

# METODO FDTD

Finite difference in the time domain

$\Rightarrow$  soluzione numerica eq Maxwell con metodo iterativo

può analizzare un intera banda di frequenze

dalle eq di Maxwell, ignorando la dispersione

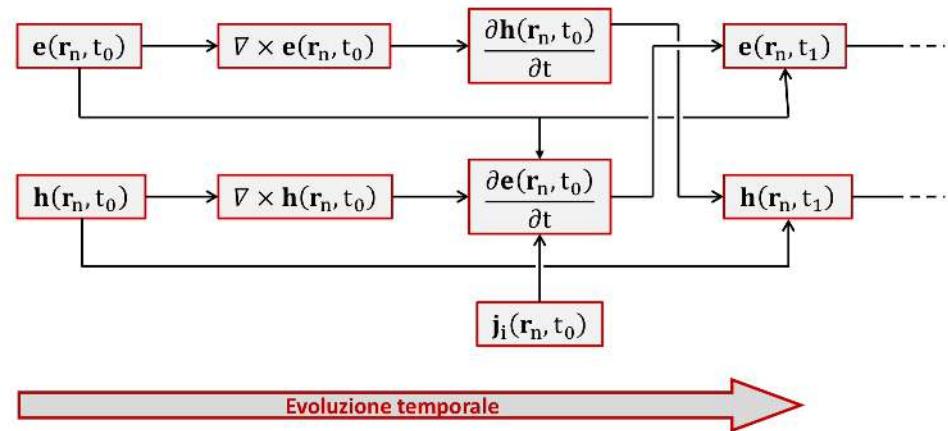
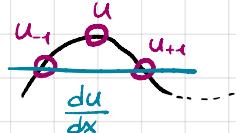
$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \bar{e} \\ \frac{\partial \bar{e}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} (\nabla \times \bar{h} - \sigma \bar{e} - \bar{j}_i) \end{cases}$$

il rotore è un op differenziale su coord spaziali

$\Rightarrow$  può essere approssimato similmente al rapporto incrementale

$$\frac{df}{dx} = \frac{f(x + \frac{\Delta x}{2}) - f(x - \frac{\Delta x}{2})}{\Delta x} \quad \text{differenza centrale}$$

passo di  
discretizzazione

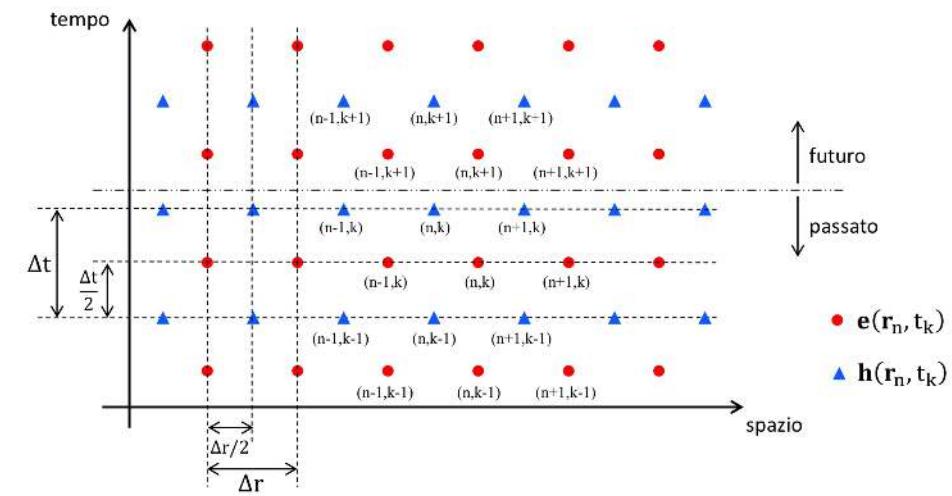


## • griglie di integrazione

Si definiscono dei cubetti spaziali denominati **celle di Yee**, sufficientemente piccole da assumere costante  $\epsilon, \mu, \sigma$ .

queste celle sono interallacciate, avendo uno spigolo di una cella al centro dell'altra.

$\Rightarrow$  campo elettrico viene calcolato sugli spigoli delle celle, quello magnetico è calcolato al centro delle sup sottoz della cella e sfalsato di un intervallo temporale di  $\frac{1}{2}\Delta t$



> **passo spaziale**: non uniforme (dipende da dettagli geometrici e proprietà EM del materiale).

$\Delta r$  è una frazione di  $\lambda$ , considerando opu in mezzo omogeneo con l'E maggiore e considerando la f più alta della banda

$$\Delta r = \frac{\lambda}{K}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1}{\mu \epsilon f}$$

$\mu = 1$  nei tessuti biologici

> **passo temporale**: vincolato da:

- stabilità numerica  $\rightarrow$  algoritmo stabile solo se passo temporale è minore del tempo necessario al campo EM per propagarsi al nodo più vicino  $\Delta t \leq \frac{\Delta r}{c}$

- banda simulata  $\rightarrow \Delta t$  sufficientemente piccolo da campionare correttamente il campo EM (teorema Shannon-Nyquist)

$$\Delta t \leq \frac{1}{2B} \quad \text{Banda}$$

- **condizioni iniziali e al contorno** necessarie per risolvere le eq di Maxwell

> **cond iniziali**

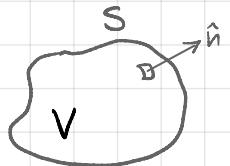
campo EM in tutto  $V$  all'istante  $t_0$  ( comunemente si sceglie campo nullo)

> **condizioni al contorno**

campo EM sulle sup S che racchiude V in ogni istante  $t \in [t_0, t_1]$

dipendono dalla fisica del problema di interesse

- se volume racchiuso da scatola di conduttore ideale  $\Rightarrow \hat{n} \times \vec{E} = 0 \quad \forall t$  (componente di  $\vec{E}$  tangente a S = 0  $\forall t$ )



- se si vuole simulare un campo EM su spazio libero (antenne) si impone su S il PML (perfectly matched layer)  $\Rightarrow$  lascia uscire campo EM dal volume sopprimendo ogni futura riflessione (trasmissione totale)

- **Criterio di Stop**

il calcolo si ferma quando l'energia nel volume è inferiore a una certa soglia (es -40dB)

- **Sorgenti**

dove essere nota  $\mathbf{H}$ . Spesso descritte da impulso gaussiano (minore durata  $\Rightarrow$  maggiore banda)

Agisce direttamente sui nodi della griglia

Può essere:

- **densità volumetrica di corrente in V (antenna)**
- **densità superficiale di corrente su S**

Simula volume illuminato da onda piana proveniente dall'esterno

## PROGRAMMA CST

- **Setup**

① Selezione sorgente

② Selezione metodo di risoluzione (FDTD)

③ Selezione unità di misura

④ Selezione banda di interesse

Selezione monitors' type frame:  $\bar{E}$ ,  $\bar{H}$ , farfield, powerflow, power loss

Scelgo monitors' specification frame: frequenze di cui ci interessano i dati

⑤ creo modello sorgente e definisco verso corrente

- **Calcolo del SAR**

Ricordiamo che  $SAR = \frac{P_{diss}}{\rho}$  ( $P_{diss} = \frac{1}{2} \rho |E|^2$ ,  $\rho$ : densità di massa)

Usando il "power loss" field monitor abbiamo le  $P_{diss}$  alle frequenze scelte

$\Rightarrow$  basta usare una macro in post processing per dare info sulla  $\rho$

e sceglie se calcolare SAR puntuale, SAR<sub>1g</sub>, SAR<sub>10g</sub>

a parità di antenna, frequenza e potenza attiva  $\Rightarrow SAR_{1g} > SAR_{10g}$   
perché stiamo mediando su campioni più piccoli

- **Calcolo bio-heat eq** (mostra innalzamento temperatura)

① Risolvo problema elettromagnetico

② applico macro thermal losses selezionando come dati il monitor della distribuzione di densità di potenza (power loss) (altrimenti la simulazione termica prende in considerazione solo il calore metabolico)

③ cambio problem type in thermal losses e importo i dati della macro

④ avvio "Thermal steady\* state solver" dando i parametri di temperatura dell'aria e temp. basale \* steady: durata infinita

transient: puoi selezionare una durata