

Rapporti tecnici

INGV

Criteri di progetto per la
Compatibilità Elettromagnetica
“*ElectroMagnetic Compatibility, EMC*”,
“*grounding*” e “*bonding*”

306



Direttore Responsabile

Stefano Gresta

Editorial Board

Luigi Cucci - Editor in Chief (INGV - RM1)

Andrea Tertulliani (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM2)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Milena Moretti (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Antonio Guarnieri (INGV - BO)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Barbara Angioni

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

Rapporti tecnici INGV

CRITERI DI PROGETTO PER LA COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA “*ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, EMC*”, “*GROUNDING*” E “*BONDING*”

Giuseppe Urbini

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica)

306

Indice

Introduzione	7
1. Che cosa è la Compatibilità Elettromagnetica?	7
2. Interferenza Elettromagnetica “ <i>Electromagnetic Interference, EMI</i> ”	7
3. Elementi di base di tutte le situazioni <i>EMI</i>	7
4. <i>EMI inter-system e intra-system</i>	8
5. <i>Grounding</i> (collegamenti a massa)	11
6. Accoppiamento con impedenza in comune	12
7. <i>Grounding</i> singolo punto e multipunto	13
8. Collegamenti elettrici (<i>Bonding</i>)	17
9. Tipi di connessione	19
10. Corrosione e tecniche di controllo	19
11. Protezione dalla corrosione	20
Bibliografia	21

Introduzione

Questa nota tecnica vuole mettere in evidenza il problema della Compatibilità Elettromagnetica e delle Interferenze Elettromagnetiche, con un approccio sistemistico. In particolare si illustrano due caratteristiche tipiche di apparecchiature e sistemi. La messa a massa (*grounding*) e le connessioni (*bonding*).

1. Che cosa è la Compatibilità Elettromagnetica?

Una definizione chiara è la seguente [White, 1981]:

“La Compatibilità Elettromagnetica “*Electromagnetic Compatibility*” (*EMC*) è la caratteristica di una apparecchiatura o sistema di funzionare correttamente (secondo specifica) nel proprio ambiente elettromagnetico operativo, senza influenzare o essere influenzato da altre apparecchiature o sistemi.”

2. Interferenza Elettromagnetica “*ElectroMagnetic Interference, EMI*”

L’*EMI* è un tipo di inquinamento ambientale, che non può essere visto, udito, gustato o odorato, però c’è e può causare danni come altri tipi di inquinamento ambientale [White, 1981]. Si sa che certi tipi di rasoi elettrici possono creare interferenze sul funzionamento di una radio vicina, siamo in presenza di rumore elettrico condotto e irradiato che può impedire l’ascolto della radio stessa, quando il rasoio è in funzione.

Un altro esempio riguarda i sistemi di accensione delle automobili (vicini alla case), questi possono interferire sui televisori introducendo barre o linee sulle immagini televisive, si può arrivare a perdere il sincronismo delle immagini (nella televisione a trasmissione analogica).

Le due situazioni descritte danno essenzialmente luogo a fastidi, ma ci sono casi molto più seri.

Per esempio facciamo riferimento ai portatori di “*pace-maker*” che usano apparecchiature elettriche, elettroniche, o altri sistemi che emettono a RF, questi possono interferire con il “*pace-maker*” facendolo funzionare male, e possono portare a svenimenti se non addirittura alla morte.

Un altro esempio di problema *EMI* più serio si ha quando c’è una conversazione telefonica che riguarda un affare importante, e ci sono alti livelli di interferenza elettrica sulle linee, in questo caso il problema *EMI* non è più un fastidio e può portare a un grosso danno economico.

Il problema dell’inquinamento elettromagnetico può portare danni ben superiori della perdita di una vita umana o di un affare, esso può coinvolgere molte vite umane e beni materiali.

Per esempio, se due aerei si scontrano durante il maltempo o per errori di navigazione dovuti ad *EMI* o per errori nei computer di un centro di controllo del traffico aereo dovuti a rumore elettrico causato da un temporale, si può avere la perdita di molte vite umane e un grosso danno economico.

Altri casi di problemi *EMI* che possono diventare catastrofici si possono avere, per esempio, durante una guerra, o nelle comunicazioni radio della polizia.

3. Elementi di base di tutte le situazioni *EMI*

In fig. 3.1 sono rappresentati i tre elementi base di una situazione *EMI*, ci sono gli emettitori di rumore elettrico, i mezzi di propagazione e i ricettori.

I metodi di accoppiamento, fra l’emissione e la ricezione, del rumore elettrico, mostrati in figura sono di due tipi, radiazione (separazione spaziale, senza connessione diretta), e conduzione (attraverso fili o cavi).

Molte delle apparecchiature viste in fig. 3.1 sono sia emettitori che ricettori di *EMI*, questo è ovvio per trasmettitori e ricevitori che sono parti dello stesso sistema.

Per quanto riguarda i computer, le periferiche come le stampanti, producono rumore elettrico a larga banda, e allo stesso tempo le memorie elettroniche dei calcolatori sono piuttosto suscettibili alle emissioni di alto livello.

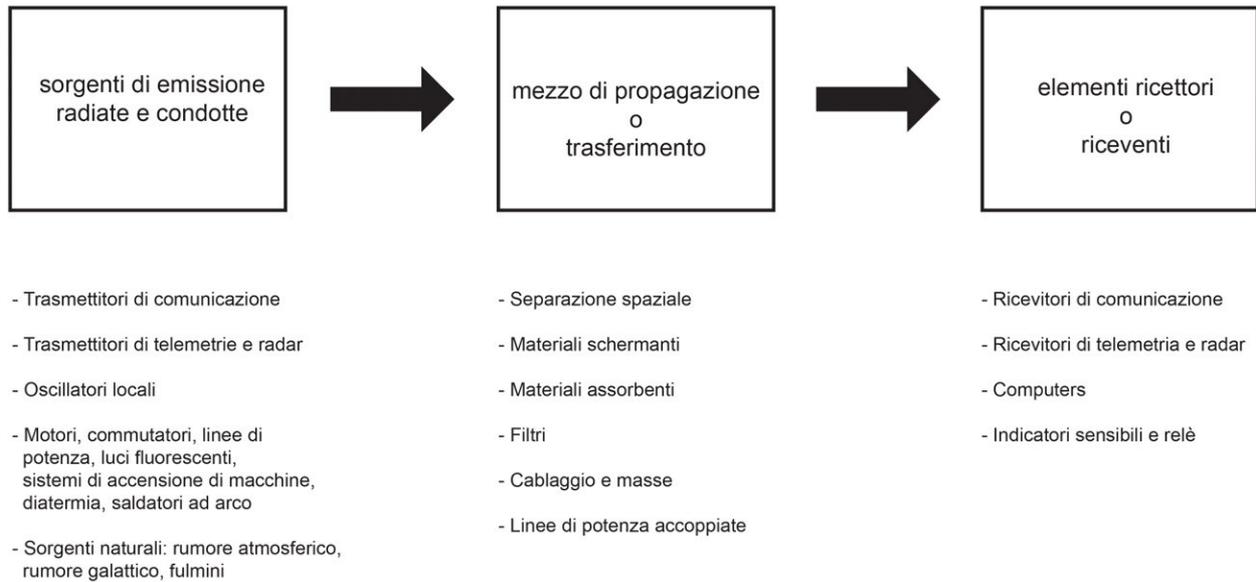


Figura 3.1 I tre elementi base di una situazione di Emissione/Suscettibilità.

4. *EMI inter-system e intra-system*

Ci sono due situazioni tipiche per quanto riguarda le interferenze, il primo caso si ha quando le *EMI* si sviluppano all'interno di un sistema o apparecchiatura e si parla in questo caso di *EMI "intra-system"*. Il secondo caso si ha quando le interferenze interessano due o più sistemi, in questo caso si parla di *EMI "inter-system"* [White, 1981].

La fig. 4.1 mostra un esempio concettuale che riguarda ambedue le forme di *EMI*.

Il trasmettitore sulla sinistra tenta di comunicare con il ricevitore al centro della figura, il ricevitore è soggetto anche ad altre emissioni elettromagnetiche, quelle sviluppate internamente, e quelle, intenzionali e non intenzionali, sviluppate dagli emettitori sulla destra della figura.

L'informazione da trasmettere viene generata dalla sorgente di informazione, in basso a sinistra, possono essere immagini, voce, dati o treni di impulsi radar. L'informazione arriva al trasduttore di sorgente dove viene convertita in un formato elettronico adatto alla trasmissione elettromagnetica.

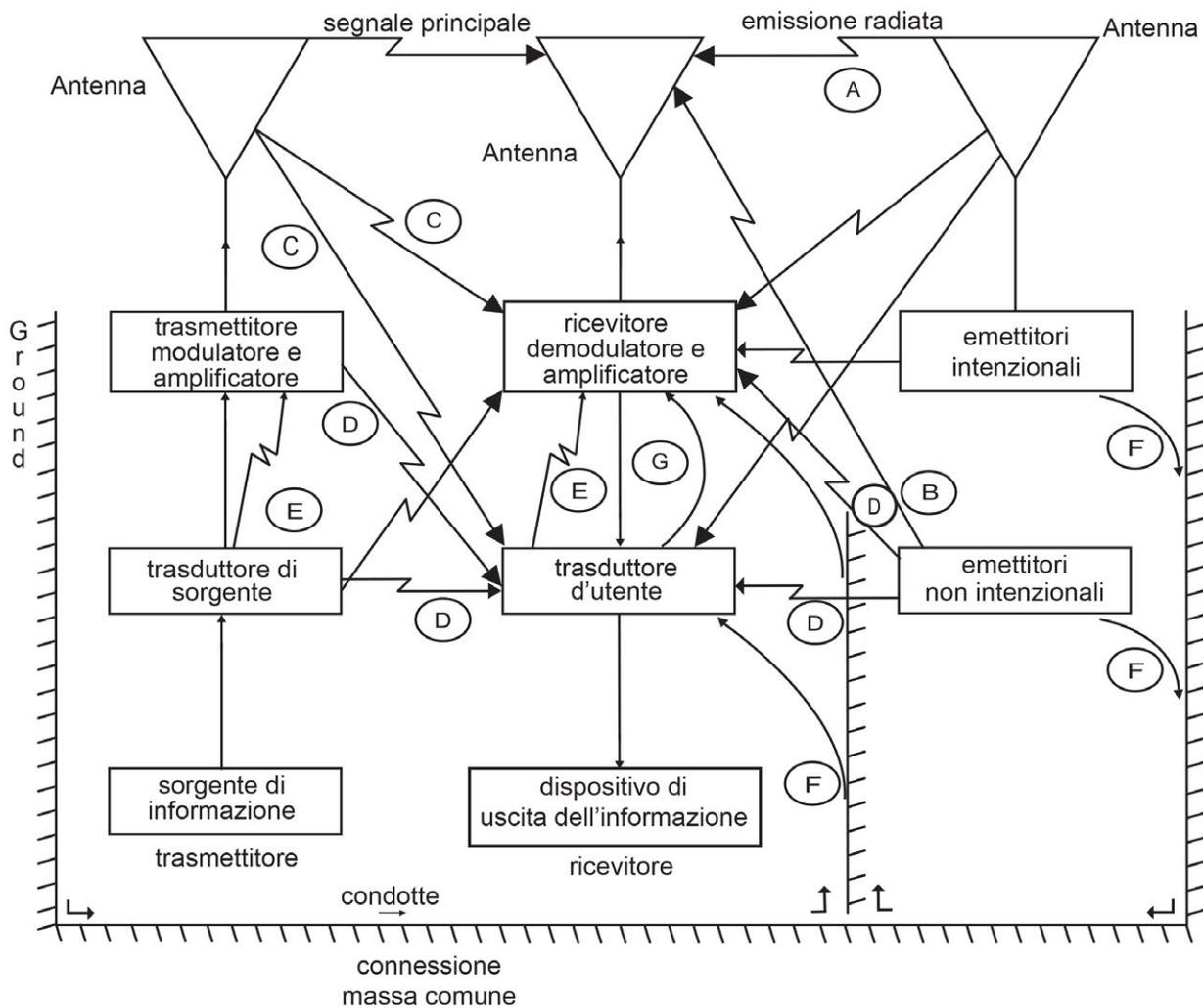
A questo punto le *EMI* possono svilupparsi secondo il cammino (E) cioè emissione radiata da più alti livelli di potenza e/o secondo il cammino (G) "loops" di corrente di massa, o alimentazione di potenza in comune, si fa presente che queste situazioni interessano solo il sistema trasmettitore e quindi sono interferenze "intra-system".

Un secondo esempio di interferenza "intra-system" si ha nel ricevitore al centro di fig. 4.1 [cammini (E) e (G)].

Dopo modulazione, traslazione di frequenza (se applicabile) e amplificazione, l'informazione viene trasmessa dall'antenna in alto a sinistra della fig. 4.1, l'antenna ricevente, al centro della figura capta questo segnale, ma può captare anche altri segnali radio indesiderati da emettitori intenzionali, cammino (A), o emettitori non intenzionali, cammino (B) in figura.

La radiazione intercettata dal ricevitore viene elaborata dal trasduttore d'utente e presentata in uscita, è qui che l'*EMI* si manifesta o come distorsioni o come informazioni sbagliate.

La fig. 4.1 ci mostra altri cammini di accoppiamento *EMI "inter-system"*, i cammini di radiazione (C) e (D) e i cammini di conduzione (F), questi ultimi dovuti a un "grounding" o una alimentazione o un sistema di cavi, comune.



- (A) EMI radiate Antenna - Antenna
- (B) EMI radiate Sorgente - Antenna
- (C) EMI radiate Antenna - Ricettore
- (D) EMI radiate Sorgente - Ricettore
- (E) EMI radiate "Intra - System"
- (F) EMI condotte Sorgente - Ricettore
- (G) EMI condotte "Intra - System"

Figura 4.1 Esempio di interferenze "Inter-System" e "Intra-System".

In fig. 4.2 è schematizzata una classica dimostrazione di *EMI intra-system*, vengono messi in evidenza i collegamenti di antenna e di alimentazione con le suscettibilità ed emissioni relative.

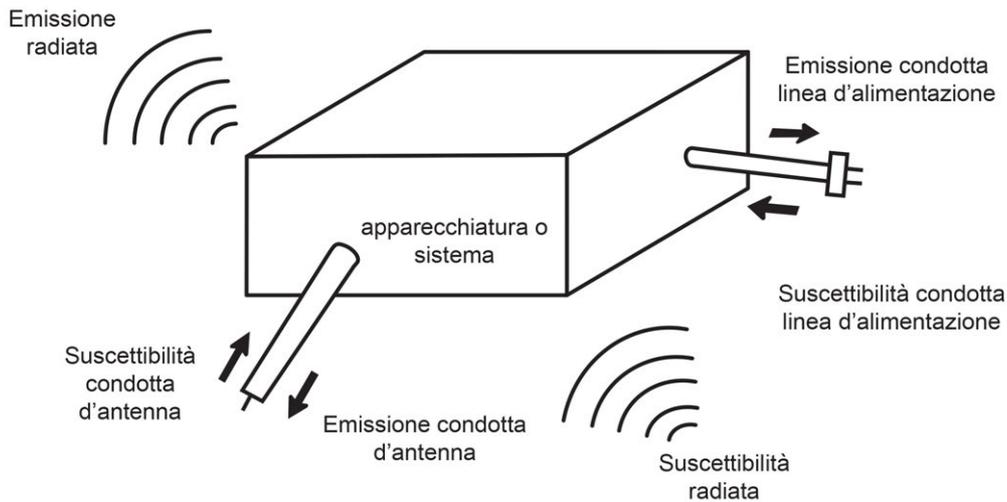


Figura 4.2 EMI “intrasystem”.

A proposito delle prove di interferenza condotte “*intra-system*” sulle linee di alimentazione, voglio qui illustrare brevemente le misure di emissione condotta su convertitori di tensione “*dc/dc converter*” fatte da me alcuni anni fa.

Si trattava di verificare il comportamento di due filtri EMI, uno della MURATA s.p.a. e un altro della ERIE s.p.a., posti sulle linee di alimentazione d’ingresso al *dc/dc converter*. Le misure furono effettuate con un oscilloscopio e un analizzatore di spettro, per vedere rispettivamente l’andamento nel tempo e il contenuto in frequenza dell’emissione condotta.

Il filtro della MURATA è risultato migliore di quello della ERIE, perché dava in uscita una emissione complessiva più bassa. L’emissione condotta era particolarmente pronunciata alla frequenza di commutazione del convertitore *dc/dc* (essendo “*switching converter*”), e in pratica non vi era emissione al di sopra di 1 GHz sia per il filtro EMI MURATA che per il filtro EMI ERIE.

La fig. 4.3 mostra una organizzazione in categorie delle tecniche di controllo *EMI intra-system*.

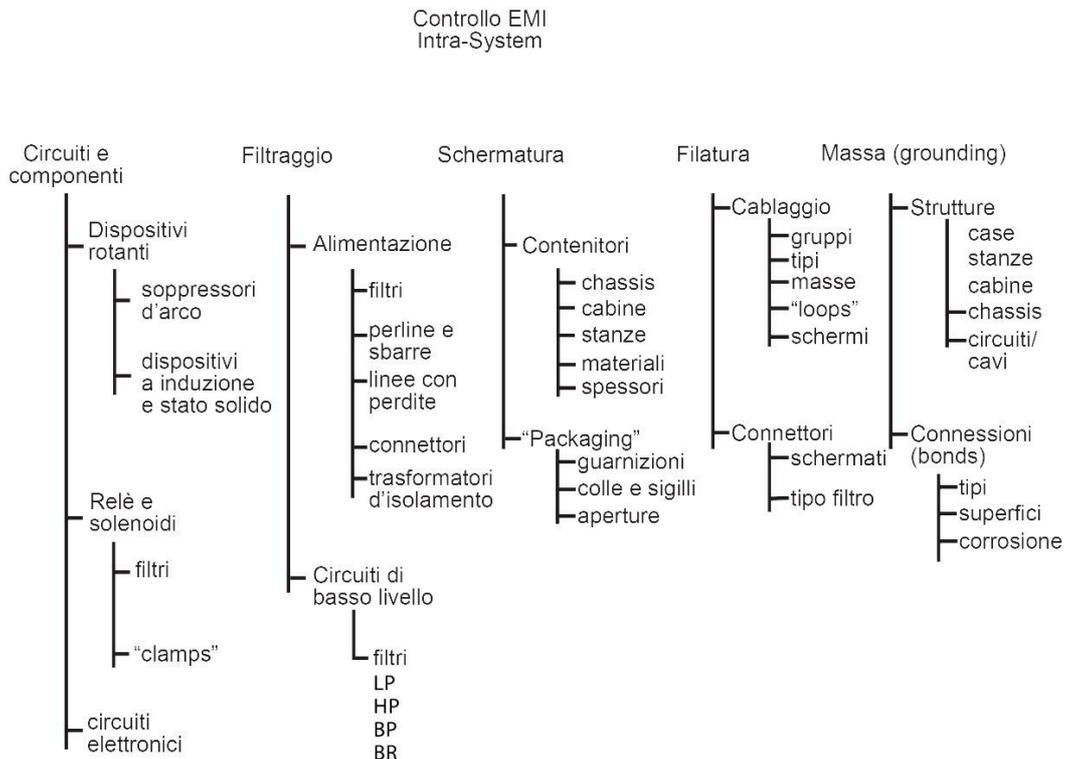


Figura 4.3 Organizzazione del controllo delle EMI “Intra-System”.

5. "Grounding" (collegamenti a massa)

Il "grounding" è un argomento molto importante, ad esempio compare nei cavi e nei connettori, quando si tratta di conoscere dove e come mettere a massa gli schermi [White, 1981].

Altri requisiti di "grounding" si hanno nelle case, cabine schermate, apparecchiature elettroniche, filtri.

Il problema del "grounding" è uno dei più importanti nel campo delle EMI "intra-system".

Ci sono due motivi per mettere a massa dispositivi, cavi, apparecchiature e sistemi [Clayton, 1999; Nano, 1979]:

- 1) prevenire rischi di *shock* dovuti al presentarsi di alte tensioni sulla struttura dell'apparecchiatura queste ultime dovute, per esempio, ai fulmini, oppure a una perdita di isolamento dei cavi che possono toccare accidentalmente lo chassis dell'apparecchiatura;
- 2) ridurre le EMI dovute al campo elettrico, o dovute ad altre forme di accoppiamento delle interferenze.

Prendendo come riferimento la fig. 5.1, teoricamente, non ci sarebbe ritorno di corrente attraverso il filo verde (massa di riferimento).

Se, accidentalmente, un lato caldo viene a contatto con lo "chassis" dell'apparecchiatura, questo si porta a una tensione di 115V, se qualcuno tocca l'involucro dell'apparato ci può essere una situazione di pericolo, (vedi fig. 5.2a).

Una corrente di 75mA potrebbe essere fatale per l'individuo, per evitare ciò, nei moderni apparati si usa utilizzare un terzo filo (filo verde), connesso alla massa e allo "chassis" dell'apparecchiatura, vedi fig. 5.2b.

Nei sistemi elettronici moderni si usano dei filtri EMI sulle linee di alimentazione in ingresso, questi sono costituiti essenzialmente da induttanze e capacità, e contribuiscono a ridurre le correnti di perdita, quindi se un individuo tocca accidentalmente l'involucro e questo non è a massa passerebbe attraverso il corpo una corrente di qualche milliampere, vedi fig. 5.2c.

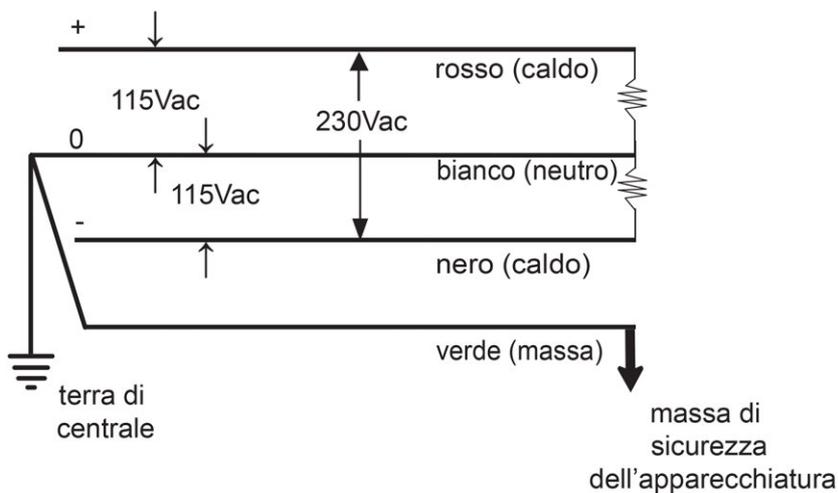


Figura 5.1 Funzionamento di riferimento, teoricamente, non ci sarebbe ritorno di corrente attraverso il filo verde (massa di riferimento).

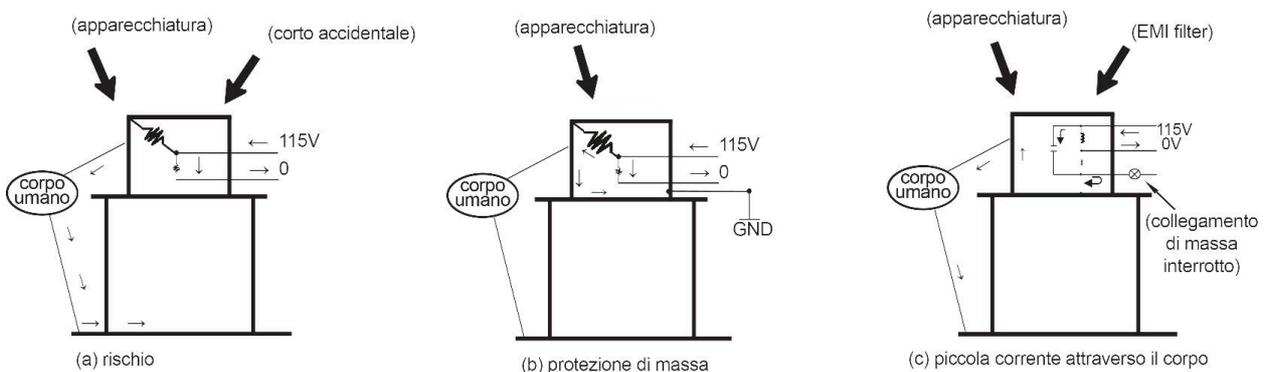


Figura 5.2 Rischio di shock e salvaguardia con e senza massa di apparecchiatura e filtri EMI.

Il problema del “grounding” riguarda il collegamento di apparati elettrici ed elettronici ad un riferimento di potenziale comune, per evitare lo scorrere di correnti *EMI* causate da differenze di potenziale fra parti di un sistema o nelle linee di alimentazione.

Un concetto che viene di conseguenza è il cosiddetto, piano di massa (*ground plane*), che presenta differenza di potenziale zero fra due punti qualsiasi. C’è da dire subito una cosa, e cioè che non importa se c’è una differenza di potenziale fra il piano di massa e la terra, basta pensare ad un aereo, una nave in mare o un edificio sulla terra, tutte queste strutture si comportano come piani di massa.

Un satellite, finchè è a terra fa riferimento al suo sistema di supporto (*EGSE, Electrical Ground Support Equipment*) e quindi alla terra effettiva. Una volta disconnesso dall’ “EGSE” il piano di massa sarà costituito dall’involucro del satellite, durante la missione l’energia in eccesso accumulata è parzialmente dissipata come scariche elettrostatiche nello spazio e in parte convertita in energia termica irradiata.

6. Accoppiamento con impedenza in comune

Nella realtà il piano di massa non è una superficie equipotenziale [White, 1981], la situazione è come quella di fig. 6.1, i due circuiti condividono lo stesso “ground plane” per i cammini di ritorno delle correnti.

La tensione V_c sviluppata su Z , l’impedenza equivalente del piano di massa, è:

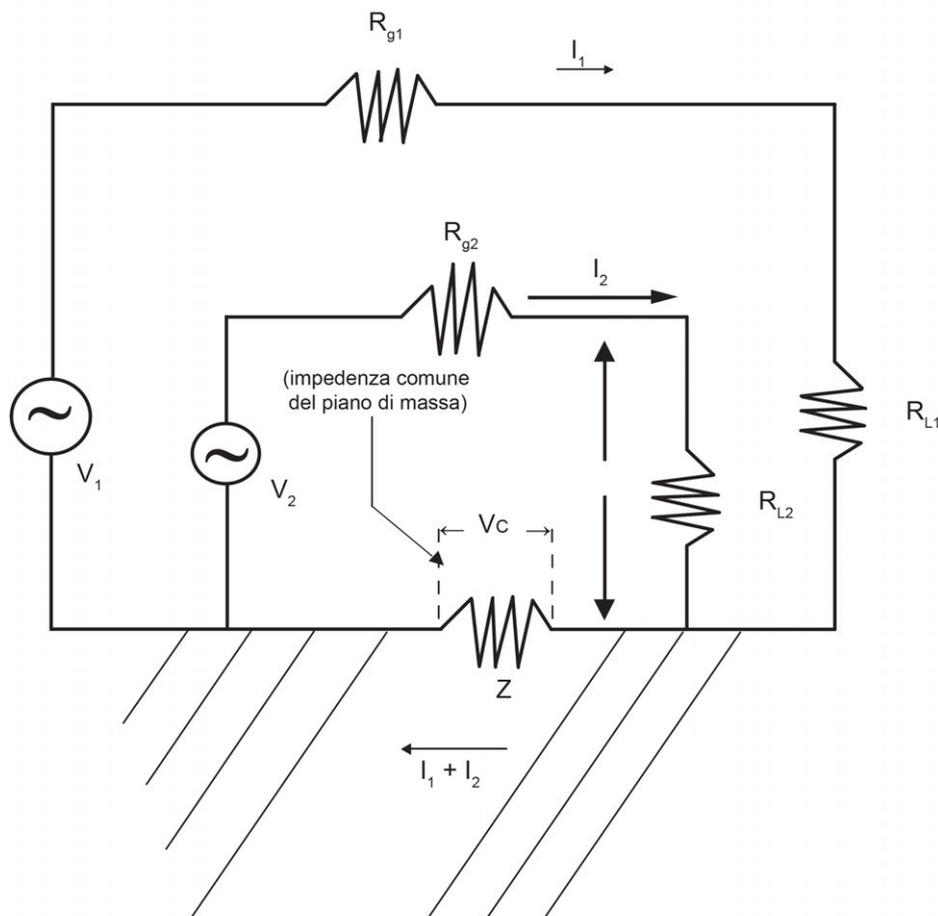


Figura 6.1 Accoppiamento di impedenza comune fra circuiti, i due circuiti condividono lo stesso “ground plane” per i cammini di ritorno delle correnti.

$$V_c = \frac{Z}{R_{g1} + R_{L1} + Z} V_1 \text{ per } Z \ll (R_{g1} + R_{L1}) \rightarrow V_c = \frac{Z}{R_{g1} + R_{L1}} V_1 \quad [1]$$

La tensione risultante, V_i sviluppata sul circuito 2, è:

$$V_i = \frac{R_{L2}}{R_{g2} + R_{L2}} V_c \quad \text{per } Z \ll (R_{g2} + R_{L2}) \quad [2]$$

Sostituendo l'equazione [1] nell'equazione [2], si ha il rapporto V_i/V_1

$$\frac{V_i}{V_1} = \frac{Z R_{L2}}{[(R_{g1} + R_{L1})(R_{g2} + R_{L2})]}$$

7. “Grounding” singolo punto e multipunto

I sistemi elettronici moderni raramente hanno un solo piano di massa, per ridurre le interferenze, come quelle dovute a impedenze comuni, ci sono più “ground plane”, ad esempio ci sono masse strutturali, masse dei segnali, masse degli schermi e masse di alimentazione primaria e secondaria,

tutto questo deve essere considerato anche da un punto di vista pratico (motivi economici e logistici).

Questi piani di massa sono connessi, mediante cammini più corti possibile, alla massa di sistema dove formano il riferimento di potenziale di sistema. Questo metodo è conosciuto come “grounding” a singolo punto (*single-point ground*) ed è illustrato in fig. 7.1.

Il metodo evita problemi di accoppiamento su impedenza comune, il solo cammino comune è nella massa di terra (per strutture basate a terra), ma questi collegamenti hanno impedenze molto basse, si può dire che tutti gli apparati in fig. 7.1 sono mantenuti allo stesso potenziale di riferimento.

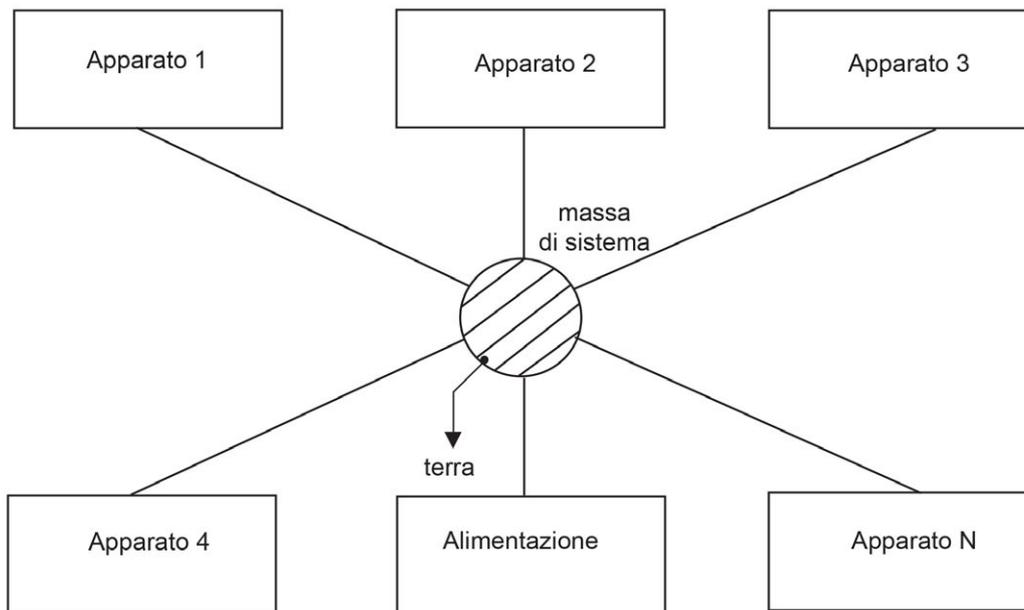


Figura 7.1 Piani di massa connessi mediante cammini più corti possibile alla massa di sistema (riferimento di potenziale di sistema) “single-point grounding”.

Problemi nel realizzare il “single-point grounding” si hanno quando:

1. Sono usati cavi di interconnessione fra gli apparati, specialmente quelli schermati e operanti su lunghezze l maggiori di “ $\lambda/20$ ”.
2. Esistono capacità parassite fra apparati o fra apparati e masse di altre apparecchiature, la situazione è illustrata in fig. 7.2.

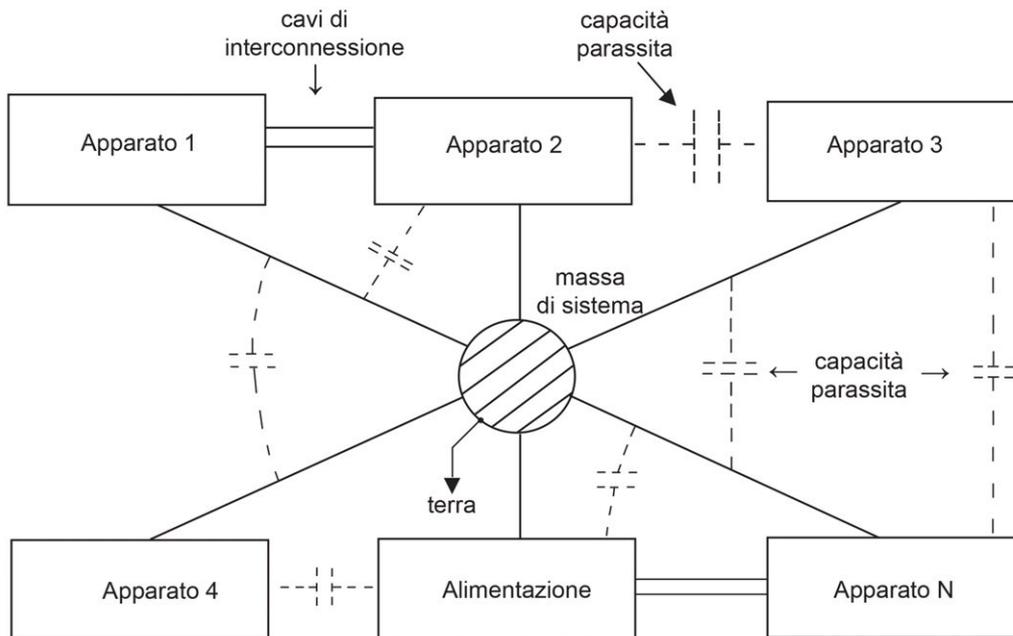


Figura 7.2 Esempio di degenerazione del “single-point grounding” da cavi di interconnessione e capacità parassite.

Ad alte frequenze le reattanze delle capacità parassite producono cammini a bassa impedenza, e ci sono anche le reattanze induttive parassite delle connessioni di massa (alte ad alta frequenza), quindi possono scorrere ancora correnti di modo comune o possono svilupparsi potenziali disuguali fra apparati.

La situazione in fig. 7.2 è incontrollabile, una soluzione è il “grounding” multipunto in cui ogni apparato è connesso a massa (*ground plane*) mediante un cammino il più breve possibile (fig. 7.3), il piano di massa è poi messo a terra per ragioni di sicurezza.

Si può dire che il “grounding” singolo punto opera meglio a bassa frequenza mentre quello multi punto si comporta meglio ad alta frequenza.

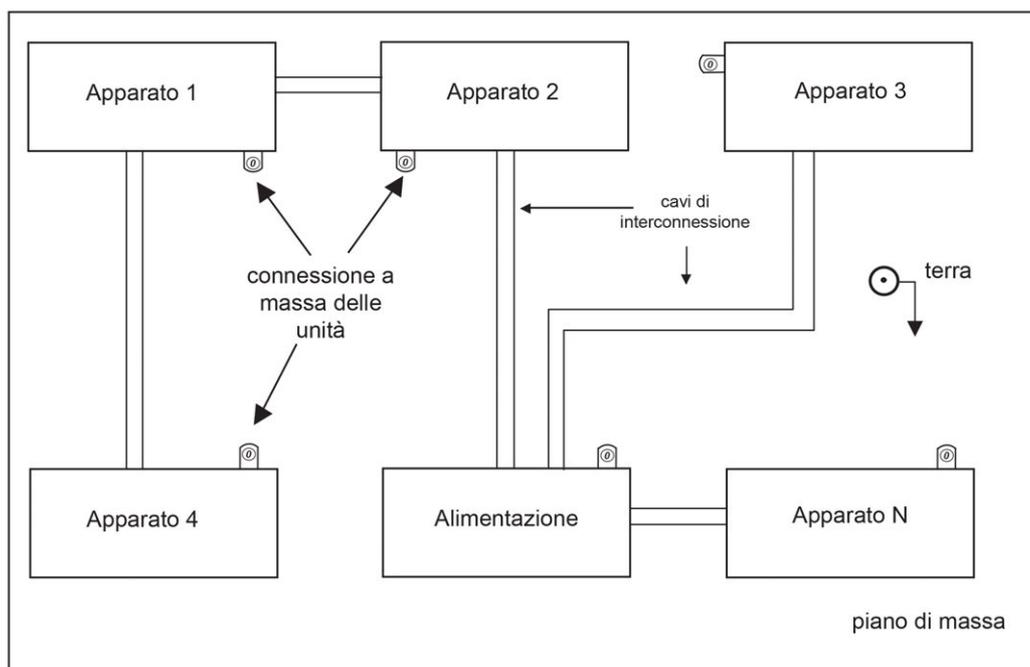


Figura 7.3 “Multi-point grounding”, ogni apparato è connesso a massa (“ground plane”) mediante un cammino il più breve possibile. Il piano di massa è messo a terra per sicurezza.

“Grounding” ibrido (*hybrid grounding*)

I metodi di “grounding” e il loro utilizzo nelle situazioni pratiche sono illustrati in fig. 7.4.

Per basse frequenze e piccole dimensioni usare il “*single-point grounding*”, per alte frequenze e grosse dimensioni usare il “*multi-point grounding*”.

Per le situazioni intermedie si può utilizzare un “*hybrid grounding*”.

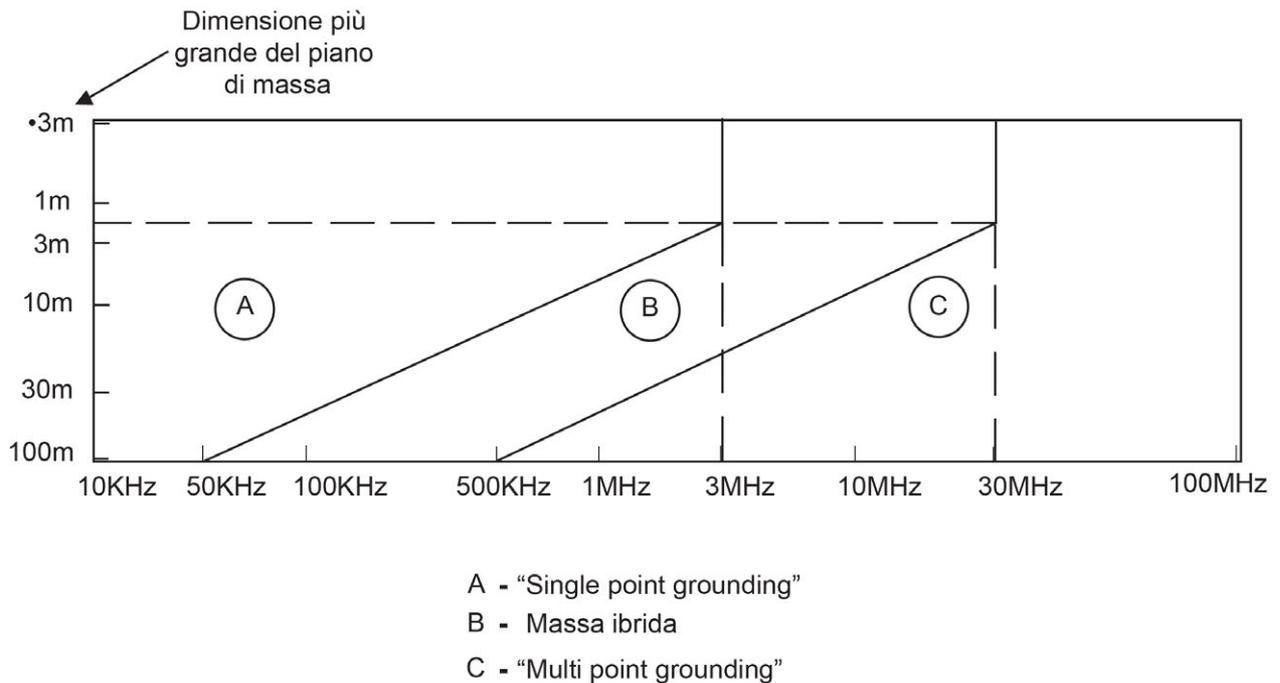


Figura 7.4 Regioni di utilizzo delle masse, in base alla frequenza di utilizzo e alle dimensioni.

Per mettere in evidenza questi tipi di connessione si fa riferimento alla fig. 7.5.

Qui una cabina contiene quattro “*rack*”, due contengono circuiteria ad alta e media frequenza mentre gli altri due (quelli più in basso) contengono visualizzatori, “*display*”, circuiti vari di controllo, sensori.

I cassette rf e if sono simili e sono messi a massa mediante “*multi-point grounding*” allo “*chassis*” del cassetto, e il cassetto è connesso a terra.

Gli altri due cassette (circuiti di basso livello e bassa frequenza) utilizzano il “*single-point grounding*”.

Si possono notare nella fig. 7.5 le due linee di massa, la massa di potenza e la massa di segnale connesse in basso a sinistra al blocco di distribuzione e alla terra (*ground earth*).

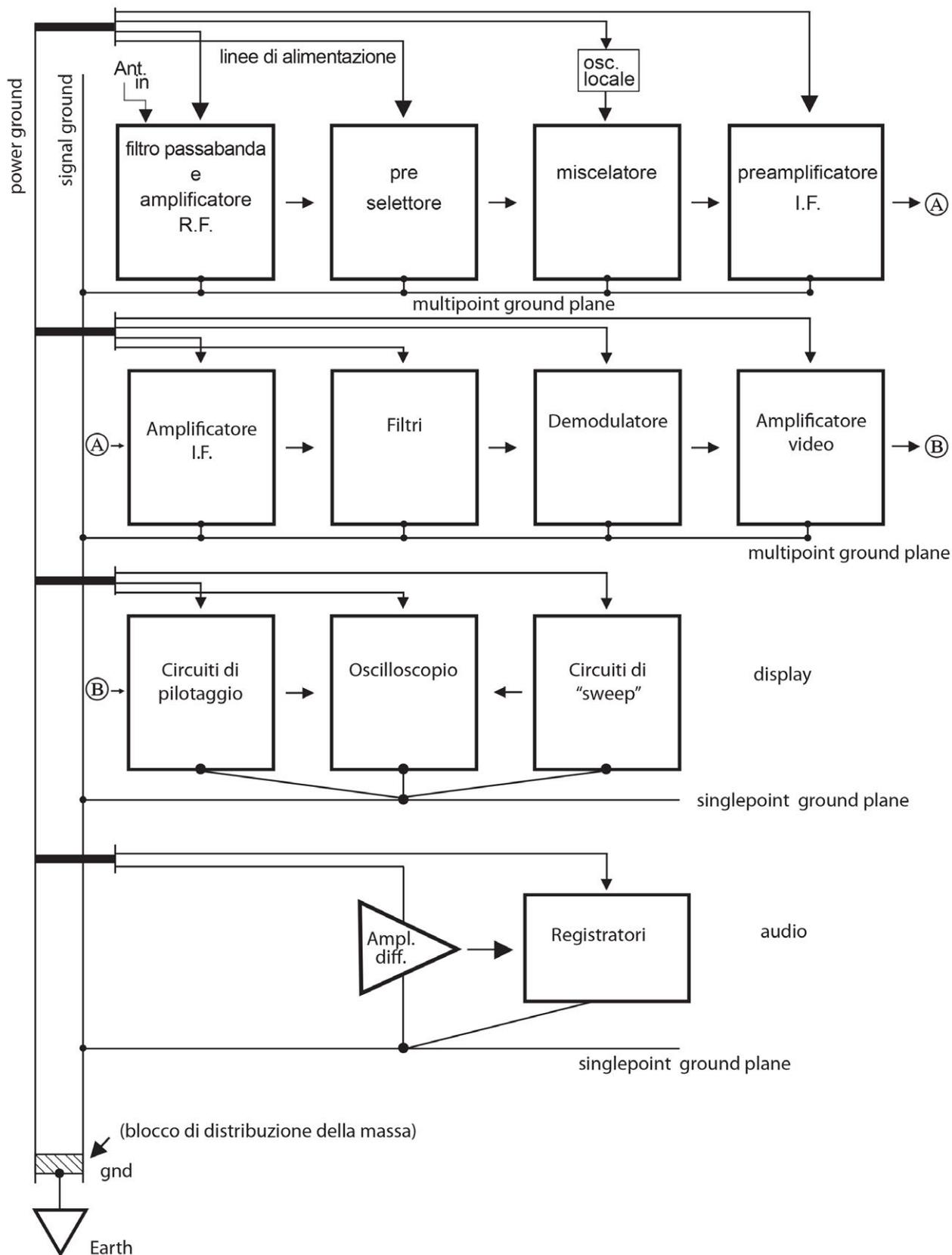


Figura 7.5 Varie situazioni di "grounding" all'interno di una cabina di "racks". Circuiteria di bassa, media e alta frequenza, "single point grounding", "multi point grounding", "hybrid grounding".

8. Collegamenti elettrici (*Bonding*)

Si fa qui riferimento al processo in cui componenti o moduli di un apparato o sistema sono connessi elettricamente mediante conduttori di bassa impedenza [White, 1981].

Lo scopo è quello di rendere la struttura omogenea rispetto al flusso delle correnti a radio-frequenza, questo riduce le differenze di potenziale elettrico che possono produrre *EMI* fra parti metalliche.

Un esempio dell'importanza della connessione elettrica per ridurre le *EMI* si vede in fig. 8.1a in cui l'efficienza di un filtro può essere annullata da un "bonding" sbagliato, la resistenza di contatto di una connessione impropria non dà il percorso a bassa impedenza necessario per mettere a massa le correnti di interferenza che arrivano dalle linee di alimentazione, queste correnti attraversano le capacità del filtro e arrivano all'apparato che doveva essere protetto.

In fig. 8.1b il ricevitore non è ben connesso a un piano di massa di riferimento comune per l'antenna e per i ritorni delle linee di alimentazione, le correnti RF appariranno quindi sulle linee di alimentazione, condividendo un cammino a impedenza comune alla connessione con il segnale RF rivelato dall'antenna.

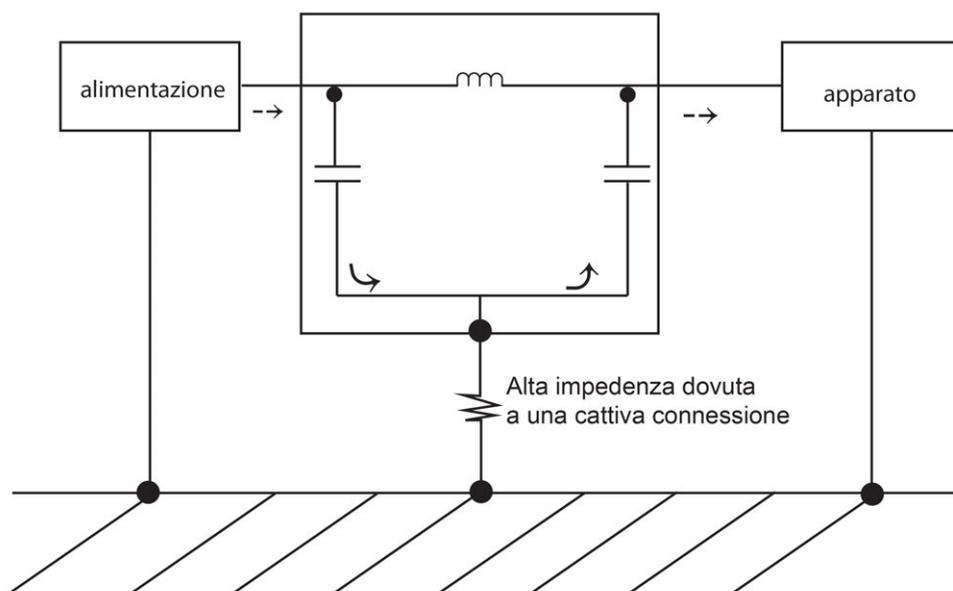


Figura 8.1a Prestazioni di un filtro EMI, l'efficienza di un filtro può essere annullata da un "bonding" sbagliato.

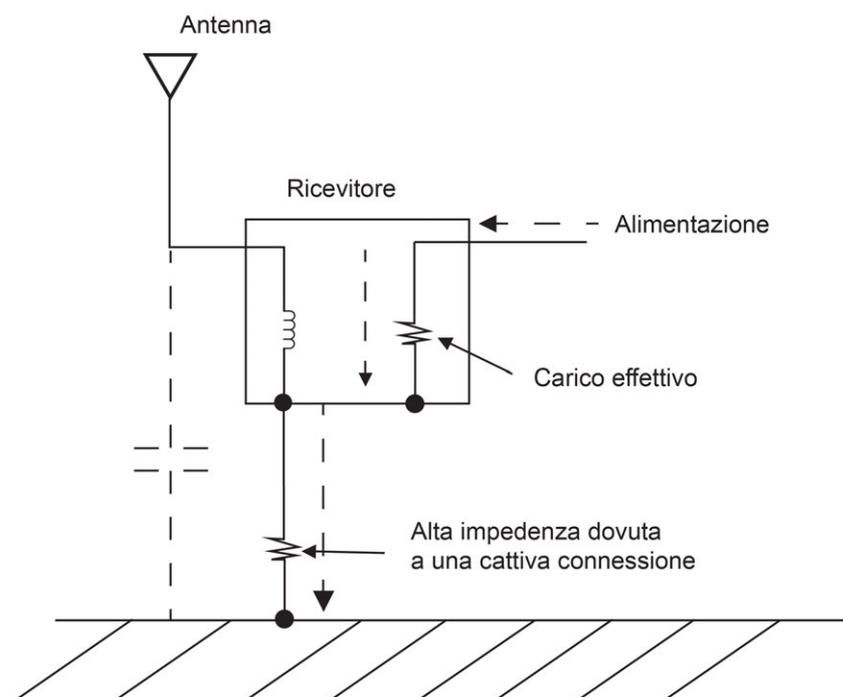


Figura 8.1b Ricezione d'antenna. Ricevitore non ben connesso a un piano di massa di riferimento comune per l'antenna e per i ritorni delle linee di alimentazione.

Un percorso a bassa impedenza è possibile solo quando la separazione dei componenti connessi è piccola rispetto alla lunghezza d'onda dell'EMI considerata, e la connessione è fatta di un buon conduttore.

In fig. 8.2a è raffigurato il circuito elettrico equivalente di una striscia conduttiva, la resistenza è dovuta alla conduttanza finita della striscia, in serie all'induttanza della striscia, esistono effetti capacitivi dovuti alla capacità residua della striscia e al suo montaggio.

La capacità e l'induttanza formano un circuito antirisonante parallelo, con un andamento dell'impedenza funzione della frequenza come in figura.

In fig. 8.2b viene messa in evidenza l'impedenza di contatto e gli elementi parassiti dell'installazione (capacità ed induttanze).

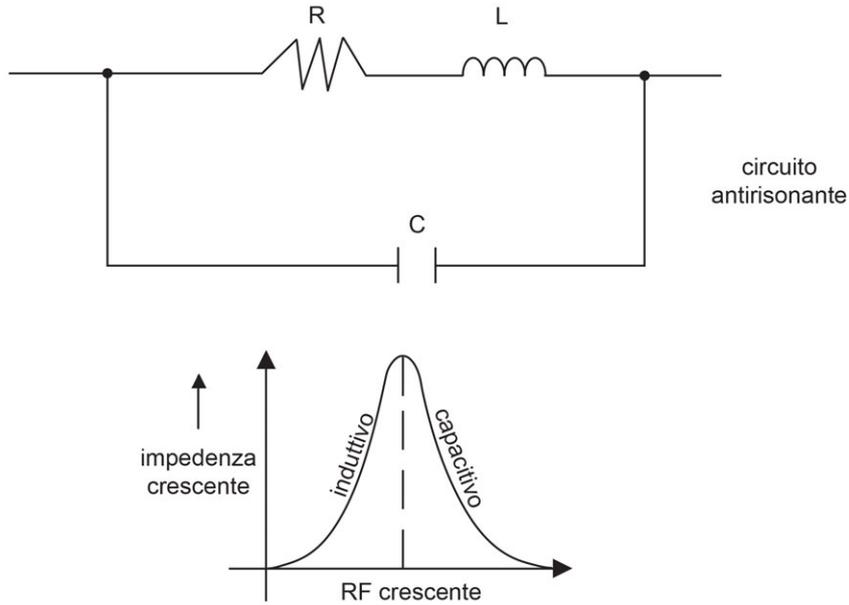


Figura 8.2a Circuito equivalente di una striscia di connessione e sua impedenza al variare della frequenza, la capacità e l'induttanza formano un circuito antirisonante parallelo.

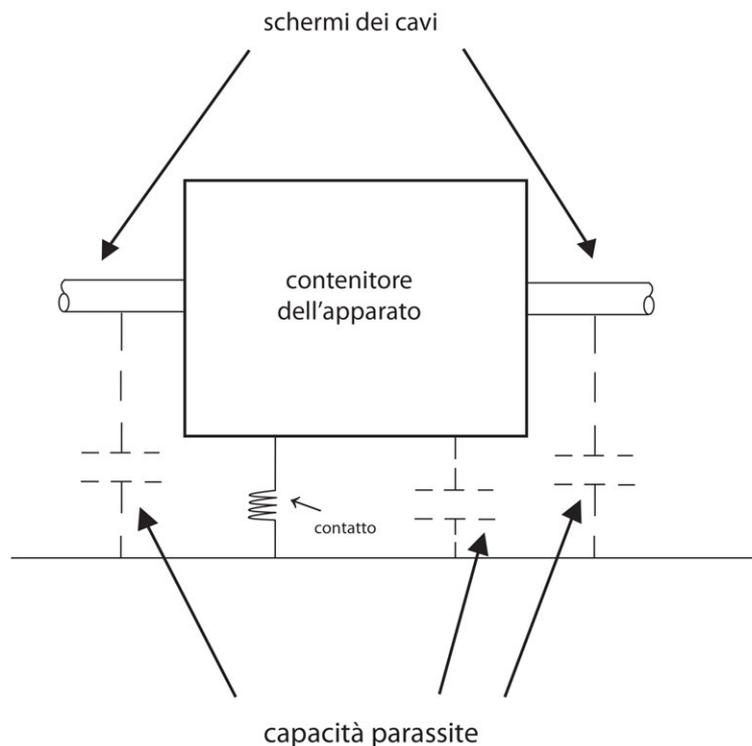


Figura 8.2b Impedenza di contatto ed elementi parassiti dell'installazione (capacità, induttanza).

9. Tipi di connessione

La migliore connessione elettrica consiste in un contatto metallo-metallo permanente e diretto, questo può essere realizzato tramite saldatura o brasatura.

Giunture semi permanenti come bulloni o rivetti forniscono una buona connessione, tuttavia il movimento relativo delle strutture congiunte produrrà una riduzione dell'efficienza della connessione introducendo una impedenza variabile.

Tipi di connessioni con rivetti e dadi sono raccomandati per connessioni semi permanenti (vedi fig. 9.1a), le rondelle a stella sono efficaci nei casi di coperture isolanti o protettive sul metallo come alluminio anodizzato o su ossidi non intenzionali che possono essersi formati fra due periodi di manutenzione.

La connessione di fig. 9.1b è usata per assicurare una buona continuità elettrica attraverso i tubi e i morsetti associati.

Per fornire un percorso a bassa impedenza a radio frequenza è necessario minimizzare l'auto induttanza e la capacità parassita, per massimizzare la frequenza di risonanza.

Operare sulla capacità parassita di una striscia di connessione è difficile, la principale variabile controllabile è l'auto induttanza, quindi le striscie di connessione sono da preferire rispetto a fili tondi a parità di sezione.

Le striscie di metallo solido sono in generale da preferire per la maggioranza delle applicazioni, le trecce o i fili sono sconsigliati per diversi motivi, (essenzialmente produzione di ossidi e più bassa auto induttanza).

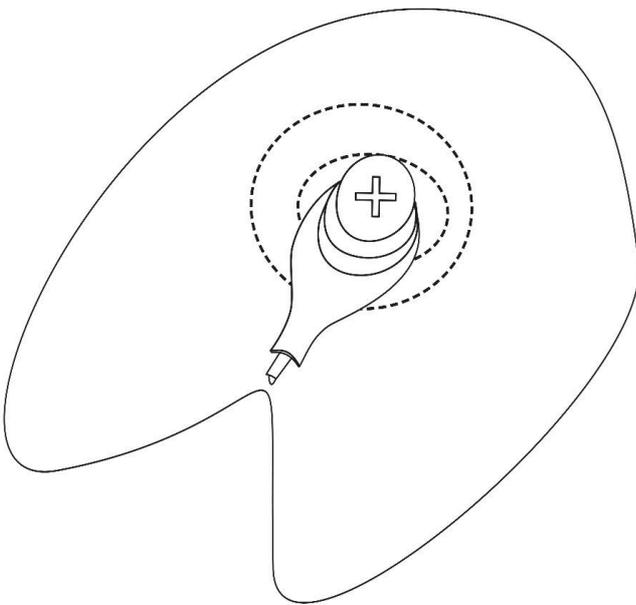


Figura 9.1a Configurazione hardware di una connessione tipica, con rivetti e dadi, semipermanente.

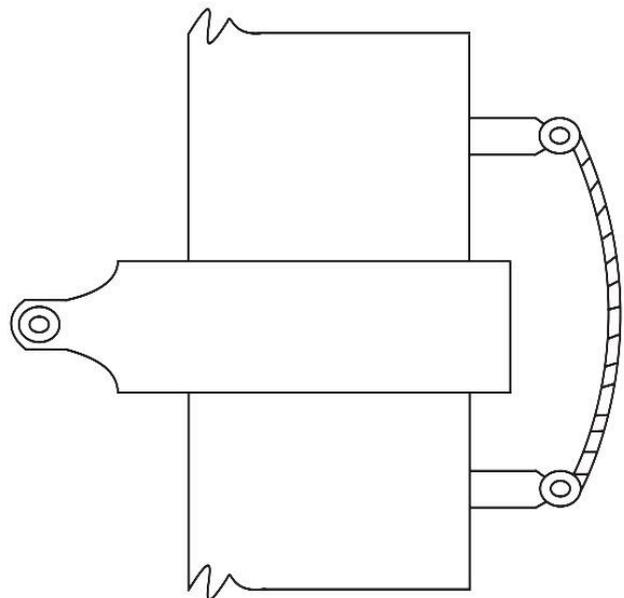


Figura 9.1b Connessione di tubi attraverso morsetti per assicurare una buona continuità elettrica.

10. Corrosione e tecniche di controllo

Quando due metalli sono in contatto (*bonded*) in presenza di umidità si può verificare la corrosione, a causa essenzialmente di due processi chimici.

Il primo processo è la corrosione galvanica, e nasce dalla formazione di una cella voltaica fra i metalli con l'umidità che si comporta come un elettrolita, il grado di corrosione dipende dalla posizione dei metalli nella serie elettrochimica. Questa serie è mostrata in tabella1, con i metalli in alto nella serie che si

corrodono più rapidamente di quelli in basso. Se i metalli differiscono apprezzabilmente in questa serie, come per esempio alluminio e rame (2 Volt di differenza) la risultante forza elettromotiva causerà una significativa decomposizione del metallo più attivo (più in alto nella serie o meno nobile) che gradualmente va in soluzione.

Tabella 1

Serie Elettrochimica			
Metallo	EMF (Volt)	Metallo	EMF (Volt)
Magnesio	+2,37	Piombo	+0,13
Leghe di Magnesio		Ottone	
Berillio	+1,85	Rame	-0,34
Alluminio	+1,66	Bronzo	
Zinco	+0,76	Leghe Rame Nichel	
Cromo	+0,74	Acciaio Inossidabile	
Ferro o Acciaio	+0,44	Argento	-0,80
Ferro fuso		Grafite	
Cadmio	+0,40	Platino	-1,20
Nickel	+0,25	Oro	-1,50
Stagno	+0,14		

Tabella 1. Serie elettrochimica. Posizione dei metalli in base all'EMF (Volt).

Il secondo processo di corrosione chimica è denominato corrosione elettrolitica, anche questo processo richiede due metalli in contatto attraverso un elettrolita, però non hanno bisogno di avere differente attività elettrochimica, cioè possono essere lo stesso metallo.

In questo caso la decomposizione è dovuta alla presenza di correnti elettriche locali che possono scorrere attraverso la struttura.

11. Protezione dalla corrosione

Il modo più efficace per evitare gli effetti avversi della corrosione è usare metalli bassi nella tavola di attività elettrochimica, come per esempio stagno piombo o rame, questo però non risulta pratico nel progetto di molte strutture (esempio aeroplani) per problemi di peso, di conseguenza vengono usati metalli più attivi e più leggeri come l'alluminio o il magnesio, anche se per molte strutture non è infrequente l'uso di acciaio inossidabile.

Quando c'è una giunzione di metalli diversi, questi dovrebbero essere vicini tra di loro nella serie elettrochimica se si vuole evitare una eccessiva corrosione, ad esempio magnesio e acciaio inossidabile formano una coppia galvanica di alto potenziale (circa 3 Volt), questo porta a una rapida corrosione del magnesio.

Se si devono usare metalli dissimili è buona norma utilizzare componenti rimpiazzabili per gli oggetti che si corrodono come rivetti, viti, dadi, bulloni o morsetti.

Quindi gli oggetti di massa più piccola dovrebbero essere di potenziale più elevato, ad esempio rondelle di acciaio usate su strutture di ottone.

Quando i membri della coppia elettrolitica sono molto separati nella tabella delle attività è pratico spesso usare una placcatura, per esempio, di cadmio o stagno, questo aiuta a ridurre la differenza.

Qualche volta è possibile isolare elettricamente i metalli con finiture organiche o elettrolitiche e sigillare le giunture contro l'umidità, per evitare la corrosione, c'è però da dire che questa è una pratica inaccettabile dal punto di vista del controllo delle *EMI*.

Per quanto riguarda la corrosione elettrolitica una soluzione potrebbe essere quella di evitare l'uso di una struttura per il ritorno delle linee di alimentazione.

Le giunzioni dovrebbero essere tenute strette e ben protette dopo la connessione per prevenire la contaminazione mediante liquidi o gas, perché una cella galvanica non può funzionare senza vapore condensato.

Bibliografia

White D.R.J., (1981). *Electromagnetic Interference and Compatibility*. Ed. Don White Consultants Inc. vol. 3.

Clayton R.P., (1999). *Compatibilità Elettromagnetica*. Ed. Hoepli.

Nano E., (1979). *Compatibilità Elettromagnetica (Radio disturbi)*. Quaderni di Elettronica, Boringhieri.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2015 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia