VOLTA S.p.A.

65 YEARS 1952 – 2017

Competenza ed entusiasmo per soluzioni tecniche

Il progetto elettronico a fronte della ISO 10605

Ing. Marco Dealessi
mde@volta.it

La storia

- Il fenomeno delle scariche elettrostatiche (o di elettricità statica) è noto dai tempi antichi: «Electron» in greco significa «ambra».
- Nel medioevo i maghi nelle feste paesane sfregavano ambra con lana o capelli e mostravano il movimento di attrazione tra i due corpi caricati per magia.
- Per la spiegazione scientifica della magia, occorre arrivare a fine settecento con la legge di attrazione delle cariche di Charles Augustin di Coulomb ma ancora oggi poche persone sanno spiegare perché a volte prendiamo la scossa.

VOLTA S.p.A.

Il fenomeno

- Per prendere la scossa occorrono tre eventi in sequenza:
  1. un corpo isolante caricato per sfregamento (suola delle scarpe)
  2. un corpo conduttivo caricato per contatto o induzione (il corpo umano che ha il piede dentro le scarpe)
  3. un secondo conduttore avvicinato al corpo conduttivo carico (la serratura, sia che venga collegata a terra o che sia isolata)
- ma anche un ambiente favorevole a basso tasso di umidità.

VOLTA S.p.A.

Triboelettricità

- Strofinando due corpi isolanti un corpo si carica con carica positiva e l'altro con carica negativa.
- La scala triboelettrica mette in sequenza i materiali in funzione della propensione ad acquisire o cedere elettroni e fornisce quindi solo l'informazione del segno della carica.
- La quantità di carica dipende dalla dimensione delle superfici a contatto e poi separate, dalla pressione, dalla direzione della forza di contatto, dalla pulizia delle superfici, dalla rugosità delle medesime, dall'umidità ambiente... ed è difficile da prevedere.

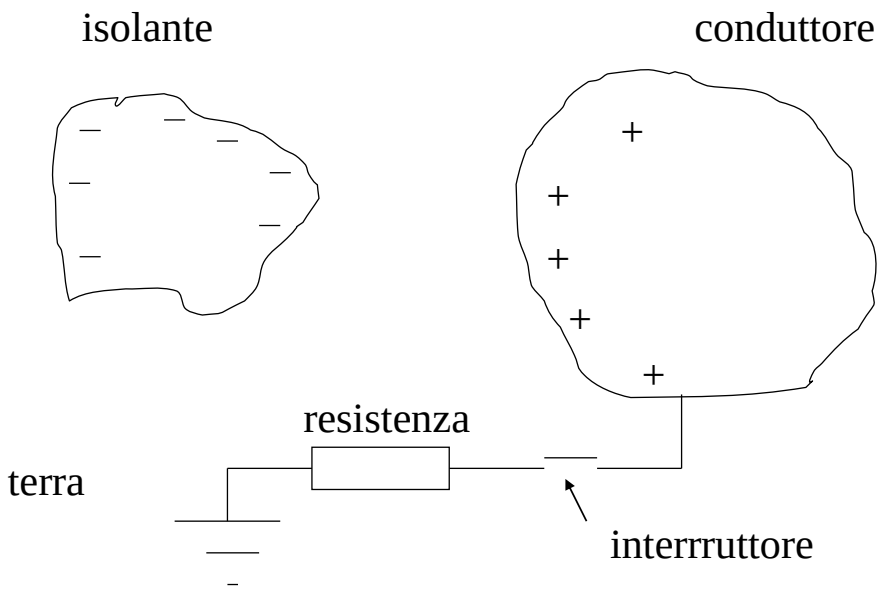
VOLTA S.p.A.

$Q = C \cdot V$

- Per un corpo carico la misura di Q si ottiene misurando V e potendo calcolare C.
- Nell'isolante caricato, le cariche sono immobili e restano per lungo tempo nella zona del contatto. Avvicinando un conduttore, la zona vicina al corpo isolante si carica di un segno e quella lontana dell'altro segno. Allontanando il conduttore le cariche svaniscono.
- Se si mette a terra l'isolante non succede niente mentre se si mette a terra il conduttore, questo resta carico anche quando si scollega da terra. Anche nel conduttore le cariche restano in superficie, ma distribuite uniformemente.

VOLTA S.p.A.

Trasferimento per induzione



La scossa

- Quando il conduttore carico si avvicina a un secondo conduttore e la distanza diventa piccola, la tensione $V = {}^{Q}/_{C}$ supera la rigidità dielettrica dell'aria ed avviene la scintilla, ricombinazione rapida di cariche.
- Avvicinando la mano con la chiave alla serratura, in questo modo prendiamo la scossa che è percepita dolorosa con una tensione di almeno 25kV.

ISO 10605: specifiche

- Trattandosi di prove di immunità transitoria, la forma dell'impulso è determinante
- L'impulso è lo stesso di EN 61000-4-2, ma con livelli di prova più elevati (25..30kV).
- Il test imita il contatto tra il dispositivo elettronico e la mano dell'operatore.
- La scarica avviene tramite una rete RC, dove – semplificando - C corrisponde alla capacità ed R corrisponde alla resistenza del corpo umano, nel tragitto considerato.

VOLTA S.p.A.

La capacità

- Ciò che ci interessa di un corpo carico non è il volume, bensì la superficie.
- Stimiamo per semplicità un modello di corpo umano corrispondente ad una sfera di un metro di diametro: considerando la formula della capacità del condensatore sferico con armatura esterna all'infinito, la capacità [pF] della sfera è circa 100 volte il suo diametro [m].
- Nella realtà, la presenza di pavimento e muri aggiunge altre capacità.
- Per questo motivo, la norma prevede valori di capacità da 150pF e da 330pF.

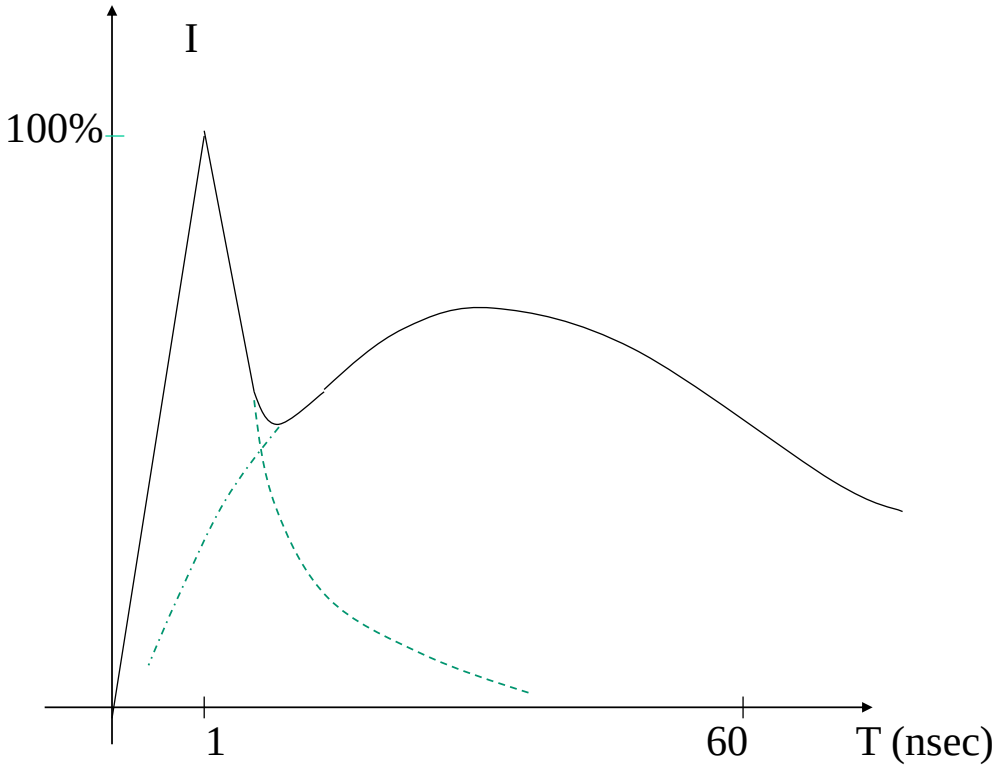
VOLTA S.p.A.

La resistenza

- La resistenza dipende dalla parte del corpo considerata: nel caso della mano con chiave sarà alta per la mano, bassa per il braccio e minima per la chiave.
- Nel veicolo si presentano situazioni diverse ad esempio per i passeggeri seduti (interno veicolo) così come per il manutentore con i piedi a terra (esterno veicolo).
- Per questo motivo, la norma prevede valori di resistenza da 330Ω e da 2kΩ.

VOLTA S.p.A.

L’impulso normato

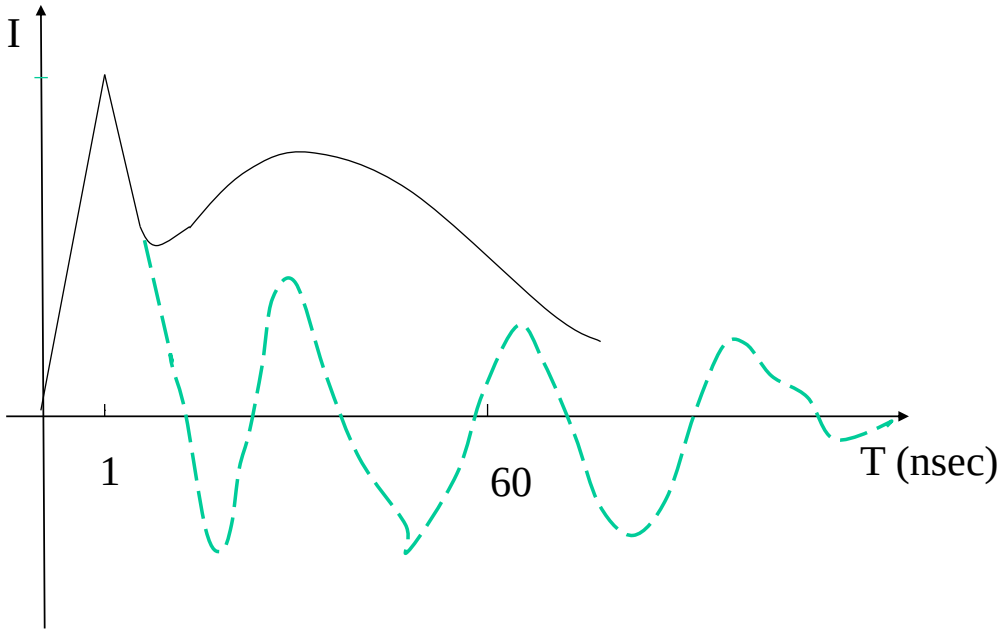


L’impulso normato

- L’impulso viene misurato in fase di calibrazione con la pistola a contatto. Nella realtà esistono due impulsi sovrapposti: uno velocissimo ed ampio, l’altro più basso ed più energetico.
- Il primo è condizione critica e corrisponde alla scarica della capacità della punta.
- Il secondo corrisponde al transitorio legato alla capacità di carica della pistola.
- L’impulso reale sarà – naturalmente - molto diverso, ad esempio come nella prossima figura.

VOLTA S.p.A.

L’impulso reale



I percorsi delle cariche

Progetto e prove

- I numerosi percorsi delle cariche verso i componenti delicati rendono la progettazione difficile.
- Tipicamente è l'ultimo test che si progetta, anche per sfruttare gli accorgimenti già adottati per le prove di immunità transitoria (soprattutto burst) e di emissione irradiata.
- É anche l'ultimo test che si esegue perché potenzialmente distruttivo: se l'EUT si guasta durante il test, si riportano a casa almeno i risultati degli altri test.

VOLTA S.p.A.

Strategie di progetto

- Tenendo presente che le scariche possono essere distruttive se attraversano i componenti e che gli accoppiamenti elettromagnetici possono far cambiare stato a circuiti digitali e far fallire la prova, gli specialisti possono optare tra due opzioni contrapposte.
  - Una possibilità (tutto plastica) consiste nello sfruttare l'isolamento dei materiali dielettrici: l'isolamento evita la scarica ed i campi associati.
  - L'alternativa (tutto metallo), consiste nell'uso di un contenitore conduttivo che favorisca la scarica controllandone il percorso in modo da non coinvolgere i componenti sensibili.

VOLTA S.p.A.

Strategie di progetto

- Come possano coesistere due strategie antitetiche in un mondo attuale in cui test e simulazioni sono in grado di dimostrare subito quale soluzione sia la migliore? Entrambi gli approcci hanno vantaggi, ma anche uno svantaggio: non esiste una soluzione facile.
- Tenendo in considerazione che un contenitore metallico aiuta a superare sia le prove di emissione che di immunità, la bilancia statisticamente punta più al «tutto metallo» rispetto al «tutto plastica», anche se i contenitori plastici sono di uso comune per applicazioni low cost.
- Il contenitore è essenziale perché lo stimolo è applicato all'esterno mentre i componenti sensibili all'ESD stanno all'interno.

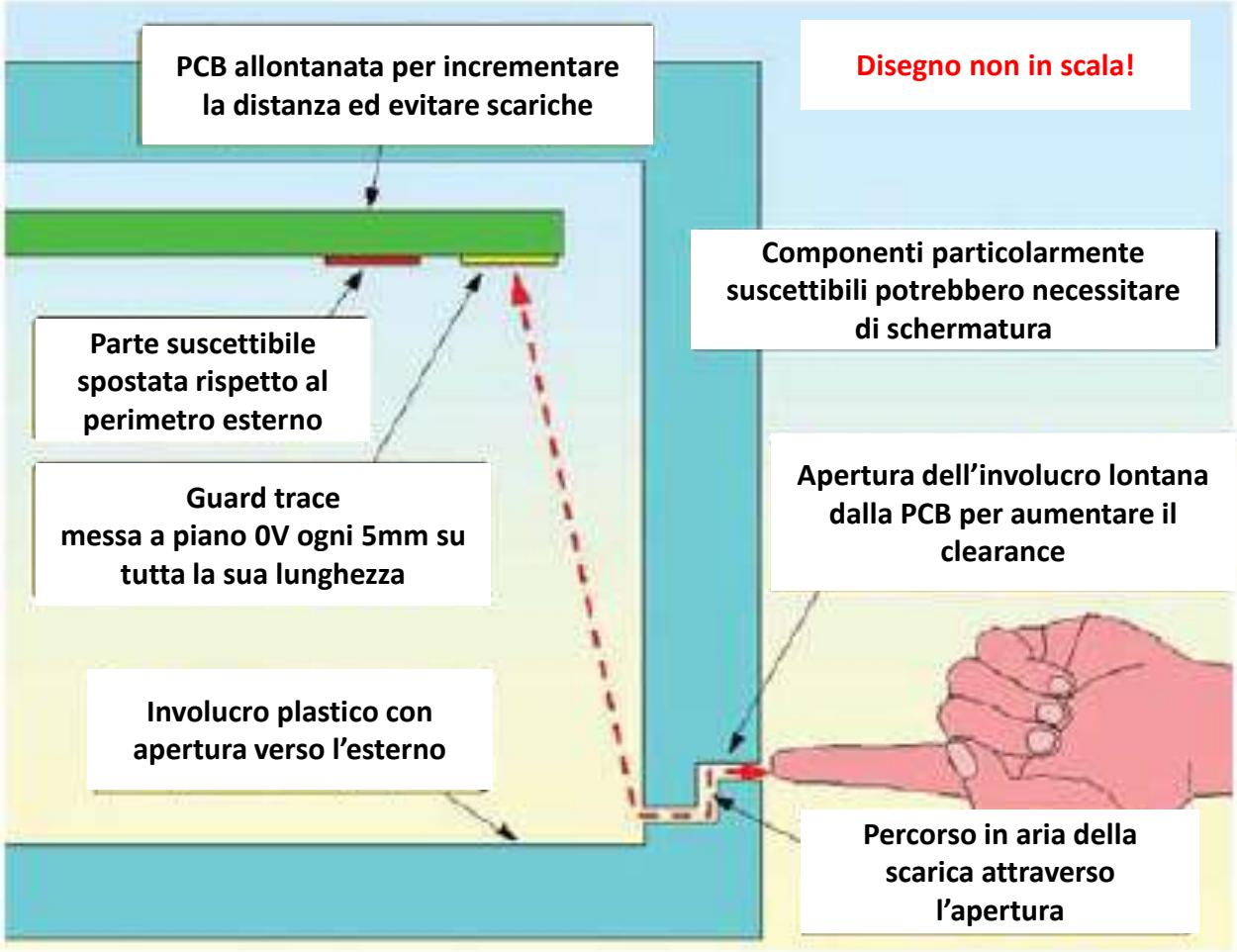
VOLTA S.p.A.

Contenitore plastico

- Le scariche penetrano attraverso fori grandi come capocchie di spillo ed i campi si intrufolano in fessure sottilissime (teorema di Babinet).
- Il contenitore plastico deve essere perfettamente chiuso: aperture tra organi in movimento relativo devono essere chiuse con guarnizioni isolanti flessibili, aperture che non necessitano di accessibilità per manutenzione possono essere sigillate con epoxi e resine (stando attenti alle bolle d'aria...)
- Aperture residue devono stare lontane dai circuiti e devono comunque offrire isolamento in aria adeguato (creepage).

VOLTA S.p.A.

Apertura residua



Contenitore plastico

- Quando si sono chiuse anche tutte le aperture, rimane ancora l'inconveniente dei contenitori isolanti: se la scarica avviene all'esterno, i campi elettrico e magnetico possono attraversare il contenitore e creare accoppiamenti interni
- Ci si difende con loop molto piccoli e schermi di Faraday collegati ai piani di massa del PCB la cui capacità chiude il percorso sul piano di massa del set-up di prova. Portare correnti impulsive sul ground plane è rischioso perché la caduta di tensione dovuta all'induttanza parassita del piano di massa della scheda genera un disturbo differenziale sul componente che deve essere filtrato.
- Sui bus veloci, sui display, sulle tastiere, può essere necessario l'uso di scaricatori, come per i burst. L'energia della scarica è concentrata da 300MHz a 500MHz ed i componenti protettivi devono essere molto veloci.

VOLTA S.p.A.

Contenitore metallico

- Spesso il progetto EMC richiede un contenitore conduttivo (metallo o plastica metallizzata) per superare altre prove. Se le parti metalliche sono ben collegate la scarica avviene all'esterno.
- Se le parti metalliche non sono ben collegate, il test eseguito al buio fa vedere delle piccole scintille azzurrognole nei punti di giunzione e, se ci sono aperture, la scarica può entrare o possono entrare i campi associati alla scarica esterna.
- Resistenze ed induttanze del contenitore associate con aperture e giunzioni favoriscono il passaggio di cariche sulla superficie interna del contenitore che si accoppiano per via capacitiva con i circuiti interni creando disturbi differenziali ai capi dei componenti sensibili: rischio tipico del contenitore metallico mal fatto!
- Attenzione a non lasciare parti metalliche flottanti (e.g. etichette).
- I contenitori parte plastici e parte metallici sono parecchio insidiosi.

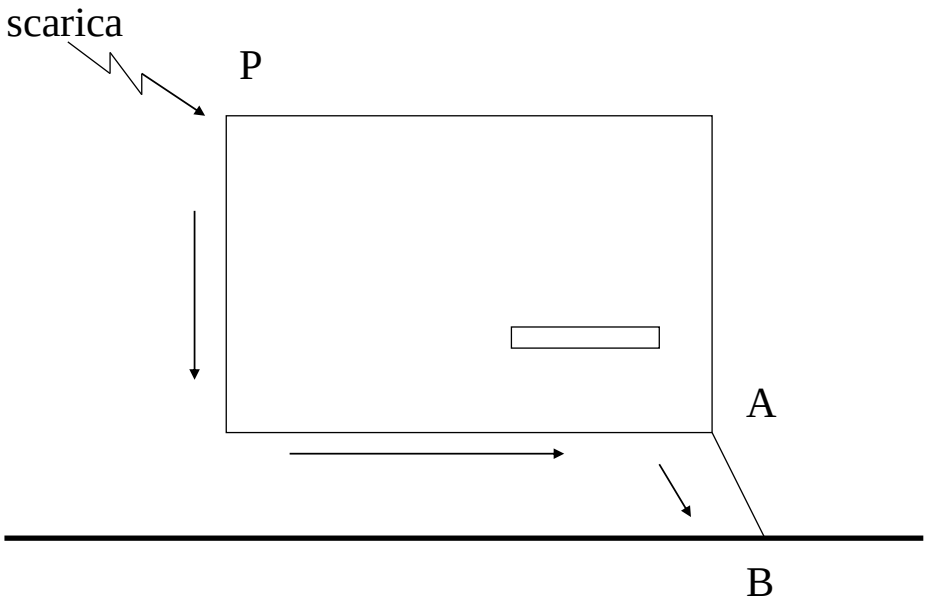
VOLTA® S.p.A.

Potenziale del contenitore

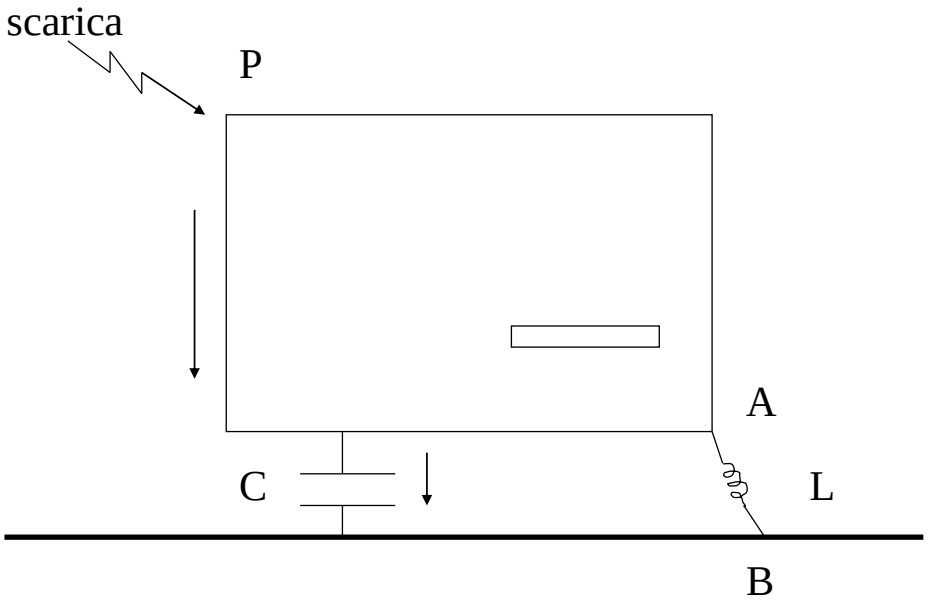
- Essendo la scarica velocissima (1ns), se il collegamento del contenitore metallico alla terra è induttivo, l'induttanza provoca la carica della capacità del contenitore rispetto al piano di terra ed il potenziale del contenitore sale.
- In un secondo tempo avviene la scarica della capacità tramite l'induttanza. I valori di L e di C determinano quindi la massima tensione del contenitore. I circuiti interni non ne risentono perché interni alla gabbia di Faraday.

VOLTA S.p.A.

Contenitore a terra



Contenitore con induttanza



Apparati comunicanti

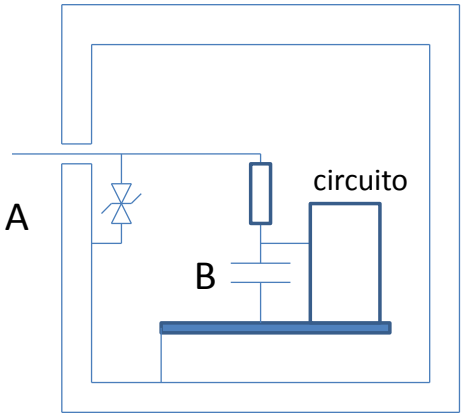
- Il problema del contenitore metallico non ben collegato a terra si evidenzia nel collegamento con altri apparati.
- Se la circuiteria interna è collegata al contenitore, il suo potenziale sale insieme a quello del contenitore e trasferisce un impulso di tensione agli apparati collegati. Si testa l'apparato A e si sollecita invece l'apparato B in modalità condotta di modo comune.
- Qualcosa di analogo può accadere anche in forma irradiata perché il campo generato dalla pistola è intenso anche a distanza (1kV/m a 1m dalla pistola, 1kA/m a 10cm)
- Il problema condotto è simile a quello della iniezione dello stimolo sui pin dei connettori, test non sempre richiesto perché obbliga alla aggiunta di protezioni ulteriori.
- Se la circuiteria è flottante, si crea un differenza di potenziale con il contenitore che può causare una scarica secondaria molto pericolosa.

VOLTA S.p.A.

Apparati comunicanti

- Per proteggere l'apparato collegato occorre interporre una impedenza serie o deviare l'impulso di corrente con un componente parallelo.
- In funzione della gravità dello stimolo si può usare un filtro (lineare) o uno scaricatore (non lineare).
- Il filtro sarà una impedenza serie (choke di modo comune o ferrite) od una capacità in parallelo, badando al controllo degli effetti parassiti fino ad almeno 500MHz.
- Il soppressore sarà un TVS, molto veloce per via del fronte di salita rapido dell'impulso. L'impedenza serie consentirà un migliore funzionamento del TVS, come un filtro a due componenti tipo LC.

Apparati comunicanti



Iniezione su pin

- La figura precedente mostra il soppressore (modo comune) all'ingresso nel punto A e la protezione ultima (modo differenziale) tipo RC o LC o ferrite-C sui terminali del componente critico nel punto B: si tratta della massima forma di protezione circuitale.
- In funzione della sensibilità del circuito potenziale vittima dell'ESD, il progettista adotterà entrambe le protezioni o soltanto la prima o soltanto la seconda: d'altronde, gli aspetti economici devono per forza entrare in gioco nella decisione sul tipo di protezione da adottare.

VOLTA S.p.A.

VOLTA® S.p.A.

65 YEARS 1952 – 2017

Competenza ed entusiasmo per soluzioni tecniche

Grazie per l'attenzione che mi avete dedicato !

Marco Dealessi