



Simulazioni numeriche relative ad elettrobisturi

*Elaborato nell'ambito del Progetto 2 del Programma Strategico 2008 "Sicurezza e
Tecnologie Sanitarie" (SITES) del Ministero della Salute*

Daniele Andreuccetti, Nicola Zoppetti

IFAC-CNR Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del Consiglio Nazionale delle Ricerche via Madonna
del Piano, 10 – 50019 Sesto Fiorentino (FI)

Obiettivi delle simulazioni

Obiettivi distinti in due macro-categorie

A. Acquisire informazioni utili per l'esecuzione delle successive campagne di misura

(in generale sulla significatività delle campagne su simulatore).

B. Approfondimento del funzionamento di SEMCAD

Obiettivi delle simulazioni (A)

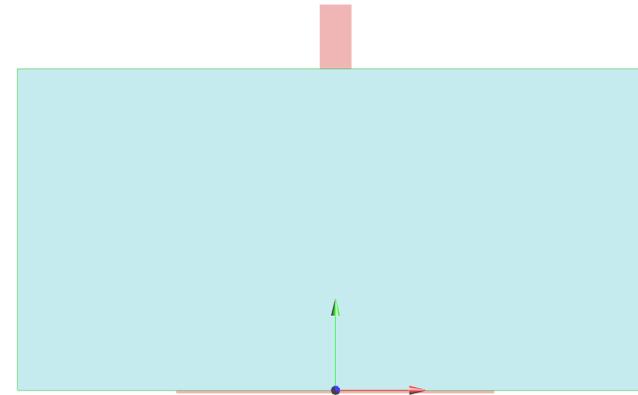
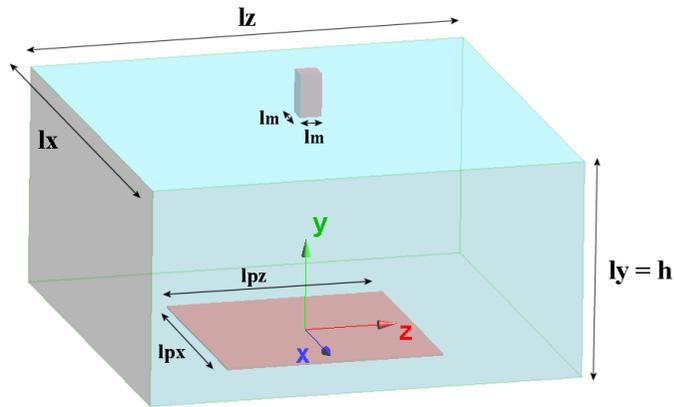
- Calcolo dell'impedenza rilevabile tra manipolo e piastra di ritorno al variare:
 - delle dimensioni della vasca
 - Della sezione del manipolo
 - delle caratteristiche elettriche del liquido
- Calcolo del campo magnetico esterno in funzione:
 - di come si modellano le correnti che circolano nel liquido
 - delle dimensioni della vasca
- Calcolo del campo elettrico esterno
 - delle caratteristiche elettriche del liquido
 - delle dimensioni della vasca

Obiettivi delle simulazioni (B)

- Calcoli riferiti a casi di cui si conosce la soluzione analitica (condensatore a facce piane e parallele)
- Ripetizione dei calcoli:
 - Utilizzando i diversi metodi disponibili in SEMCAD per le basse frequenze
 - Variando la risoluzione
 - Variando le dimensioni del dominio di calcolo

(risultati presentati solo indirettamente in questa sede, cioè solo laddove siano risultati significativi per fornire elementi utili per la pianificazione della campagna di misura)

Modello semplificato



- Piastra di ritorno “appoggiata sotto” al liquido.
- Manipolo modellato come un parallelepipedo a base quadrata.
- Si fissa il potenziale del manipolo (100V) e si pone la piastra al potenziale di terra.

Simulazioni effettuate

Sono stati distinti due possibili regimi di funzionamento dell'elettrobisturi:

- Manipolo a contatto con il liquido
- Manipolo NON a contatto con il liquido

Nel caso di manipolo NON a contatto si è sempre trascurato il fenomeno di innesco dell'arco.

- Caso 'a contatto':
 - Valutazione impedenza
 - Valutazione campo magnetico esterno (in funzione di come si modellano le correnti di conduzione che scorrono nel liquido)
- Caso 'NON a contatto':
 - Valutazione impedenza
 - Valutazione campo elettrico esterno (in funzione di come si modella il liquido)

Valutazione impedenza (a contatto)

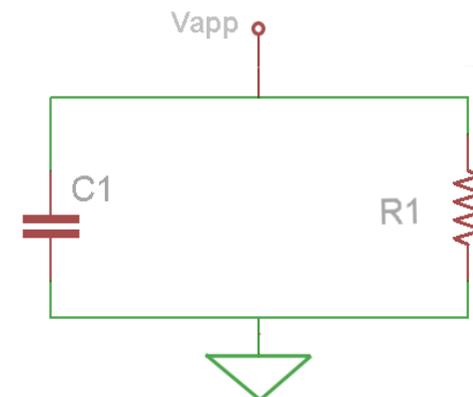
Nel caso **a contatto** è sufficiente studiare cosa succede nel solo liquido, infatti, il fatto di avere delle ϵ_r nell'ordine di 10^3 ed un manipolo piccolo rispetto alla sezione del liquido, fa sì che si possano trascurare gli accoppiamenti capacitivi in aria tra manipolo e piastra.

- Il prodotto $R1 \cdot C1$ tende (al migliorare del modello) al rapporto $\epsilon_0 \epsilon_r / \sigma$ del mezzo. Diminuendo la sezione del manipolo (considerate 1cm^2 e 1mm^2) aumenta la resistenza ma diminuisce corrispondentemente la capacità.
- $R1$ e $C1$ non variano aumentando le dimensioni laterali della vasca (ciò è vero se considero vasche con base appena più estesa della piastra di ritorno) e dipendono poco anche dallo 'spessore' del liquido. L'impedenza dipende quindi principalmente dalla forma del manipolo (superficie di contatto).

Per quanto riguarda il funzionamento di SEMCAD:

- è possibile utilizzare un metodo numerico che tiene conto delle sole correnti di conduzione (EQSJ)
- è necessario rappresentare la superficie di contatto tra manipolo e liquido con almeno 10×10 celle per ottenere risultati soddisfacenti

Modello circuitale a contatto



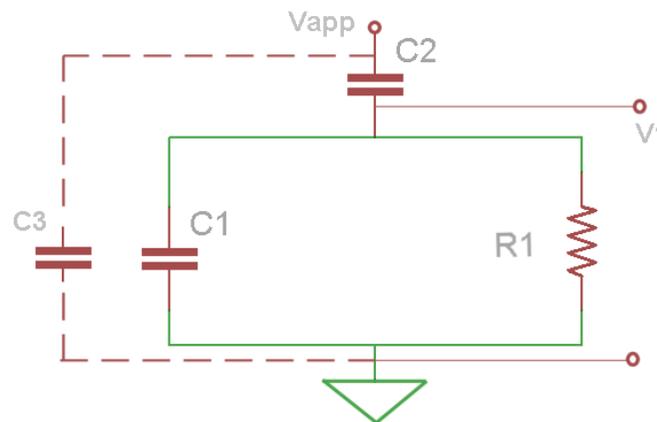
Valutazione impedenza (non a contatto, gap=1mm)

Nel caso **non a contatto** con valori realistici per ϵ_r e σ nel mezzo e quindi di R1 e C1, la tensione applicata cade praticamente tutta ai capi di C2 (del gap in aria).

L'impedenza 'vista' dall'elettrobisturi non dipende di fatto dalle caratteristiche del mezzo.

In generale, la presenza della capacità in aria (gap) fa sì che, non si possano trascurare gli accoppiamenti capacitivi in aria tra manipolo e piastra (e tra manipolo e tutti gli altri oggetti presenti).

Modello circuitale NON a contatto

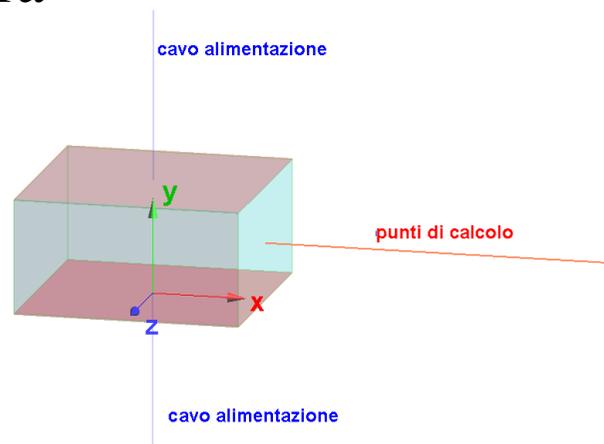


Valutazione campo magnetico (a contatto)

- Si considera la sola corrente di conduzione (tangente di perdita dei tessuti biologici nell'ordine di 10^2 (da verificare)).
- Si calcola la densità di corrente J nel liquido e determino il contributo all'induzione magnetica ad essa associato come:

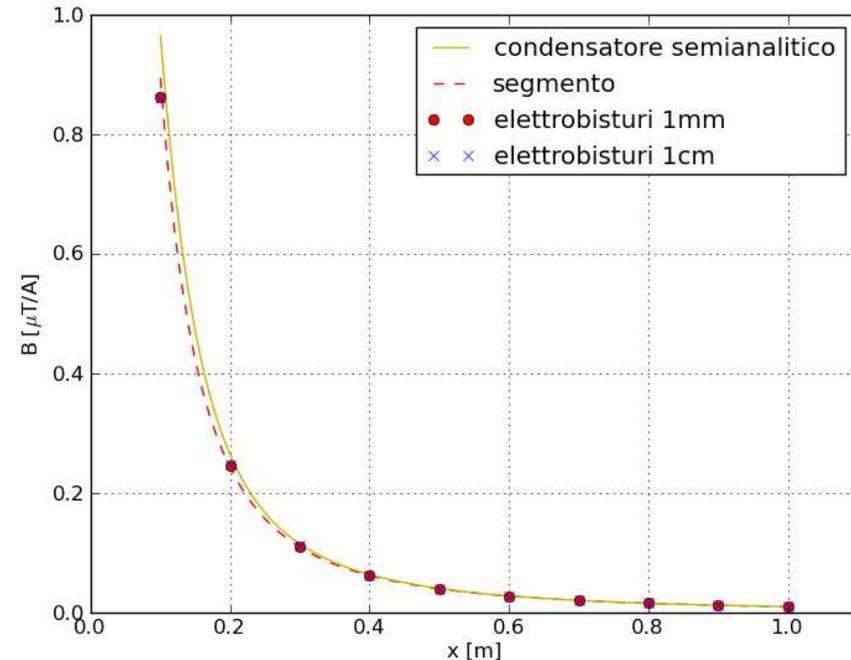
$$\frac{\mu_0}{4\pi} \iiint \frac{J \times (r - r')}{|r - r'|^{3/2}} d^3 r'$$

- Si confronta tale contributo con quello generato da due spezzoni di cavo verticali di lunghezza 1 m ortogonali alla superficie del manipolo ed alla piastra



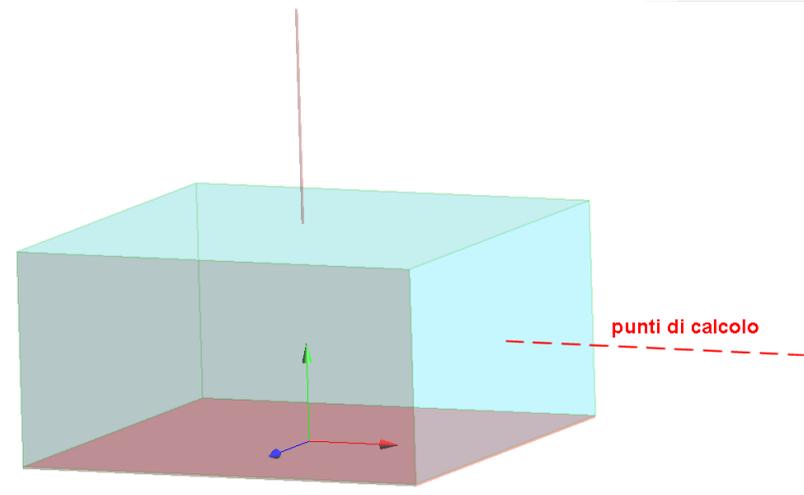
Valutazione campo magnetico (a contatto)

- In generale si ha che è **possibile trascurare come le correnti si richiudono all'interno del liquido sostituendole con un segmento conduttore che cortocircuita i due elettrodi nei rispettivi punti centrali.**
- Il contributo di tale segmento tende a sottostimare quello delle correnti distribuite, specialmente in prossimità dei margini del mezzo dispersivo tali differenze (che negli specifici casi analizzati erano dell'ordine del 10% del campo totale) tendono ad annullarsi allontanandosi dal mezzo.
- Il contributo dei cavi tende a dominare allontanandosi dalle sorgenti. Con cavi di alimentazione più corti il contributo delle correnti che scorrono nel mezzo dispersivo diventa non trascurabile anche a distanza



Valutazione campo elettrico (NON a contatto)

- Si considerano i seguenti casi:
 - Caso 01: il liquido ha le caratteristiche del vuoto ($\epsilon_r=1$, $\sigma=0$, ES)
 - Caso 02: il liquido è un conduttore perfetto ($\epsilon_r=1$, $\sigma=\infty$, ES)
 - Caso 03: il liquido è un dielettrico con $\epsilon_r=1000$, $\sigma = 100 \omega \epsilon_0 \epsilon_r$ (EQS)
 - Caso 04: il liquido è un dielettrico con $\epsilon_r=1000$, $\sigma = \omega \epsilon_0 \epsilon_r$ (EQS)
 - Caso 05: il liquido è un dielettrico con $\epsilon_r=1000$, $\sigma = 0.01 \omega \epsilon_0 \epsilon_r$ (EQS)
- Si determina la caduta di potenziale nel liquido ed il campo elettrico esterno considerando un manipolo con sezione pari ad 1mm^2 e lunghezza pari a 10 cm.
- Non si considerano i cavi di alimentazione



Valutazione campo elettrico (NON a contatto, gap=1mm)

- Nei casi 2-5 la caduta di tensione nel liquido è comunque trascurabile rispetto a quella che caratterizza il gap in aria.
- Dal punto di vista del campo elettrico esterno i risultati nei casi 2-5 sono sovrapponibili. Ne consegue che è possibile ricondursi al caso 2 e cioè considerare il liquido come un conduttore perfetto.
- Le dimensioni della vasca influiscono sul campo elettrico esterno nello stesso modo con cui il campo stesso risente della presenza di un generico oggetto conduttore nel teatro espositivo.

Note e spunti per il dibattito

Alcune indicazioni utili ai fini dell'esecuzione delle campagne di misura e delle successive valutazioni:

- Studio (PRE-MISURE) approfondito della documentazione tecnica disponibile riguardante la specifica sorgente
- Caratterizzare l'elettrobisturi in termini di V ed I ('difficili' da misurare).
- Le forme d'onda sono rilevanti al secondo ordine: con sinusoidi o tronchi di sinusoidi conta il massimo.
- Valutazioni sulla dipendenza funzionamento del generatore dal fantoccio / paziente:
 - Sul caso del paziente non possiamo dire nulla
 - Si potrebbero usare fantocci diversi durante le misure (liquidi diversi e/o bistecca) e valutare quanto ciò incida su (V, I), B, E misurati.
- Strutturare le valutazioni post misure in modo da evidenziare quanto ci si possa basare sui soli dati documentali e quanto l'integrazione della conoscenza ottenuta con i dati misurati sia utile ai fini della valutazione delle grandezze rilevanti ai fini protezionistici.

*Approfondimenti da effettuare
come emerso nel dibattito del 22-12-2011*

- Giustificazione approccio quasi statico.
- Variare le dimensioni della piastra di ritorno.
- Valutazione campo elettrico esterno:
 - con manipolo a contatto;
 - con manipolo NON a contatto al variare dell'ampiezza del gap;