



Simulazioni numeriche relative ad elettrobisturi (approfondimenti)

*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)

Valutazione impedenza (a contatto)

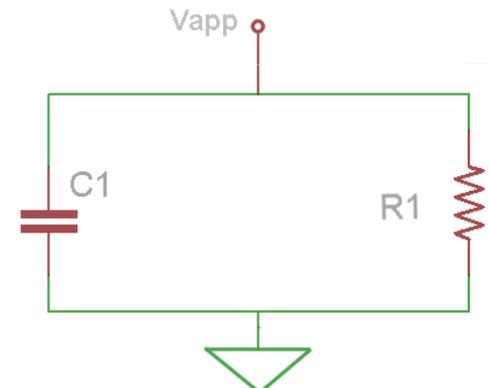
Nel caso **a contatto** è sufficiente studiare cosa succede nel solo liquido, infatti, il fatto di avere delle ϵ_r nell'ordine di 10^3 ed un manipolo piccolo rispetto alla sezione del liquido, fa sì che si possano trascurare gli accoppiamenti capacitivi in aria tra manipolo e piastra.

- 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 e da cosa accade nel volume compreso tra i due elettrodi.

Modello circuitale a contatto

Per quanto riguarda il funzionamento di SEMCAD:

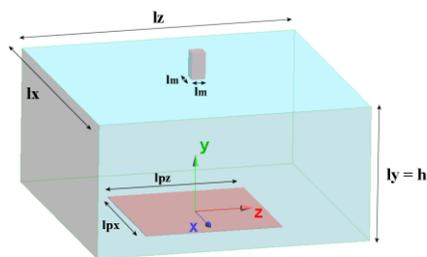
- è possibile utilizzare un metodo numerico che tiene conto delle sole correnti di conduzione (EQSJ)
- è necessario rappresentare la superficie di contatto tra manipolo e liquido con almeno 10×10 celle per ottenere risultati soddisfacenti



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.

Corrente iniettata, resistenza e capacità al variare della risoluzione con sezione
 elettrodo di **1mm²**

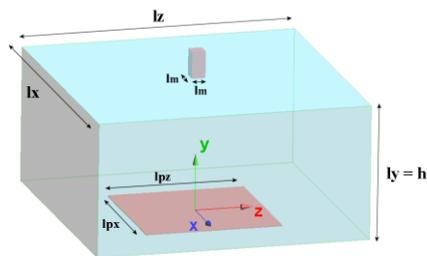
Liquido: (lx x h x lz) (200x100x200) mm
 Piastra: (lpx x sp x lpz) (100x1x100) mm
 Manipolo: (lm x hm x lm) (1x20x1) mm



Max Step [mm]	Min StepX [mm]	Min StepY [mm]	Min StepZ [mm]	lm / MinStep	I [A]	R [ohm]	C [F]	RC	ϵ/σ
100	2.00	5.00	2.00	0.50	0.23	439	2.09E-10	9.17E-08	8.98E-08
80	1.60	4.00	1.60	0.63	0.20	512	1.79E-10	9.17E-08	
50	1.00	2.50	1.00	1.00	0.162	616	1.49E-10	9.17E-08	
40	0.80	2.00	0.80	1.25	0.15	667	1.38E-10	9.17E-08	
30	0.60	1.50	0.60	1.67	0.137	731	1.25E-10	9.17E-08	
20	0.40	1.00	0.40	2.50	0.124	810	1.13E-10	9.17E-08	
10	0.20	0.50	0.20	5.00	0.111	898	1.01E-10	9.09E-08	
8	0.16	0.40	0.16	6.25	0.108	922	9.89E-11	9.12E-08	
5	0.10	0.25	0.10	10.00	0.105	955	9.51E-11	9.08E-08	
4	0.08	0.20	0.08	12.50	0.104	965	9.39E-11	9.05E-08	
3	0.06	0.15	0.06	16.67	0.102	976	9.26E-11	9.04E-08	

Corrente iniettata, resistenza e capacità al variare della risoluzione con sezione
 manipolo di **1cm²**

Liquido: (lx x h x lz) (200x100x200) mm
 Piastra: (lpx x sp x lpz) (100x1x100) mm
 Manipolo: (lm x hm x lm) (10x20x10) mm

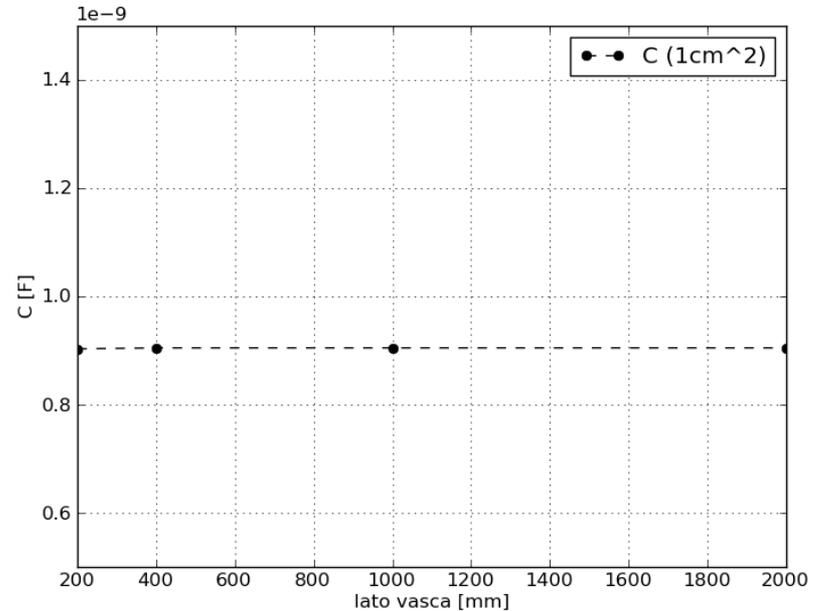
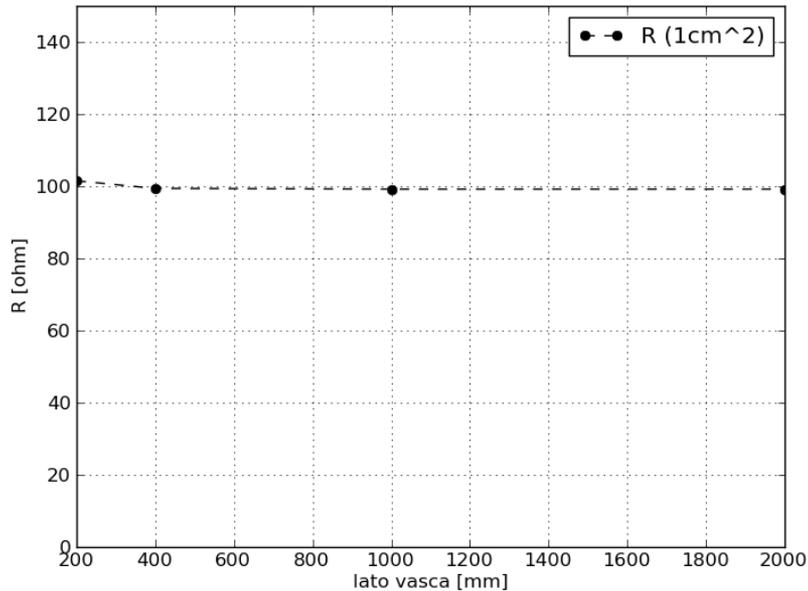
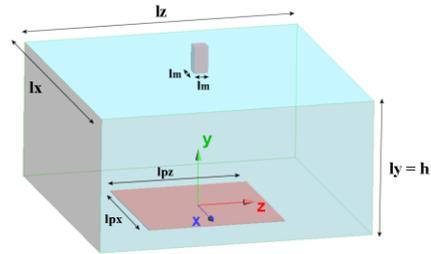


Max Step [mm]	Min StepX [mm]	Min StepY [mm]	Min StepZ [mm]	lm / MinStep	I [A]	R [ohm]	C [F]	RC	ϵ/σ
100	2	5	2	5.00	1.09	91.8	9.99E-10	9.17E-08	8.98E-08
80	1.6	4	1.6	6.25	1.061	94.3	9.72E-10	9.17E-08	
50	1	2.5	1	10.00	1.023	97.7	9.38E-10	9.17E-08	
40	0.8	2	0.8	12.50	1.011	98.9	9.27E-10	9.17E-08	
30	0.6	1.5	0.6	16.67	0.998	100.2	9.16E-10	9.17E-08	
20	0.4	1	0.4	25.00	0.985	101.5	9.03E-10	9.17E-08	
10	0.2	0.5	0.2	50.00	0.979	102.1	8.90E-10	9.09E-08	
8	0.16	0.4	0.16	62.50	0.973	102.7	8.87E-10	9.11E-08	
5	0.1	0.25	0.1	100.00	0.973	102.8	8.83E-10	9.08E-08	

R1 e C1 non variano aumentando le dimensioni laterali della vasca

resistenza e capacità al variare delle dimensioni laterali della vasca con sezione manipolo di 1cm²

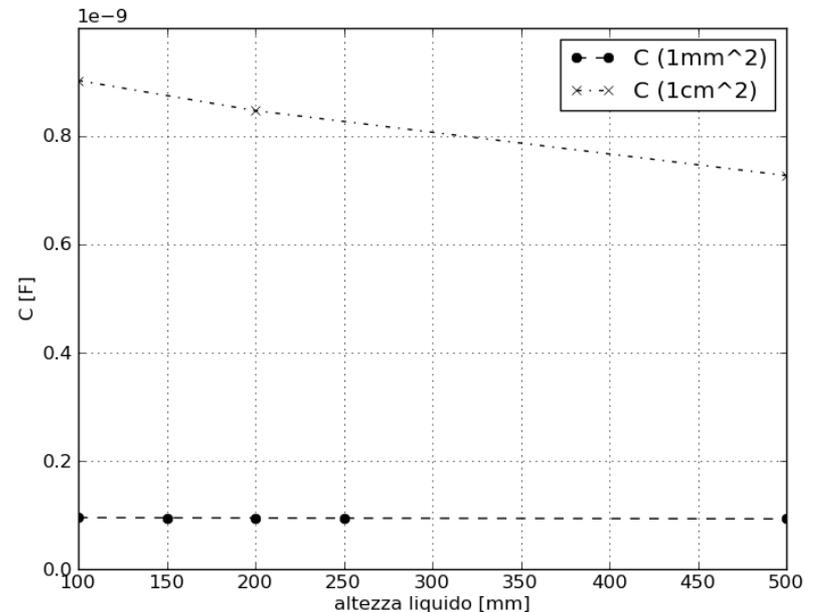
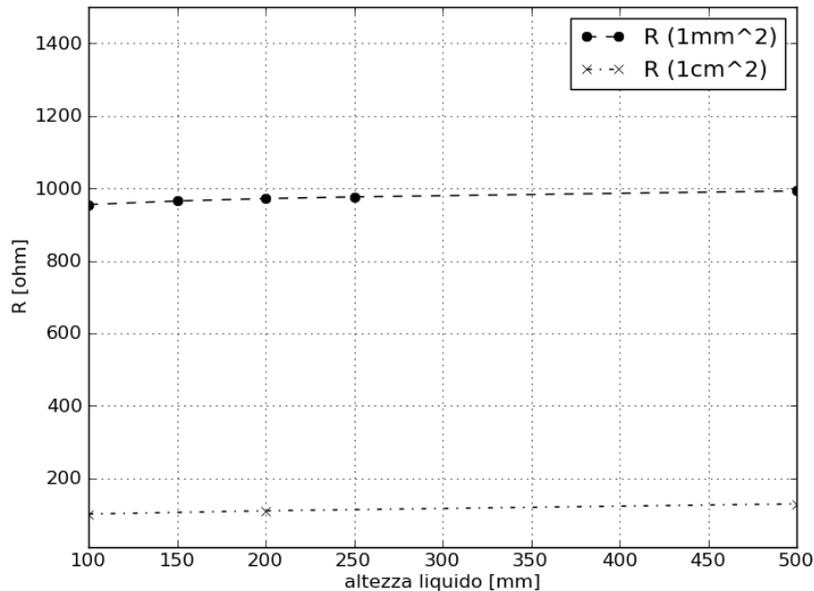
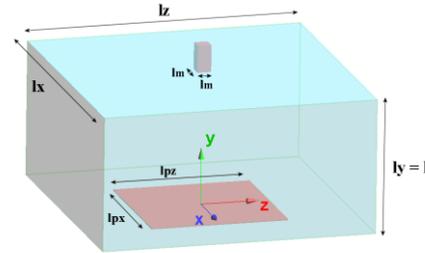
Liquido: (lx x h x lz) (**varia**x100x**varia**) mm
Piastra: (lpx x sp x lpz) (100x1x100) mm
Manipolo: (lm x hm x lm) (10x20x10) mm



R1 e C1 variano poco aumentando lo 'spessore' del liquido

resistenza e capacità al variare della profondità del liquido con sezione manipolo di 1cm² e 1mm²

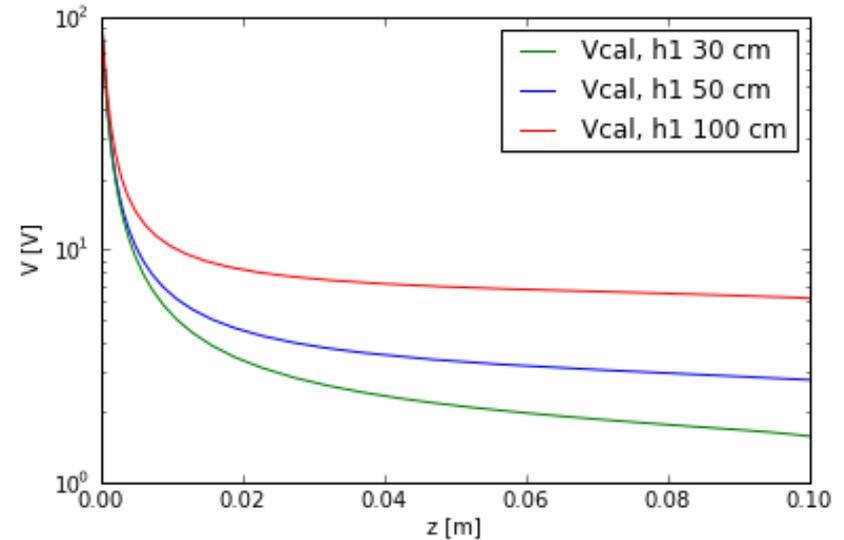
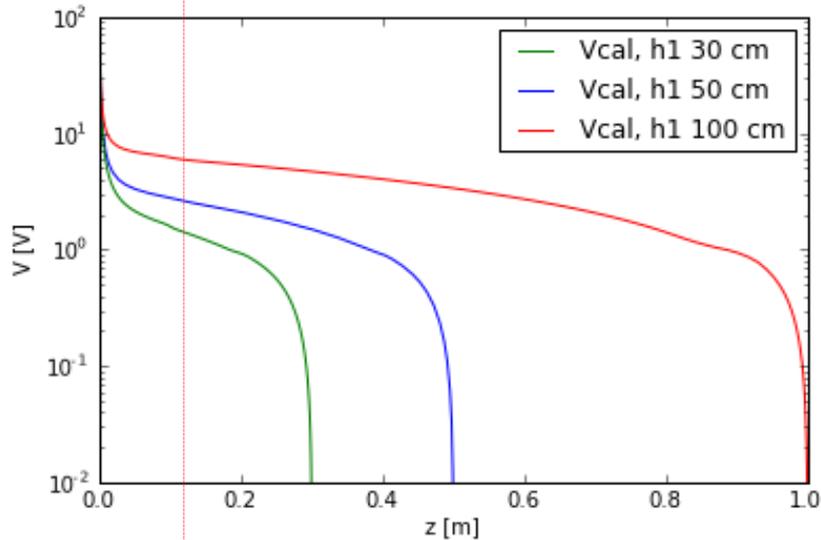
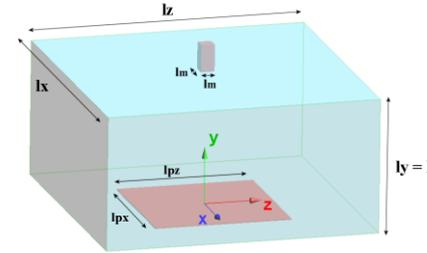
Liquido: (lx x h x lz) (200x**varia**x200) mm
Piastra: (lpx x sp x lpz) (100x1x100) mm
Manipolo: (lm x hm x lm) (**varia**x20x**varia**) mm



R1 varia poco aumentando lo 'spessore' del liquido

Andamento del potenziale elettrostatico lungo la linea che unisce i punti centrali degli elettrodi, al variare della profondità del liquido con sezione manipolo di 1mm²

Liquido: (lx x h x lz) (200x**varia**x200) mm
Piastra: (lpx x sp x lpz) (100x1x100) mm
Manipolo: (lm x hm x lm) (1x20x1) mm

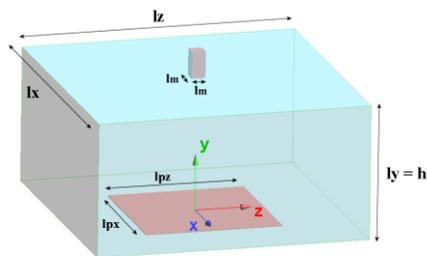


Per tutte le profondità considerate, più del 90% della ddp applicata cade entro i primi 2 cm di distanza dall'elettrodo positivo.

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 dipende poco anche dallo 'spessore' del liquido. L'impedenza dipende quindi principalmente dalla forma del manipolo e da cosa accade nel volume compreso tra i due elettrodi

Corrente iniettata, resistenza e capacità al variare della risoluzione con sezione manipolo di 1cm²

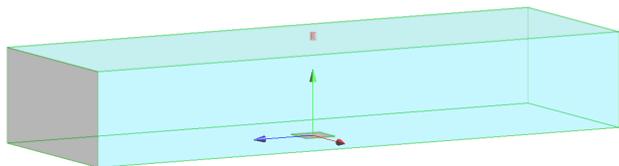
Liquido: (lx x h x lz) (200x100x200) mm
 Piastra: (lpx x sp x lpz) (100x1x100) mm
 Manipolo: (lm x hm x lm) (10x20x10) mm



Max Step [mm]	Min StepX [mm]	Min StepY [mm]	Min StepZ [mm]	lm / MinStep	I [A]	R [ohm]	C [F]	RC	ϵ/σ
100	2	5	2	5.00	1.09	91.8	9.99E-10	9.17E-08	8.98E-08
80	1.6	4	1.6	6.25	1.061	94.3	9.72E-10	9.17E-08	
50	1	2.5	1	10.00	1.023	97.7	9.38E-10	9.17E-08	
40	0.8	2	0.8	12.50	1.011	98.9	9.27E-10	9.17E-08	
30	0.6	1.5	0.6	16.67	0.998	100.2	9.16E-10	9.17E-08	
20	0.4	1	0.4	25.00	0.985	101.5	9.03E-10	9.17E-08	
10	0.2	0.5	0.2	50.00	0.979	102.1	8.90E-10	9.09E-08	
8	0.16	0.4	0.16	62.50	0.973	102.7	8.87E-10	9.11E-08	
5	0.1	0.25	0.1	100.00	0.973	102.8	8.83E-10	9.08E-08	

Corrente iniettata, resistenza e capacità al variare della risoluzione con sezione elettrodo di 1cm²

Liquido: (lx x h x lz) (610x310x1860) mm
 Piastra: (lpx x sp x lpz) (100x1x100) mm
 Manipolo: (lm x hm x lm) (10x20x10) mm

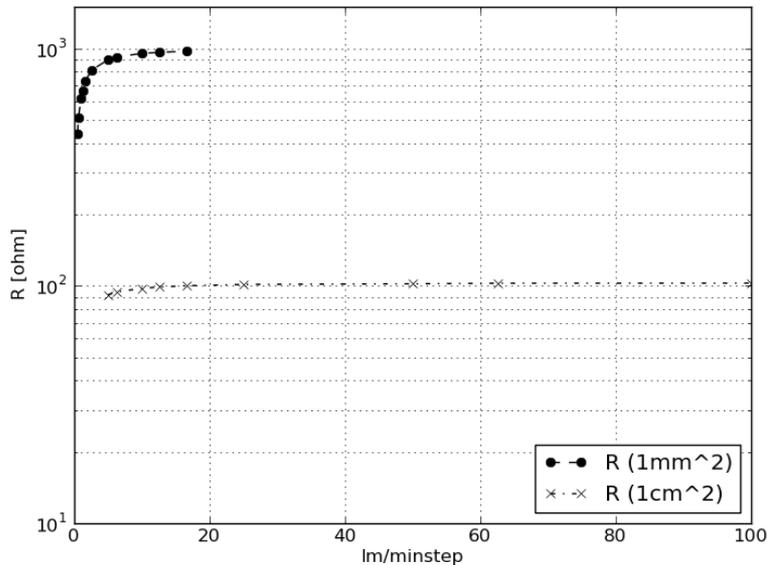


Max Step [mm]	Min StepX [mm]	Min StepY [mm]	Min StepZ [mm]	lm / MinStep	I [A]	R [ohm]	C [F]	RC	ϵ/σ
50	1	2.5	1	10.00	0.975	102.6	8.8647E-10	9.10E-08	8.98E-08
40	1	2.5	1	10.00	0.976	102.4	8.8647E-10	9.08E-08	
30	1	2.5	1	10.00	0.979	102.1	8.8646E-10	9.05E-08	
20	1	2.5	1	10.00	0.981	101.9	8.8618E-10	9.03E-08	
10	1	2.5	1	10.00	0.984	101.6	8.8624E-10	9.00E-08	

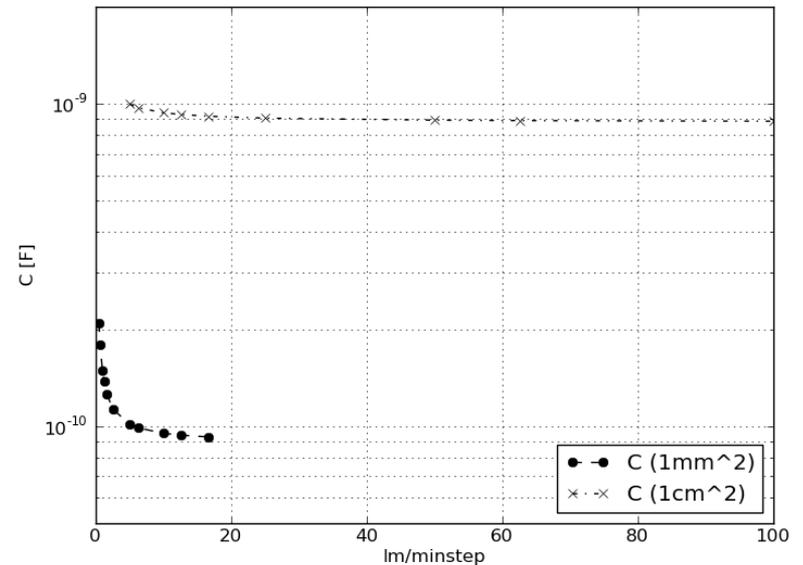
è necessario rappresentare la superficie di contatto tra manipolo e liquido con almeno 10x10 celle per ottenere risultati soddisfacenti

Vedi anche tabelle precedenti

andamento della resistenza in funzione del numero di celle con cui si rappresenta il lato della sezione dell'elettrodo con sezioni elettrodo di 1 mm² e 1 cm²



andamento della capacità in funzione del numero di celle con cui si rappresenta il lato della sezione dell'elettrodo con sezioni elettrodo di 1 mm² e 1 cm²



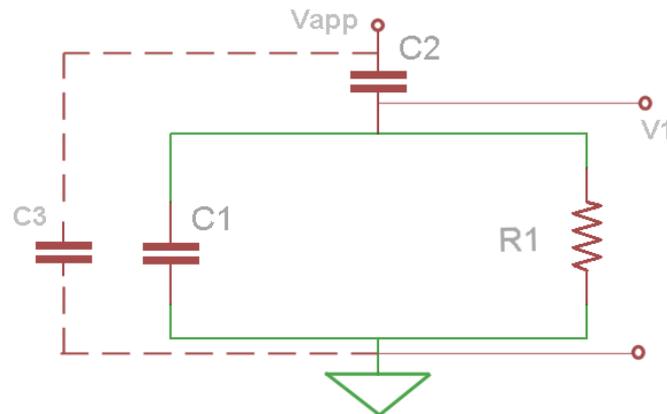
Valutazione impedenza (non a contatto, gap=1mm)

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).

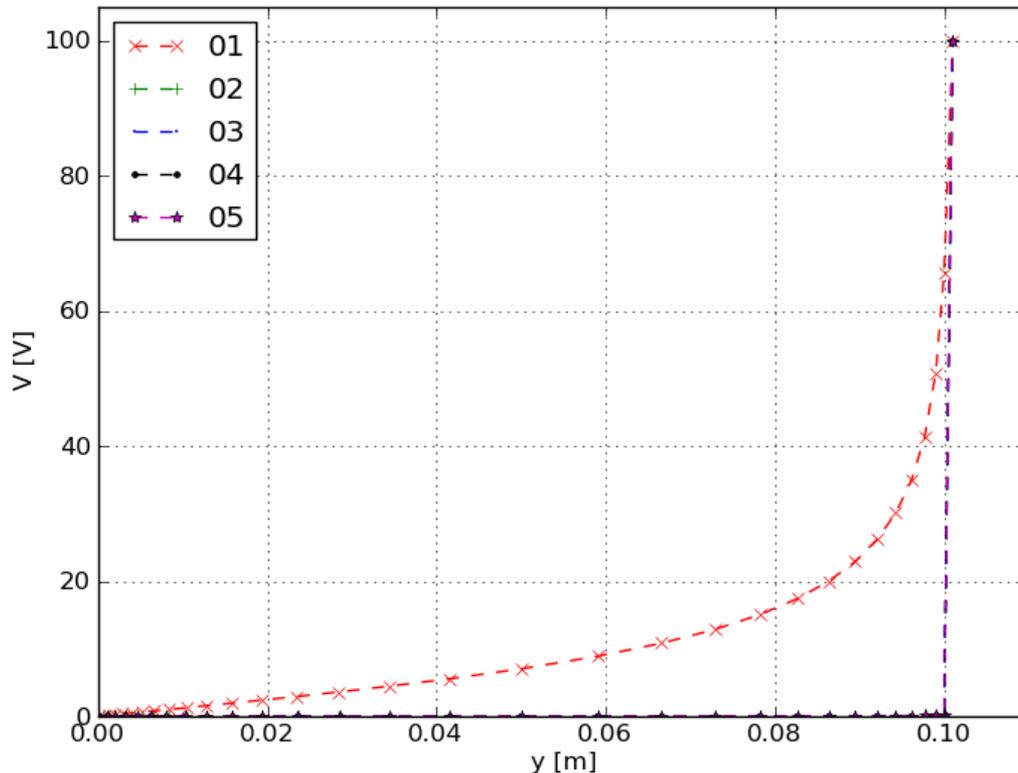
L'impedenza 'vista' dall'elettrobisturi non dipende di fatto dalle caratteristiche del mezzo.

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



con valori realistici per ϵ_r e σ nel mezzo e quindi di R1 e C1, la ddp applicata cade praticamente tutta ai capi di C2 (del gap in aria).



Caduta di potenziale nel liquido

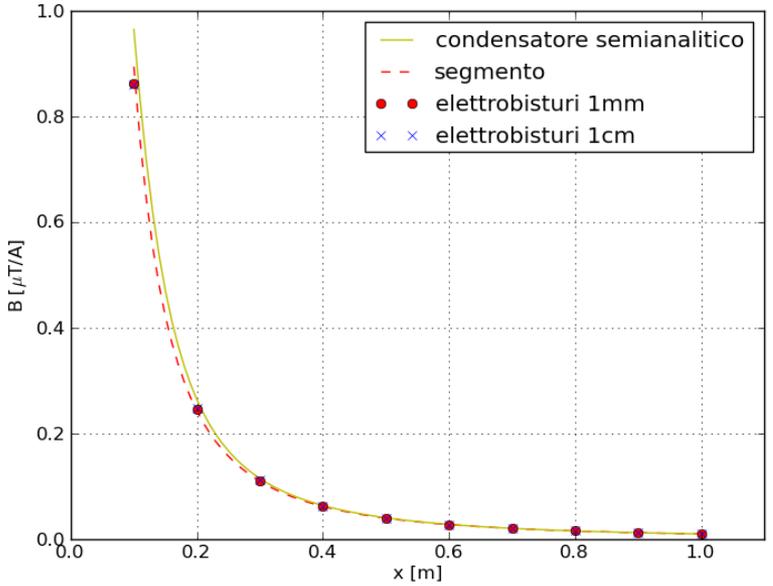
- Caso 01: il liquido ha le caratteristiche del vuoto ($\epsilon_r=1$, $\sigma=0$, ES)
- Caso 02: il liquido è un conduttore perfetto ($\epsilon_r=1$, $\sigma=\infty$, ES)
- Caso 03: il liquido è un dielettrico con $\epsilon_r=1000$, $\sigma = 100 \omega \epsilon_0 \epsilon_r$ (EQS)
- Caso 04: il liquido 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)

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 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

è possibile trascurare come le correnti si richiudono all'interno del liquido sostituendole con un segmento conduttore che cortocircuita i due elettrodi

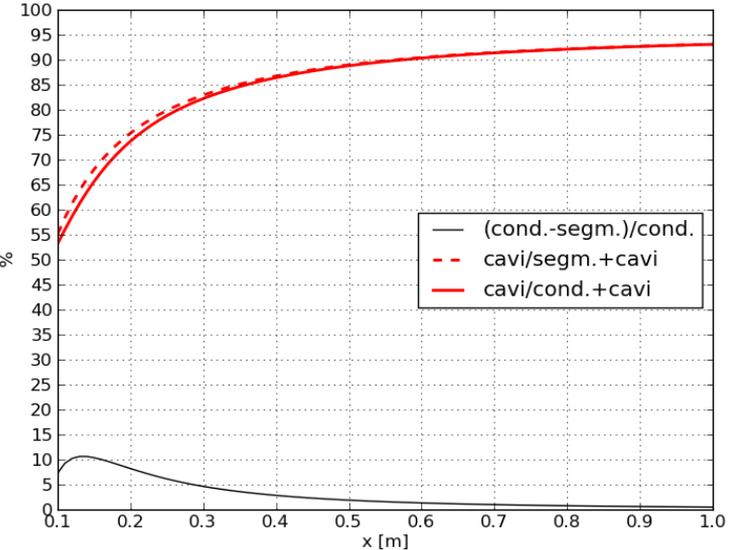
Modello elettrobisturi



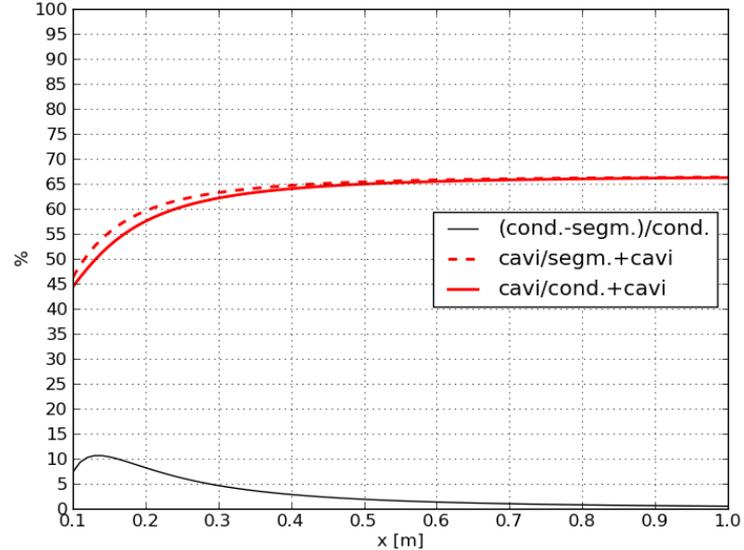
Il contributo di tale segmento tende a sottostimare quello delle correnti distribuite, specialmente in prossimità dei margini del mezzo dispersivo tali differenze tendono ad annullarsi allontanandosi dal mezzo.

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

Condensatore cavi 1 m

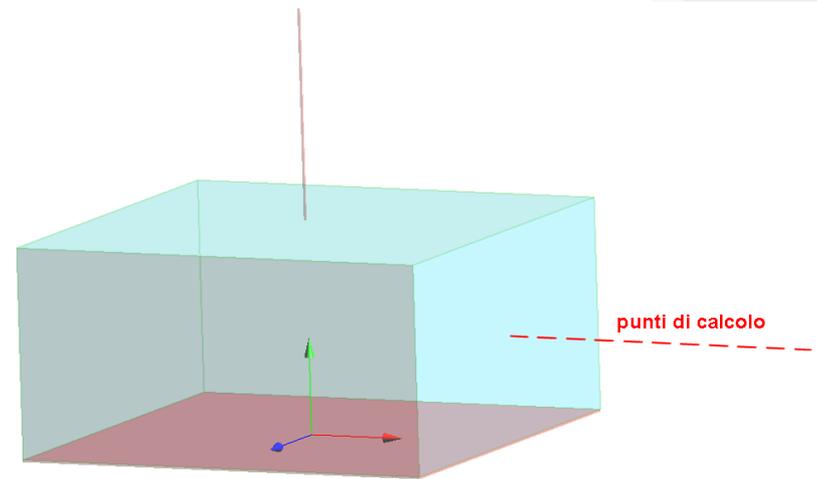


Condensatore cavi 10 cm



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



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.

