propaghi a velocità costante a $1,5 \cdot 10^8$ m/s. Per un $H=7$ Km, attenuandosi in modo esponenziale. $I_1=14$ KA, $I_2=17$ KA i valori delle costanti sono fissate in modo da riprodurre il più fedelmente possibile gli andamenti sperimentali. $(\alpha, \delta=15 \cdot 10^4, \beta=3 \cdot 10^6, \gamma=15 \cdot 10^3, \lambda=2$ KHz)

$$i(z, t) = e^{-z/\lambda} (I_1(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) + I_2(e^{-\gamma t} - e^{-\delta t}))$$



Andamento dei campi a 2km di distanza

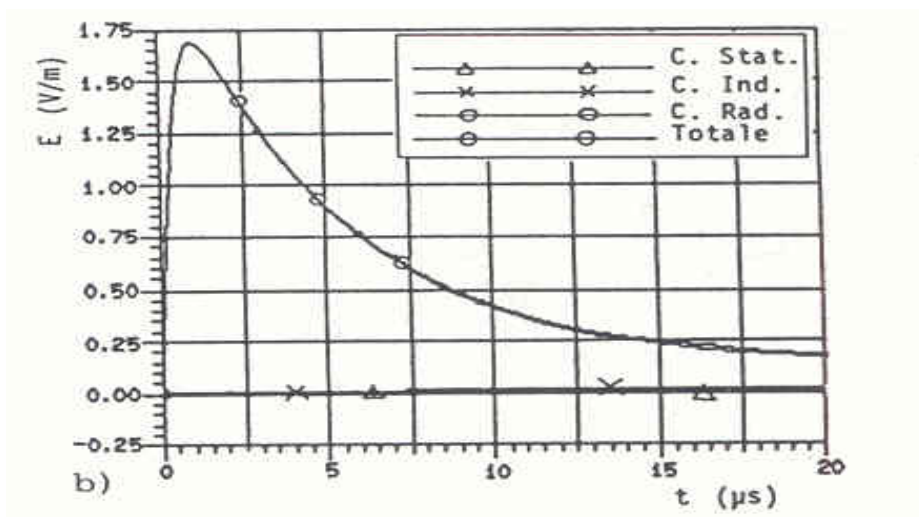


- △ I primi 10 μ s il campo è dominato dalla componente statica.
- △ Il tempo di salita del picco iniziale è dell'ordine di 1-2 μ s.
- △ A 2 Km il valore dell'alto campo (quasi 1000 V/m) è determinato dal campo elettrico.
- △ ($^{\circ}$) Valori sperimentali.
- △ Scarsa è l'influenza dell'altezza del canale sull'intensità dei campi. L'aumento della velocità di propagazione fa aumentare il valore di picco, 250 V/m per $v = 2 \cdot 10^8$ m/s.



Andamento dei campi a 200 km di distanza

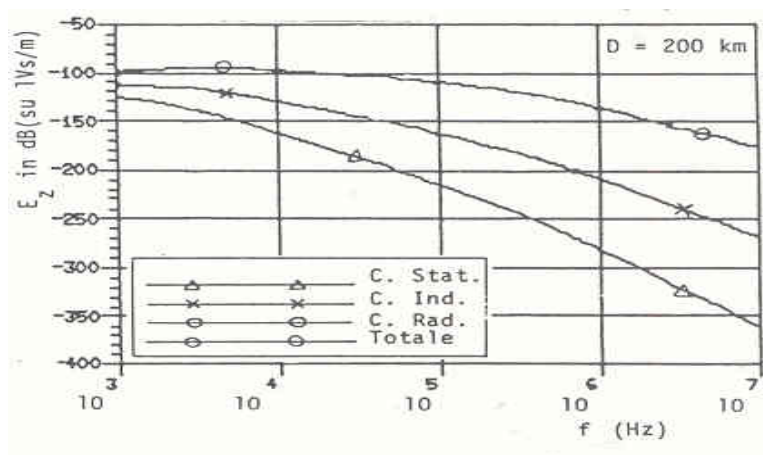
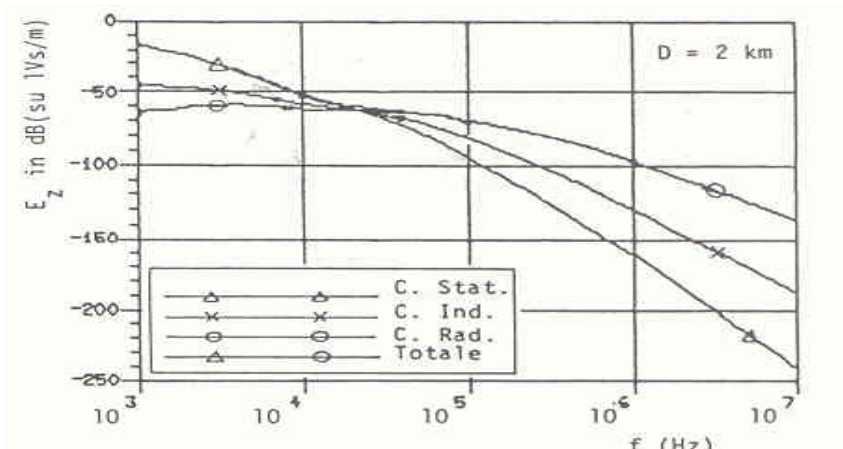
Distanza 200Km dal canale



- △ Nel passare da 2 a 200 Km il picco passa da 190 Volt a 1,75 V/m.
- △ Dopo 10 Km i termini statici e di induzione diventano trascurabili.
- △ Dopo una ventina di Km il campo è solo di radiazione e diminuisce con $1/D$.
- △ Simulando un primo colpo di 30KA otteniamo un campo a 200 Km di 2,5 V/m.



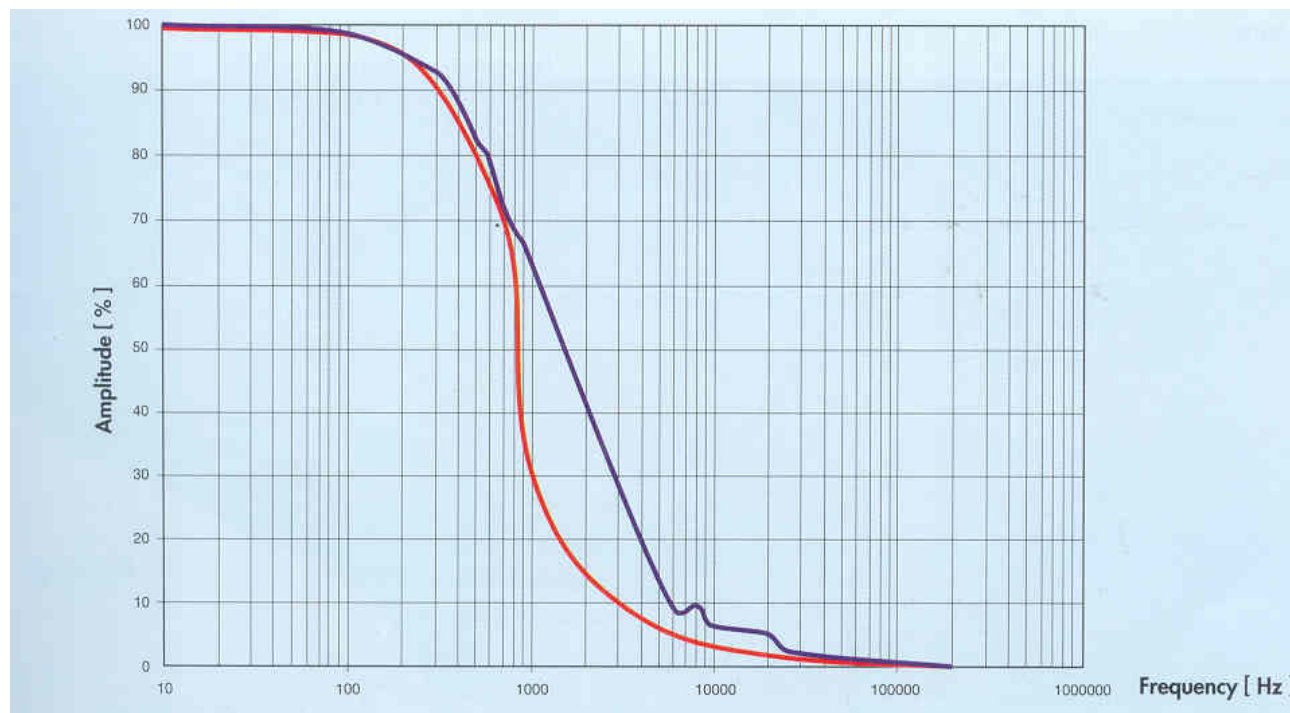
Analisi in frequenza



- △ Nel passare da 1 a 4 Km gli spettri subiscono un'attenuazione di 16 dB la stessa che presentano nel passare da 4 a 50 Km.
- △ A grandi distanze dal fulmine si osserva una diminuzione con una legge a $1/f$ nella banda 10Khz-1Mhz e $1/f^2$ per frequenze maggiori.
- △ In pratica la banda entro 6dB nei primi chilometri è dell'ordine di unità di KHz.
- △ La variazione dell'altezza del canale non influenza lo spettro.



Spettro standardizzato



Confronto tra uno spettro di una corrente scarica di un fulmine(blu secondo K.Berger) e lo spettro normalizzato secondo la IEC 61312-1di un impulso di corrente 10/350uS.



Tipo di sorgenti e danni

Abbiamo visto che a distanza di chilometri dal canale di fulminazione i campi elettrici, indotti sia dalla antenna/cavo che nei condotti della rete elettrica, hanno valore ancora elevati e tali da poter guastare ricevitori radio. Danni di ben altra natura avremmo se il return stroke si chiudesse sulla antenna (Altri tipi di protezione e normative-impiantistiche).

Possiamo dividere le sorgenti di fulmini in quattro tipologie con relativi danni:

- △ 1- Scariche da fulmine dirette sulla struttura. Danni tipo A,B,C.
- △ 2- Scariche indirette (scariche nelle vicinanze Danni tipo C.
- △ 3 -Scariche dirette su antenne o linee elettriche esterne alla struttura Danni tipo A,B,C.
- △ **4- Scariche in prossimità di antenne o linee entranti. Danni tipo C.**

Danni

- △ **A)-Danni alle persone per fulminazioni dirette o shock elettrici.**
- △ **B)-Danni materiali (dovuti a incendi, esplosioni, rotture meccaniche ecc)**
- △ **C)-Danni agli apparati.**



TERZA PARTE

- △ In pratica attueremo la protezione solo per sovratensione cioè per campi indotti dall'antenna e/o cavo di discesa(4-C). Diamo per scontato la conoscenza delle metodologie di protezioni di fulminazioni diretta a edifici, tralicci,pali ecc.
- △ Si evidenziano i vantaggi e svantaggi dei diversi tipi di soppressori di sovratensione.
- △ A differenza della protezione di altri tipi di apparati il problema di una protezione all'ingresso dei ricevitori è che non deve alterare le prestazioni del ricevitore (ROS,banda,sensibilità ed intermodulazione).
- △ Infine presenteremo uno schema molto efficace

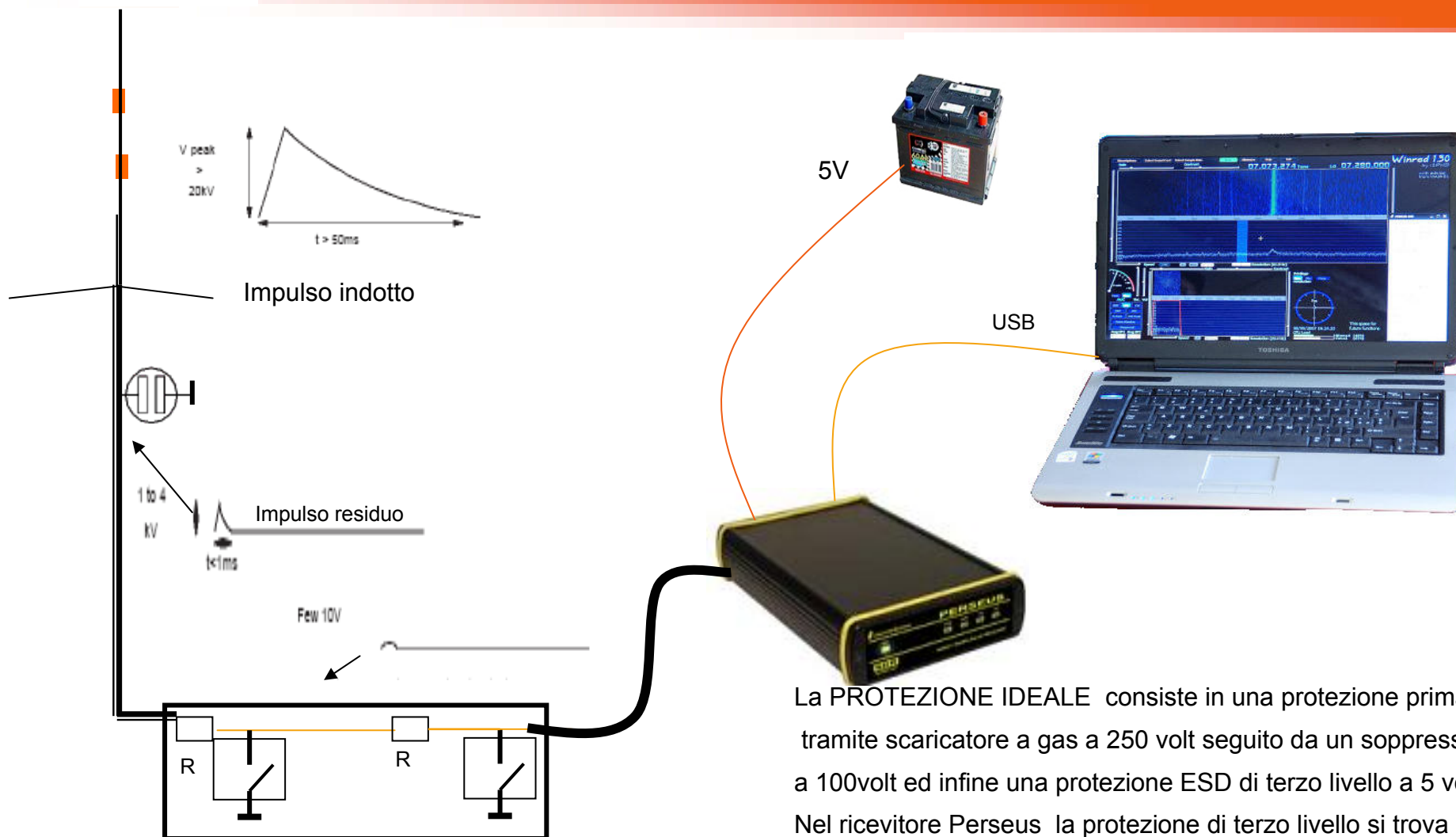


Protezione contro le avarie dei ricevitori

- △ Il principio della migliore protezione contro guasti è semplice : Realizzare una protezione in serie che si apra ed una parallelo che si chiuda in presenza della sovratensione, evitando che arrivano al ricevitore tensioni tali da "guastarlo" in modo permanente.
- △ E' nota l'esistenza di componenti dedicati poco noto è che non esiste uno scaricatore ideale. A tutt'oggi la soluzione ottimale è la realizzazione in cascata di più livelli di protezione. Una primaria, che sopprima la maggior parte della scarica e tempi lunghi il secondo o l'eventuale terzo livello che riduca ed elimina il residuo della sovratensione con tempi più brevi.
- △ Vediamo brevemente i vantaggi e svantaggi dei tipi di scaricatori usati per le protezioni di fulminazioni: LEMP e ESD .



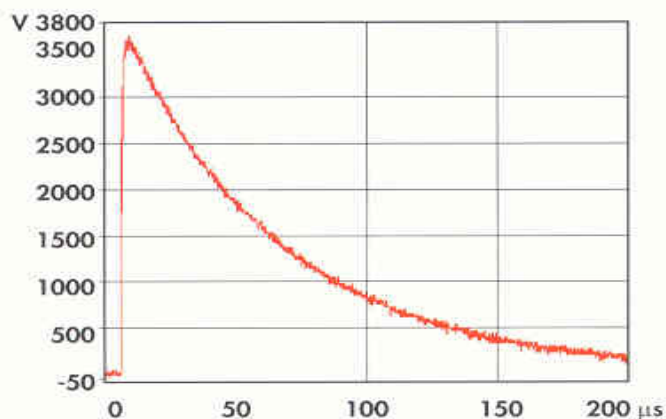
Collocazione protezione proposta



La PROTEZIONE IDEALE consiste in una protezione primaria tramite scaricatore a gas a 250 volt seguito da un soppressore a 100volt ed infine una protezione ESD di terzo livello a 5 volt. Nel ricevitore Perseus la protezione di terzo livello si trova all'interno dell'apparato.



TVS, Transient Voltage Suppression, a capsula di Gas



Impulso di test 1,2/50 uS

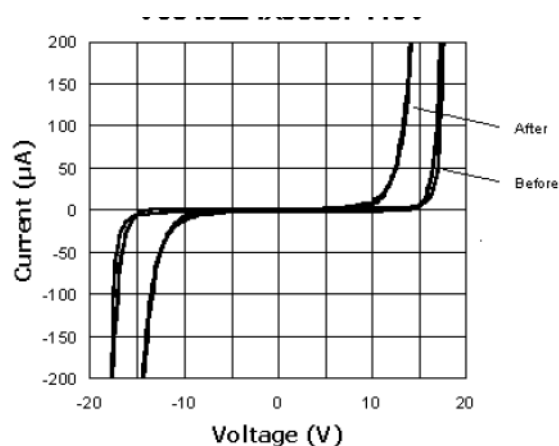


Impulso residuo scaricatore serie 3402 con capsula di 230 Volt della Suhner .

- △ Gli scaricatori di sovratensioni a gas sono formati da un piccolo tubetto in ceramica o vetro, alle cui interno sono posti due elettrodi. La parte compresa tra i due elettrodi, ermeticamente chiusa e viene riempita con gas tipo argon e neon. A seconda del modello si ottengono correnti disperse **fino a 100 kA (10/350 μs)**.
- △ I vantaggi sono il basso valore di capacità (<2pF) che permette l'uso (incapsulato all'interno di connettori a RF) fino a frequenze di 2GHz . Per frequenze maggiori sono accoppiati a filtri passa banda a costanti distribuite.
- △ Le tensioni di clapping minime hanno un valore di oltre un centinaio di Volt.
- △ Lo svantaggio è l'alto valore dell'impulso residuo che non protegge assolutamente i sempre più sensibili componenti MOS all'ingresso **dei moderni ricevitori**. E' Utilizzato come protezione di primo livello.
- △ Lo scaricatore a gas richiede di essere sostituito dopo aver subito una scarica. Poco importante per il radioamatore se la pastiglia è facilmente accessibile.



TVS detti: varistore, VDR o varistor



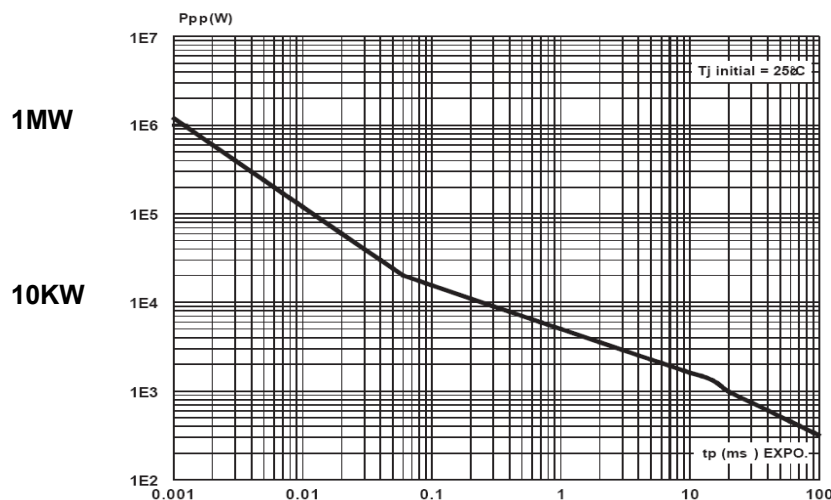
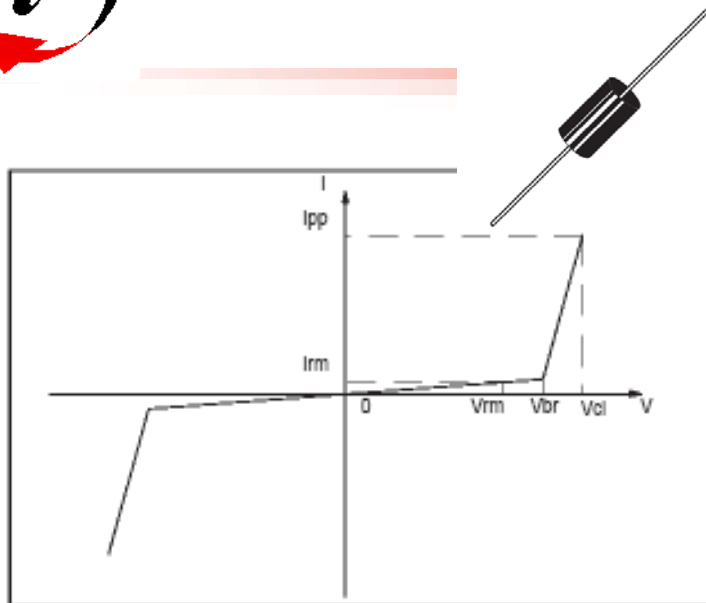
Dopo un intervento dissipativo molti microvaristori si possono danneggiare riducendo la tensione di clipping.



- △ E' composto per il 90% da ossido di zinco e per il restante 10% da ossidi di altri metalli. MOV (metal oxide varistor).
- △ All'aumentare della tensione di clipping aumentano le dimensioni dal momento che aumenta il numero dei micro-varistori collegati in serie, ciascuno dei quali provoca una tensione di soppressione fino a 4 V.
- △ Vantaggi: tempi eccitazione di pochi ns. Possono condurre fino a decine di kA con impulso di 8/20 μ s e fino a 5 kA con impulsi di 10/350 μ s
- △ Svantaggi: la non elevata capacità d'assorbimento dell'energia, l'invecchiamento che modifica la caratteristica, l'elevata capacità (da 50nF a 1000 pF) dipende dalla tensione nominale).
- △ Da escludere come protezione ingresso ricevitori.



TVS detti: Transorb, Tranzorb e Transil



- △ Sono composti da vari diodi direzionali collegati in serie e in parallelo, che funzionano per l'effetto breakdown. I tempi di commutazione arrivano a picosecondi. Sono prodotti sia in versione unidirezionali che bidirezionali.
- △ Vengono prodotti fino a potenze di picco di 5KW per 1mS (oltre 70 KW per 20 uS). La tensione di clipping, V_{cl} , da circa 7 volt a oltre a 200 Volt. L'impulso di corrente tollerato per 20uS varia da 2500 a 150 A (5KW). Ideali sia come protezione primaria sia come protezione secondaria di fulminazione.
- △ **Purtroppo il valore alto di capacità (minori dei VDR) non permettono l'uso all'ingresso dei ricevitori radio.** (Da 15000 pF per le versioni max power e minore tensione (7-10 V) a 400pF per tensioni di 200-250 volt bidirezionali.
- △ Riducendo di molto la capacità, inserendo dei diodi di potenza in serie, fu possibile il loro impiego negli anni 80 per la protezione delle scariche di fulminazione su cavi coassiali fino a 50 MHz senza peggiorare di molto il ROS.

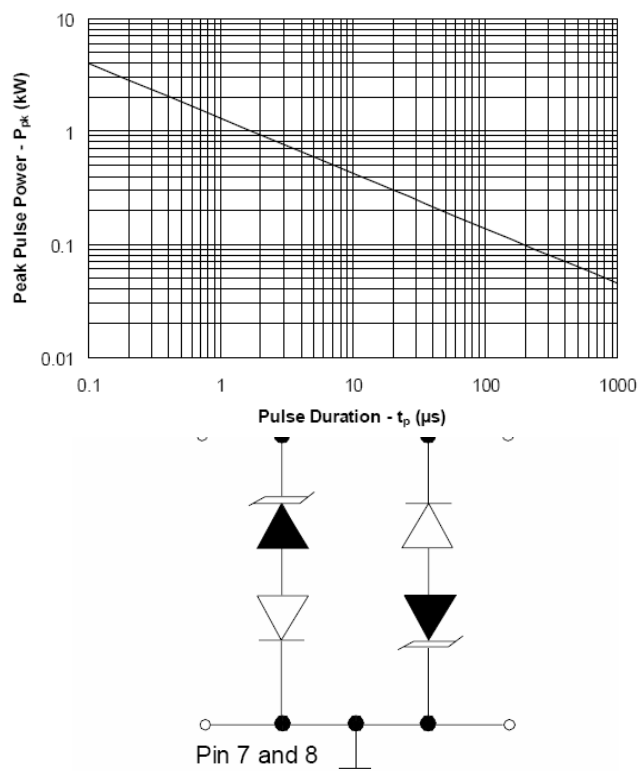


TVS detti ESD suppressor

Esempio LCDA 05 della Semtech:

ppP=300W@20uS

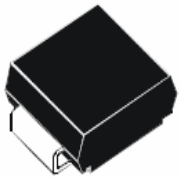
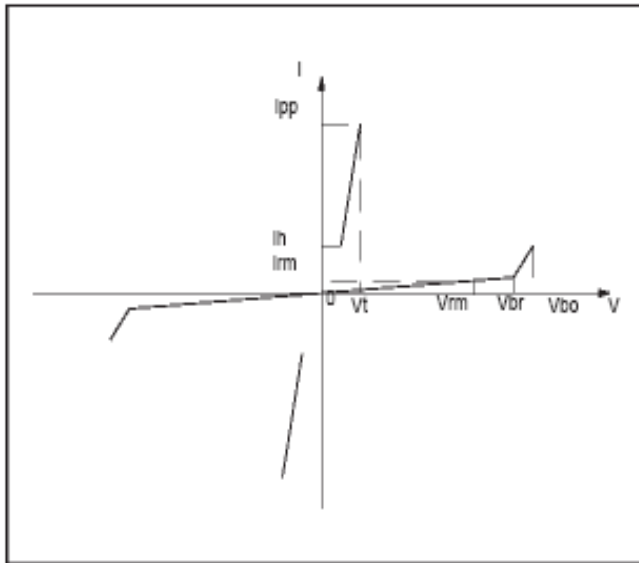
Capacità <5pF ideale per ingressi d'antenna HF



- △ Da diversi anni sono apparsi dei TVS per la protezione ESD di computer delle linee in particolare sui buses dati.
- △ Le tensioni di clipping sono molto precise e vanno da un minimo di 5 V ad un massimo di 24 Volt. In sostanza sono dei doppi diodi Zener
- △ Il loro impiego è la protezione di scariche che rientrano nelle specifiche ESD. Alte tensioni ma di durata brevissima, nanosecondi. Le potenze di picco vanno fino ad un massimo di 300 Watt per impulsi max di 20uS.
- △ Le versioni per buses dati veloci hanno una capacità tra 1e 5pF ottenuta collegando in serie agli zener dei diodi ad alta tensione inversa.
- △ Ideale, all'ingresso dei ricevitori, come seconda o terza protezione contro le fulminazioni e come protezione primaria verso test ESD. Per distinguerli dai classici transorb li chiamerò "TVS per ESD."



TVS detti: crowbar, sidac, sydac e trisil



Esempio SMP100MC

Le tensioni minime di clipping sono alte rispetto ai transorb ma l'enorme vantaggio per l'ingresso d'antenna è il ridotto valore di capacità da 10 a 40 pF.

- △ In pratica è un SCR, thyristor per la versione unidirezionale ed un triac per la versione bidirezionale. Fino a che non si raggiunge la tensione V_{rm} , il TVS è un aperto con corrente di bias $< 1\mu A$. Quando inizia a lavorare tra V_{br} e V_b comincia a "clippare" poi si "innesca" e diventa un cortocircuito permanente.
- △ Abbiamo due tipi di sidac: a tensione fissa di breakover o regolabili tramite un pin di gate.
- △ I soppressori classici hanno tensioni di clipping minime di un centinaio di volt fino a circa 400 Volt per correnti impulsive di 100 A (1000 usecondi).
- △ La tensione di "On" vanno da circa 1 volt a 5 V per correnti di 100A. Ritornano allo stato di "Off" a correnti dell'ordine di qualche decina di mA.



Riassumendo

- △ 1-TVS - a Gas. Ottimo per limitare in valori in ampiezza e durata dell'impulso della scarica. Non sufficienti per proteggere i ricevitori.
- △ 2-TVS -Transorb E' il migliore per assorbire elevate potenze impulsive con i massimi tempi delle normative di fulminazione (1000uS) e ripetitive. Componente ideale per la vasta scelta di tensioni di clipping e potenza dissipabile. L'enorme valore di capacità ne impedisce l'uso all'ingresso dei ricevitori. Però...collegando in serie dei diodi...
- △ 3-TVS - ESD Ideali per rispettare i test d'impulsi ESD e potenze massime 300-600 Watt alcuni con tempi massimi (20uS). Usato all'ingresso dei ricevitori non altera il ROS fino alle bande VHF. Ottimo come ultima protezione di fulminazione verso componentistica che non tollera tensioni maggiori di unità di volt.
- △ 4-TVS - SIDAC In rapporto alle correnti di corto circuito tollerate ha il più basso valore di capacità. Può essere usato come protezione di primo livello al posto dei scaricatori a gas o come protezione di secondo livello a monte però della protezione TVS-ESD.



Come poter usare i Transorb all'ingresso dei ricevitori HF.

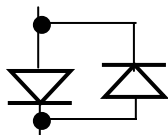
Collocando in serie al transorb dei diodi ad alta tensione inversa e correnti sufficientemente alte per avere delle basse capacità otteniamo un nuovo componente.

TRANSORB 100V 1,5KW.



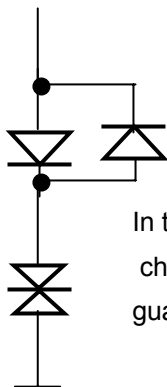
Circa 1200pF

Diodi 1200 V, 1-2 A $I_{pp}=30A$



Circa 30-40pF

Risultato Transorb
con 30-40pF.

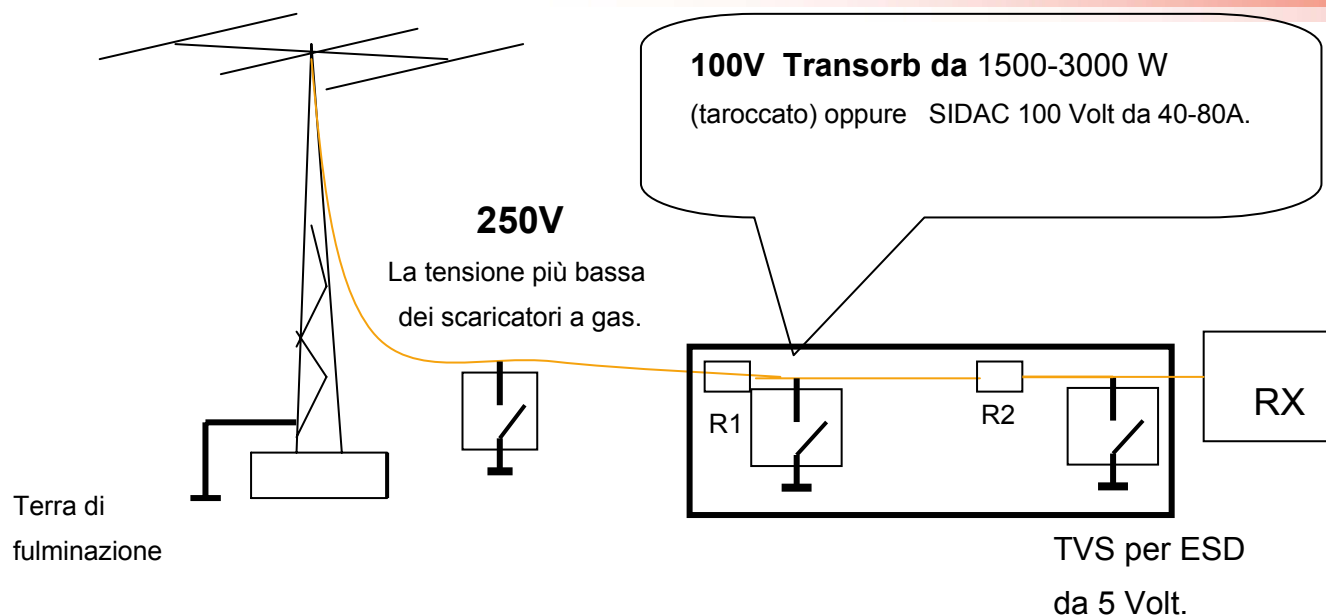


In tutti gli esperimenti di fulminazione, oltre i limiti standard, che effettuo dal 1987, ho sempre verificato che in caso di guasto i diodi risultano in corto circuito...mai aperti

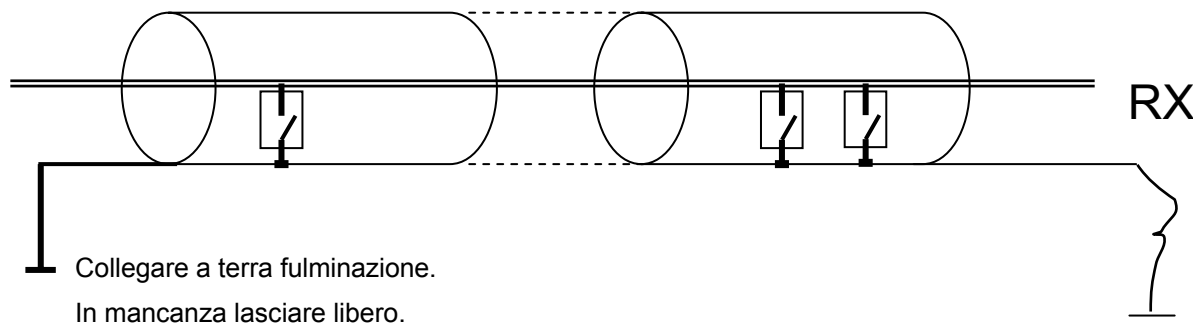
- △ Esempio il transorb da 1,5 KW -1000uS, bidirezionale 1.5KE100A presenta una capacità 12000pF a 0 Volt
- △ I diodi raddrizzatori moderni con inversa di 800-1200 volt da 1-2 A e 30A pp, presentano una capacità da 15 a 20 pF a 0 Volt. (Ho misurato 18 pF ai capi di un normale diodo 1N4007). Collegando i diodi in parallelo otteniamo una C max dell'ordine di una quarantina di pF.
- △ In questo modo possiamo scegliere la tensione degli scaricatori a transorb più idonei sia come protezione secondaria che primaria.



La soluzione più efficace



- △ La pastiglia a gas è collocata dopo l'antenna come protezione di primo livello. Lo scaricatore esterno al RX è formato da due TVS per ESD.
- △ Le resistenze (tipo fusibile) hanno diverse funzioni:
 - △ Limitano il picco di corrente.
 - △ Filtrano l'impulso
 - △ Si fondono(senza sfiammare) aumentando il valore di resistenza proteggendo ulteriormente.
- △ Il valore di R1 e R2 dovrà essere il più alto possibile S11 e S21 permettendo.
- △ Il " tutto" è all'interno di una scatola metallica collocata all'esterno del ricevitore.
- △ E' facilmente verificabile e quindi sostituire il componente avariato dopo l'eventuale fulminazione.

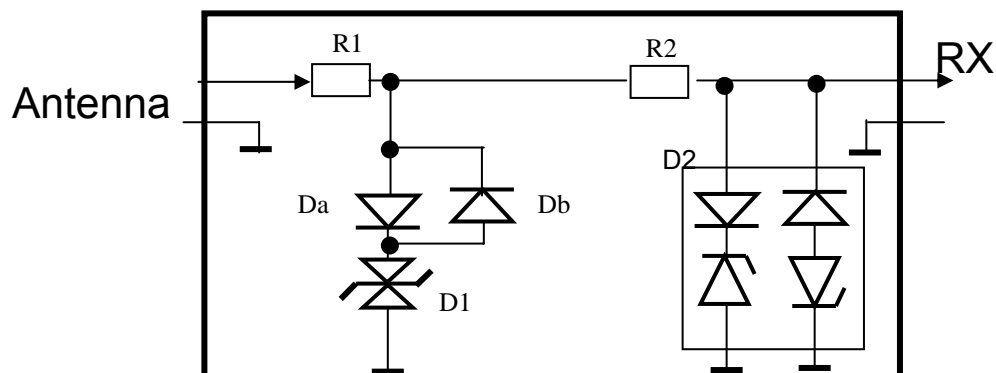


Evitare massa di protezione (filo giallo-verde)

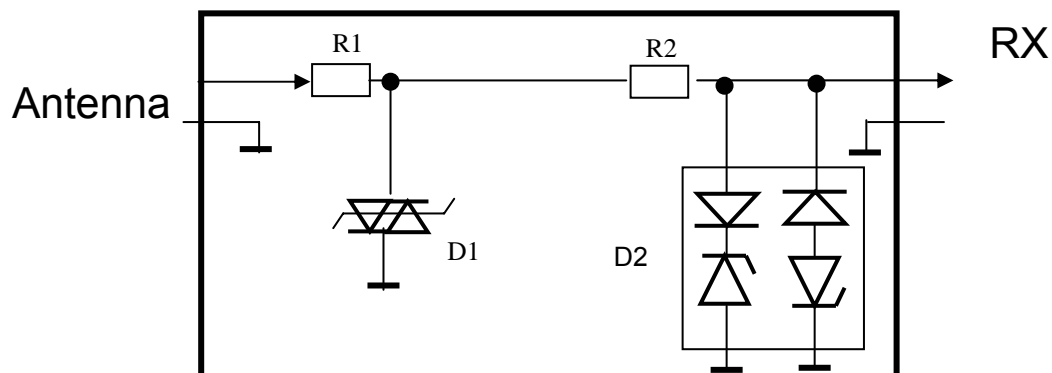


Schema elettrico

Versione con transorb_(taroccato)



Versione con SIDAC



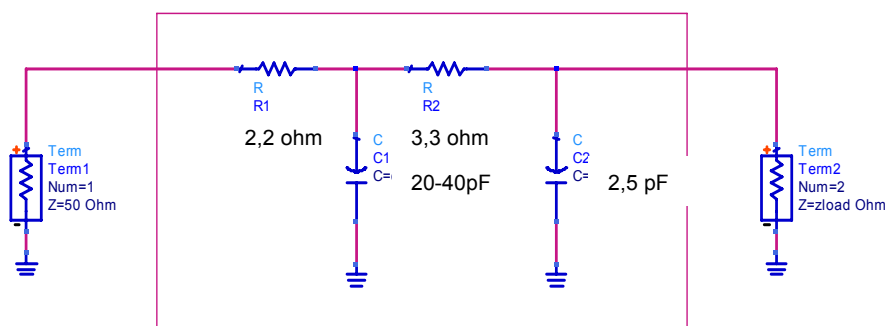
- △ R1= 2.2 ohm 0.4W
- △ R2= 3.3 ohm 0.4W
- △ Da=Db= Diodi da 800/1200 V tipo 1N4007.
- △ D1=Transorb. Bidirezionale 100V 1500W /1mS, Tipo **1,5 KE100CA** oppure versione Sidac del tipo **SPM50-100** da 50 A 100Volt
- △ D2= Transorb per ESD 5 Volt 300 Watt tipo LCDA05 o equivalente con la capacità serie più bassa possibile.

Gli schemi proposti hanno come obiettivo di ottenere per D1 un valore di capacità (dipende dai TVS usati) serie compresa tra 20 e 40pF e per D2 si è tenuto conto di una capacità media di 2,5pF.



SIMULAZIONE

porte S11 e S21 a monte dello scaricatore.

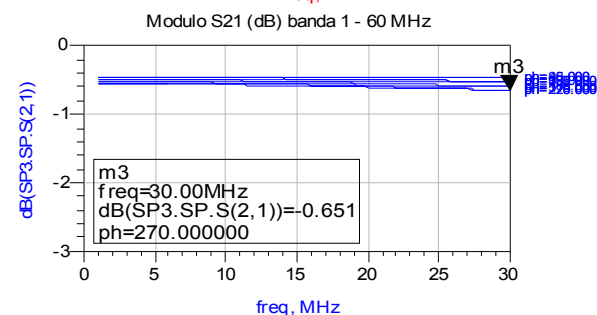
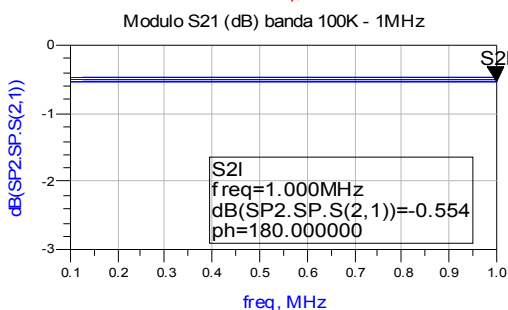
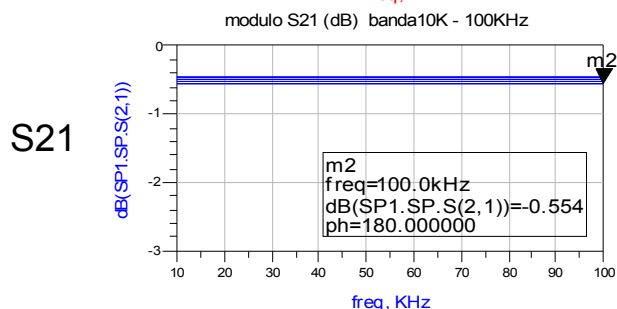
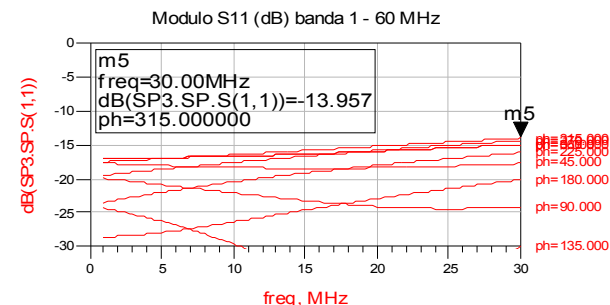
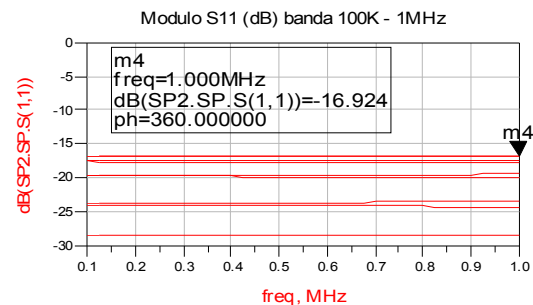
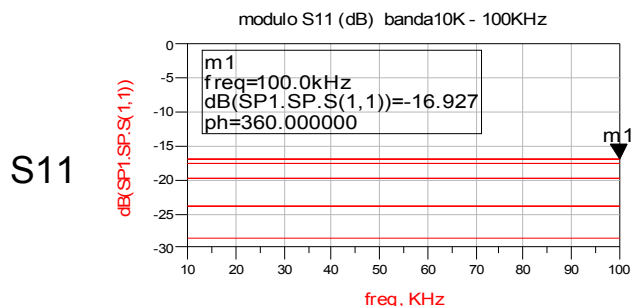


- △ Le simulazioni sono state effettuate per valori di D1 compresi tra 20 e 40 pF e per D2 il valore tipico di 2,5 pF dei TVS ESD.
- △ Si è considerato il modulo dell'impedenza d'ingresso RX HF di 20dB non conoscendo il tipo di Z, si è fatta variare la fase da 0 a 360 gradi.
- △ Nei grafici i marker sono posti sul caso peggiore. Il valore di fase in corrispondenza del caso peggiore può essere letto sulla finestra del marker (parametro "ph")
- △ La resistenza di limitazione da ¼ di Watt sono rispettivamente da 2,2 e 3,3 Ohm

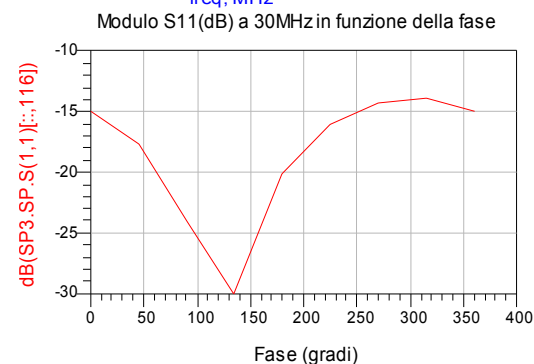
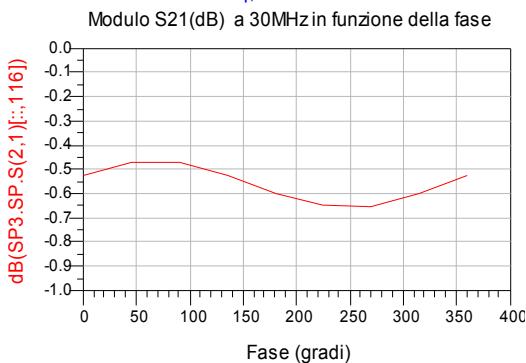


Andamento ROS e attenuazione per capacità minima

Condizioni di TEST: C1=20 pF, C2=2.5pF, R1=2.2Ohm, R2=3.3Ohm, RL = 20 dB



Fino a 20 MHz otteniamo un valore minimo di ROS (causato solo da R1 e R2) di 17dB ed un ROS massimo di 28dB. A 30MHz il ROS minimo diventa 14dB (si sente l'effetto di C2). La perdita di 1/2 dB è causata solo dalle Resistenze in serie.

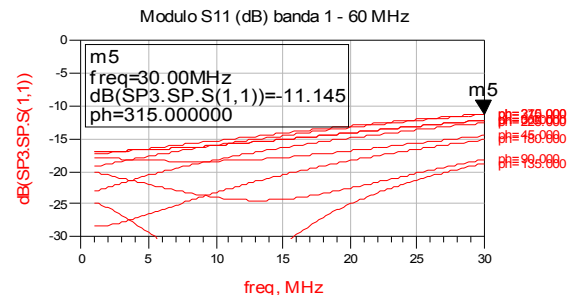
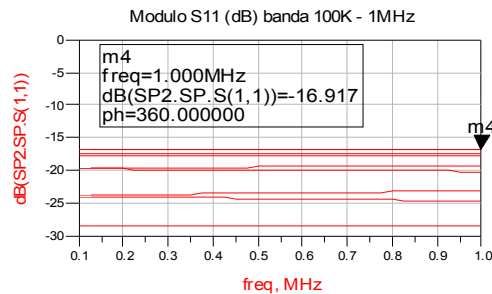
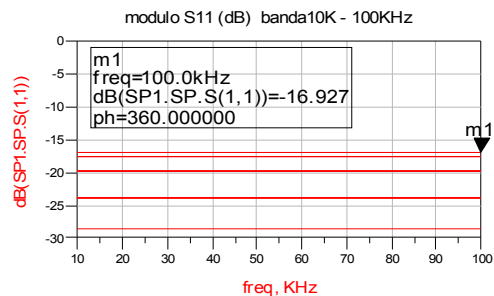




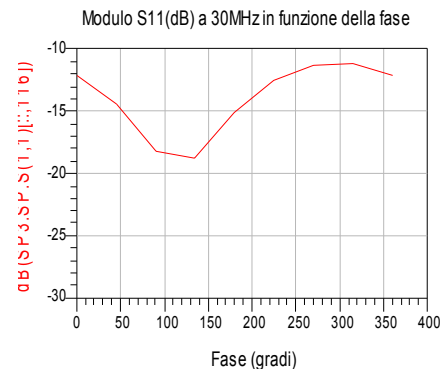
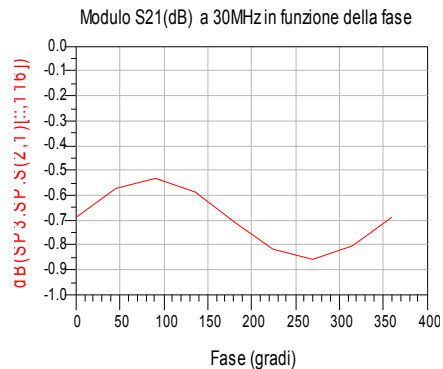
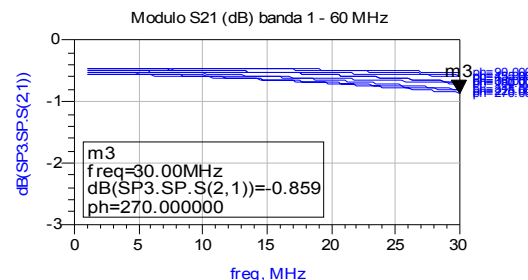
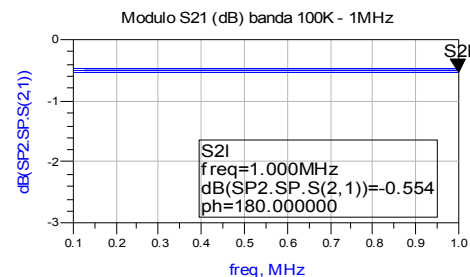
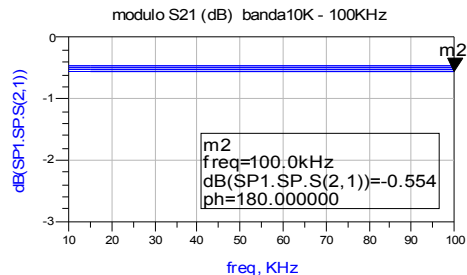
Andamento ROS e attenuazione per capacità massima

Condizioni di TEST: C1=40 pF, C2=2.5pF, R1=2.2Ohm, R2=3.3Ohm, RL = 20 dB

S11



S21





APPENDICE

- △ 1-Denominazioni dei fulmini rari e anomali.
- △ 2-Tipi d'energie sviluppate dalle scariche
- △ 3-Normative Progettazione e manutenzioni protezioni contro i fulmini LPS
- △ 4-Normative TEST d'immunità
- △ 5-Andamento d'impedenza del campo in funzione della distanza
- △ 6-La scarica ESD è brevissima
- △ 7-Parametri per test ESD per IEC 61000-4-2
- △ 8- Acronimi e Bibliografia



1 -Denominazioni di fulmini poco probabili.

- △ *Fulmini a razzo*; sono una varietà di fulmine a linea in cui la scarica procedono tanto lentamente da creare l'impressione di un razzo che voli nel cielo (molto raro);
Fulmini globulari; sono i più misteriosi essendo stati osservati sporadicamente ed essendo ancora sconosciute le cause fisiche. Essi si presentano come delle sfere luminose di vario diametro (da 2 cm ai 10 m) e colorate di rosso, arancione, giallo, bianco, e altri colori ancora. La loro durata può essere di diversi minuti. Possono essere statici o in rapido movimento a zig-zag, riuscendo persino a passare attraverso pareti, porte, finestre chiuse senza danneggiarle.
Fulmini a perla (o a collana), che appare suddiviso in segmenti ad intervalli più o meno regolari;
Fulmini superficiali; hanno l'aspetto di lingue di fuoco uscenti dall'orizzonte e sono prodotti da scariche elettriche non direttamente visibili dall'osservatore anche se può udirne il tuono. Possono verificarsi dentro una nube o dietro nubi più vicine, rendendole visibili anche a grandissima distanza. Quando il tuono non è più udibile (oltre i 15 Km) si parla di *lampi di calore*.
Fuochi di S. Elmo, sono scariche elettriche più o meno continue, di piccola o moderata intensità. Tali scariche provengono da oggetti elevati sulla superficie terrestre (parafulmini, alberi di nave, pennoni, etc.) o da aeroplani in volo (eliche, estremità delle ali, etc).



2-Tipi d'energie sviluppate dalle scariche

- △ **Termica.** L'energia sviluppata da un fulmine ha la capacità di fondere materiali metallici, provocare l'incendio di materiali combustibili o infiammabili, ecc. L'altissima temperatura può sgretolare un albero, facendo evaporare la linfa e, a volte, riesce a fondere la sabbia, trasformandola in schegge di vetro.
- △ **Meccanica.** Le forti correnti elettriche indotte nelle strutture metalliche colpite causano forze attrattive, di natura elettrodinamica, tali da produrre deformazioni o rotture. Nel caso di linee elettriche, le forze attrattive possono produrre schiacciamento di cavi o contatti fra conduttori con conseguenti cortocircuiti.
- △ **Chimica.** Le forti scariche causano la formazione di ozono e di composti nitrici dovuti all'ossidazione dell'azoto. In quest'ultimo caso è come se nel suolo fossero iniettate gigantesche quantità di materie azotate.
- △ **Elettromagnetica a bassa frequenza.** Le scariche sono accompagnate da forti emissioni di onde elettromagnetiche che producono le sovratensioni indotte nelle linee elettriche, telefoniche e sulle antenne, possono causare come è noto danneggiamenti nelle apparecchiature collegate, in particolare ai ricevitori collegate all'antenne.
- △ **Luce e acustica-** Lungo lo stretto canale percorso dal fulmine, l'aria si riscalda, quasi istantaneamente, fino a 15.000 °C, determinando un'espansione esplosiva che ad una certa distanza si manifesta con un fragore noto come **tuono**. Se un fulmine cade ad una distanza relativamente breve, il tuono viene avvertito come un colpo secco; se cade lontano, il lampo è seguito da un rombo sordo e prolungato in quanto le onde sonore vengono rifratte dall'atmosfera e fatte rimbalzare da colline, montagne e altre conformazioni del terreno. Come si è già detto, la luce del lampo viene percepita istantaneamente, mentre il tuono viene udito dopo un intervallo di tempo più o meno lungo a secondo della distanza del fulmine. Tale distanza è pari a 340 metri moltiplicati per il suddetto intervallo in secondi.



3-Normative

Progettazione e manutenzioni protezioni contro i fulmini LPS

Normativa per la protezione da fulminazione

IEC → CLC → CEI



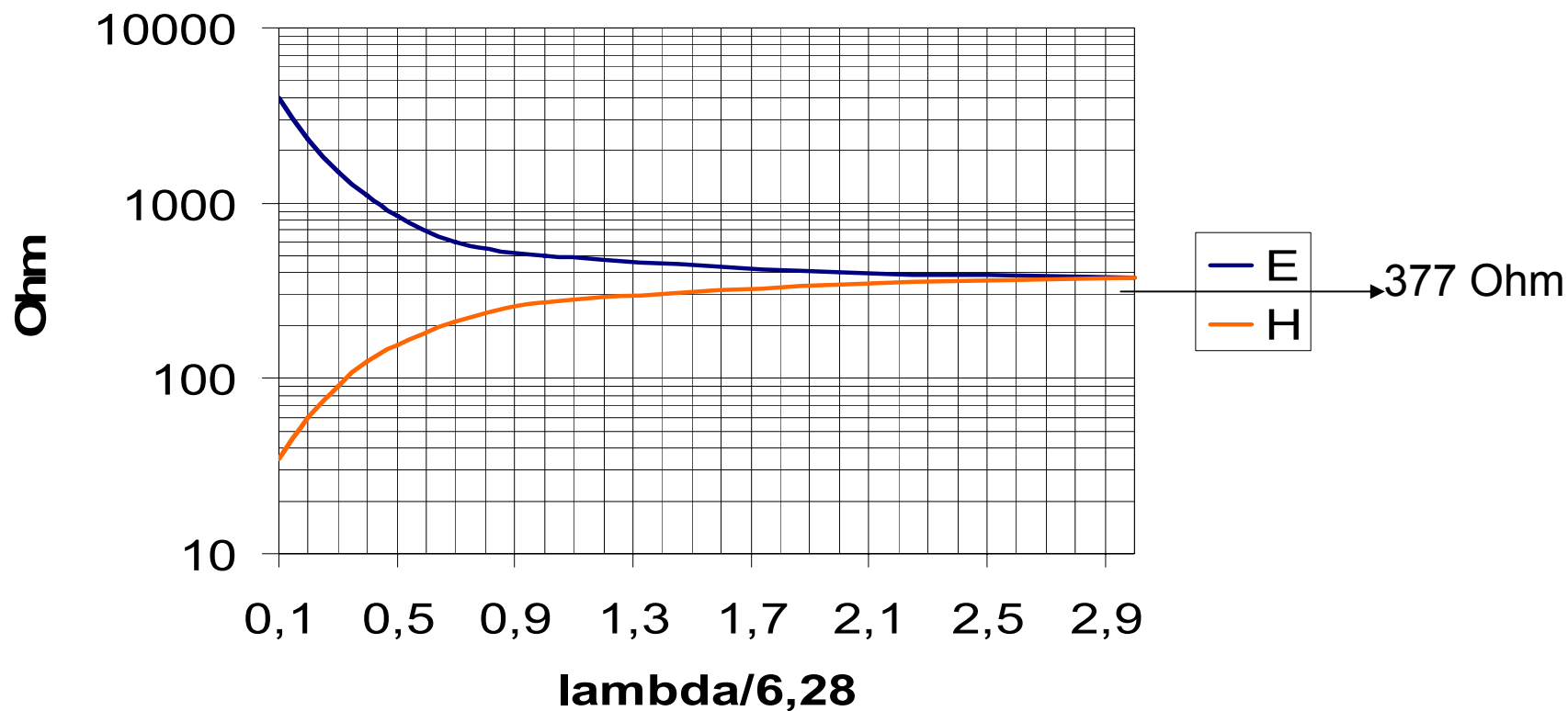


4-Normative TEST di immunità

Analisi	Normativa di riferimento	Tipologia analisi
CE 001	EN 61000-6-3EN 61000-6-4EN 55011	Prove di emissione condotta (con utilizzo della camera anecoica)
CE 002	EN 55013EN 55022	Prove di emissione irradiata (con utilizzo della camera anecoica)
CE 003	EN 61000-6-1EN 61000-6-2	Prove di immunità irradiata (con utilizzo della camera anecoica)
CE 004	IEC 61000-4-6	Prove di immunità condotta
CE 005	IEC 61000-4-2	Prova di immunità alle scariche elettrostatiche
CE 006	IEC 61000-4-4	Prova di immunità ai transitori veloci
CE 007	IEC 61000-4-11	Prova di immunità ai buchi di tensione
CE 008	IEC 61000-4-5	Prova di immunità ai fulmini
CE 009		Rapporto di prova
CE 010	CEI 211-6CEI 211-7	Prove di inquinamento elettromagnetico ambientale (misura puntuale giornaliera)

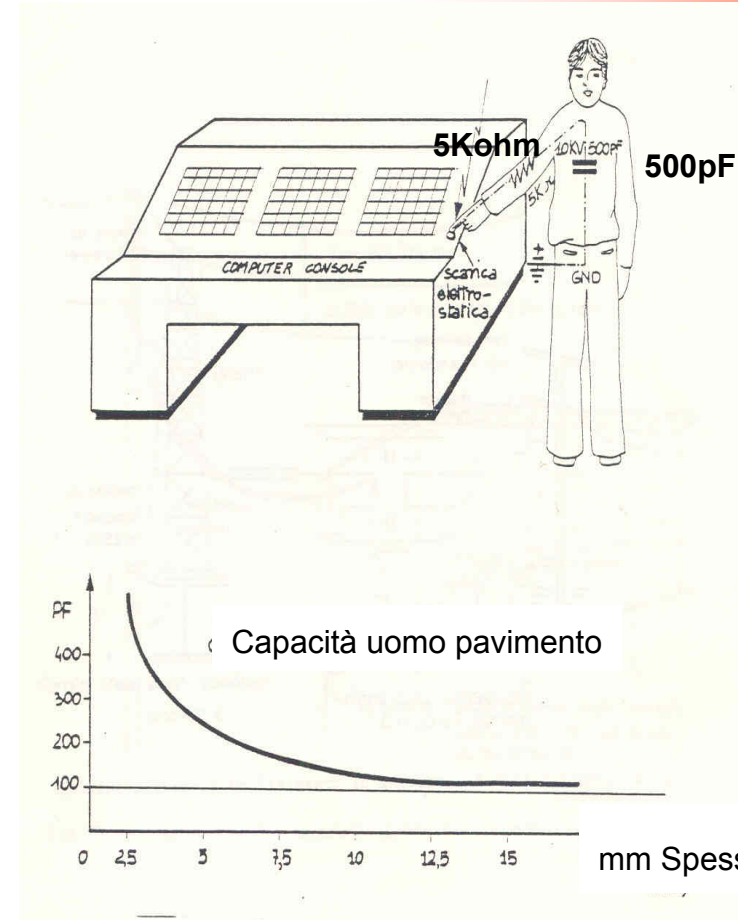
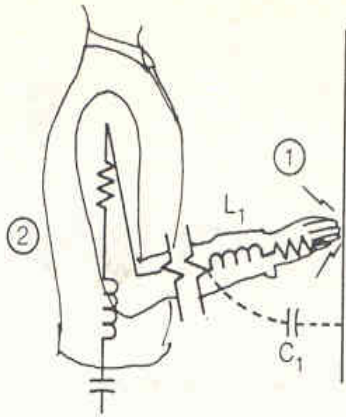


5- Andamento d'impedenza del campo in funzione della distanza

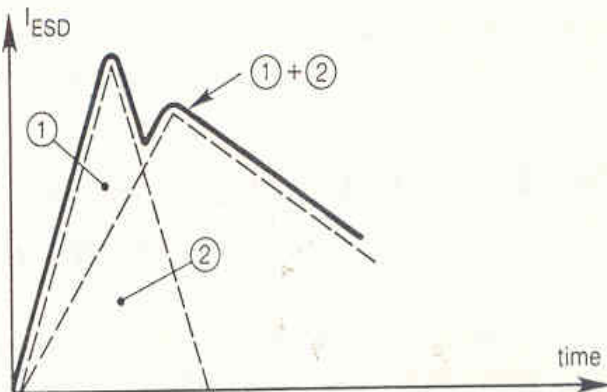




6-La scarica ESD è brevissima



Spiegazione della caratteristica dell'impulso di tensione ESD



Anche per ESD l'impulso di corrente è un doppio esponenziale.

I tempi massimi delle normative sono: $T_s/T_d = 5/60\text{nS}$



7-Parametri per Test ESD IEC 61000-4-2

△ ESD Discharge Parameters Per IEC 61000-4-2

Level	First Peak Current (A)	Peak Current at 30ns (A)	Peak Current at 60ns (A)	Test Voltage (Contact Discharge) (kV)	Test Voltage (Air Discharge) (kV)
1	7.5	4	8	2	2
2	15	8	4	4	4
3	22.5	12	6	6	8
4	30	16	8	8	15



8- Acronomi - Bibliografia

- △ CEI Comitato elettrotecnico Italiano
- △ EFT Electrical Fast Transient
- △ EFT/B Electrically Fast Transient/burst
- △ EM Electromagnetic
- △ EMC Electromagnetic compatibility
- △ EMI Electromagnetic Interference
- △ ESD Electrostatic Discharge
- △ ICT Information Communication Technology
- △ IDU Indoor Unit
- △ IEC International Electro technical Commission
- △ LEMP Lightning Electromagnetic Pulse
- △ MOV Metal Oxide Varistor
- △ NEMP Nuclear Electromagnetic Pulse
- △ ODU Outdoor Unit
- △ ppP Peak Pulse Power
- △ RF Radio Frequenza
- △ SCR Silicon controlled rectifier
- △ SIDAC Silicon Diode for Alternating Current
- △ SIRF Sistema Italiano Rilevamento Fulmini
- △ SYDAC Silicon thYristor for Alternating Current
- △ TLC Telecomunicazioni
- △ TVS Transient Voltage Suppression
- △ VDR Voltage Depend Resistor
- △ Price e Pierce -The modeling of channel current in the lightning return stroke- Radio scienze Nr12- 1986.
- △ B. Kordi, R. Moini, V. A. Rakov-Comment on “Return stroke transmission line model for stroke speednear and equal that of light by R. Thottappillil, J. Schoene, and M. A. Uman” -GEOPHYSICAL RESEARCH , VOL. 29, NO. 10 - 2002.
- △ IEC 61000-4-5, Test di fulminazioni-
- △ CEI 81-10, Protezioni contro i fulmini.
- △ Catalogo Suhner -Lighting protectors
- △ Data Sheet Transient Voltage Suppression :
 - △ St
 - △ Vishay
 - △ Motorola
 - △ Semtech
 - △ Philips
 - △ Surge
- △ CESI- SIRF <http://www.fulmini.it/>