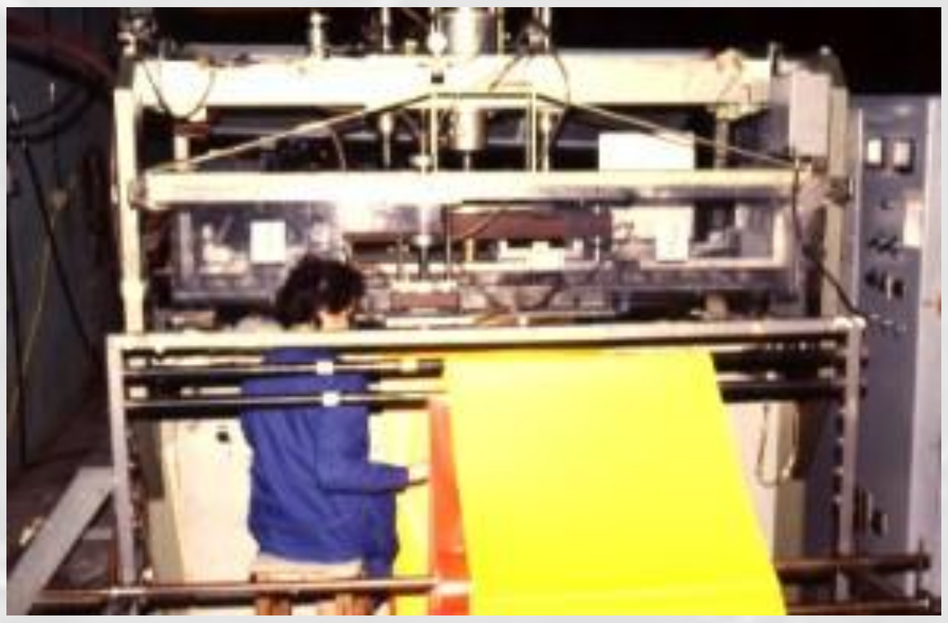
UN ALGORITMO PER L'ARTICOLAZIONE DI MODELLI DIGITALI DELL'ORGANISMO UMANO MIRATO ALL'UTILIZZO DI METODI ALLE DIFFERENZE FINITE PER LA DOSIMETRIA NUMERICA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Nicola Zoppetti, Daniele Andreuccetti
Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" (IFAC) CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

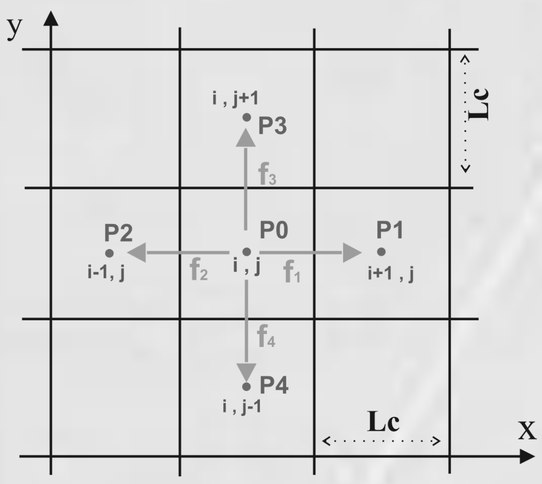
Il problema: Le tecniche di calcolo alle differenze finite sono diffusamente utilizzate per la soluzione numerica di problemi di dosimetria elettromagnetica in tre dimensioni in regime quasi-statico. Per questo tipo di analisi possono essere presi in considerazione vari modelli di organismo umano costituiti da **voxel cubici**. In genere però, questi rappresentano un soggetto in posizione eretta e **non possono essere direttamente utilizzati per analizzare posture differenti, come necessario ad esempio per molte esposizioni negli ambienti di lavoro** (nella foto l'addetta ad un apparato per la saldatura della plastica).
Nell'ambito della dosimetria numerica dei campi elettromagnetici è dunque importante poter articolare il modello dell'organismo esposto in diverse posture, accertandosi che sia rispettata la continuità dei tessuti. D'altra parte non è invece strettamente necessario ricostruire in modo iper-realistico il processo di articolazione, che risulterebbe molto oneroso in termini di indagini anatomiche e per di più adattato ad un particolare modello.

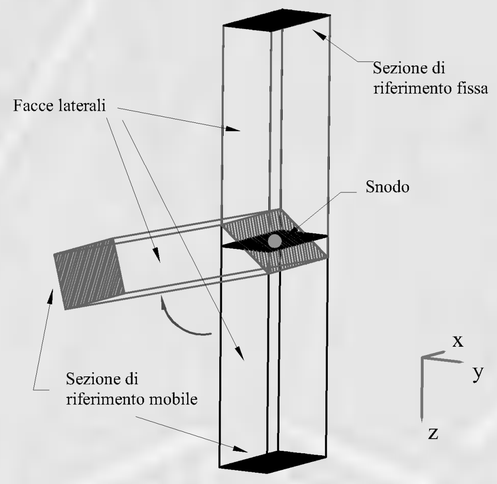


Caratteristiche dell'algoritmo di articolazione sviluppato

- è possibile tenere conto delle diverse caratteristiche dei tessuti ed in particolare distinguere almeno tra scheletro e parti molli;
- la continuità dei tessuti è rispettata, con particolare riferimento a quella dei vasi e dei tessuti del sistema nervoso;
- lo stesso algoritmo è applicabile ad articolazioni diverse;
- varianti dello stesso algoritmo possono essere applicate sia a porzioni di modello di organismo sia al modello intero;
- l'algoritmo si è dimostrato flessibile ed adattabile. In particolare sono state realizzate varianti che mirano all'ottimizzazione di aspetti quali velocità di calcolo e richiesta di risorse di memoria.

Ciascun elemento del modello dell'organismo è legato a quelli circostanti attraverso forze con intensità dipendente dalle mutue distanze tra gli elementi stessi, che risultano nulle nelle condizioni iniziali del modello. In pratica, si riconduce lo studio dell'articolazione a quello di una matrice tridimensionale di celle cubiche (dette "voxel"), in cui le forze di interazione hanno per direzione quella dei segmenti che uniscono i centri.





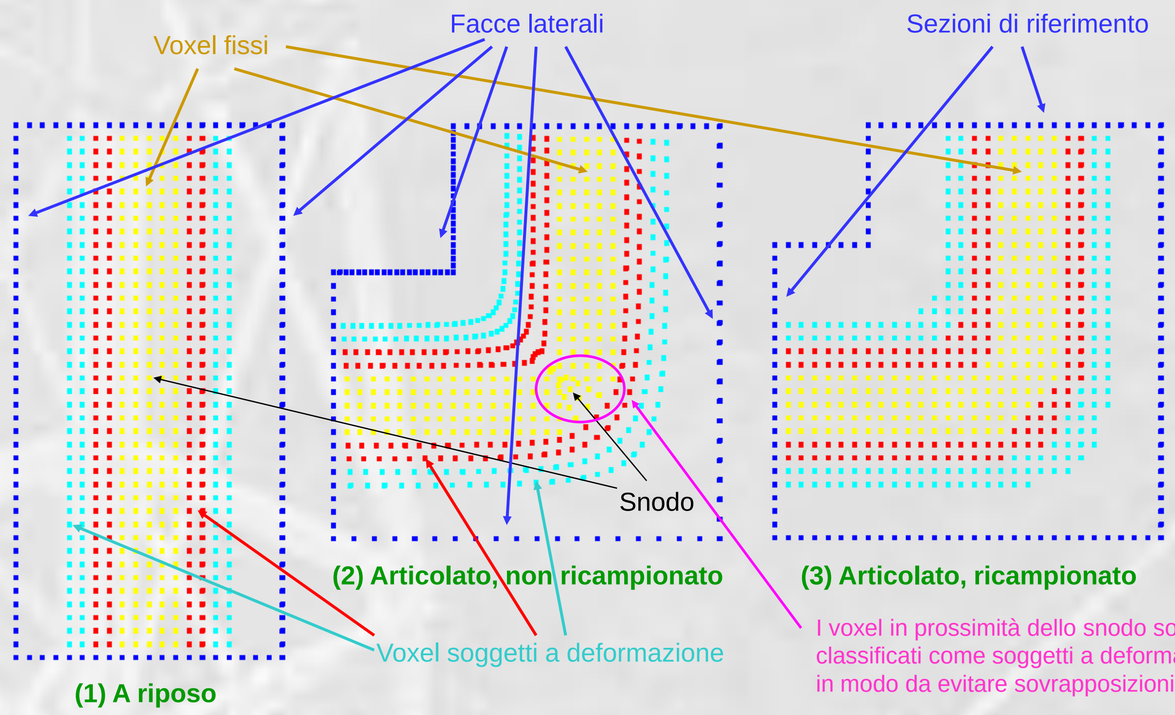
Per applicare l'algoritmo di articolazione è necessario classificare i voxel della porzione individuata secondo le seguenti categorie:

- **i voxel fissi**, cioè quelli la cui posizione non viene modificata durante il processo di articolazione;
- **i voxel vincolati**, cioè quelli la cui posizione viene determinata a priori;
- **i voxel soggetti a deformazione**, cioè quelli le cui coordinate sono calcolate risolvendo i sistemi di equazioni descritti in precedenza;
- **i voxel vuoti**, cioè quelli per cui non si ha interesse a determinare la posizione.

È necessario eseguire calcoli solo per determinare le coordinate dei voxel soggetti a deformazione, utilizzando come condizioni al contorno le coordinate degli elementi fissi e di quelli vincolati. I voxel vuoti non vengono invece presi in considerazione.

La figura a fianco si riferisce all'applicazione dell'algoritmo di articolazione ad una rappresentazione schematizzata del ginocchio. In particolare i voxel gialli rappresentano lo scheletro e le le sezioni di riferimento sono quelle presso le quali ci si raccorda alle altre porzioni del modello.

La densità delle celle del solido a riposo (1) è uniforme, sia sulle facce laterali sia all'interno. Per effetto del processo di articolazione, i voxel del modello articolato non ricampionato (2) sono caratterizzati invece da mutue distanze non uniformi.
D'altra parte, per poter risolvere problemi di dosimetria elettromagnetica utilizzando algoritmi di calcolo alle differenze finite, è vantaggioso utilizzare modelli di organismo composti da voxel cubici, tutti di uguali dimensioni. A tal fine è necessario riallineare il modello articolato alla struttura a voxel cubici del modello a riposo. A questa fase ci si riferisce con il nome di *ricampionamento*.
La prima fase del ricampionamento consiste nella scelta di un grigliato regolare di riferimento a cui riallinearsi. Si passa quindi all'approssimazione delle coordinate di ciascun voxel del modello articolato con quelle del punto del grigliato di riferimento più vicino. Infine si attribuisce il tessuto corretto ai voxel che non sono stati ancora considerati, ottenendo il modello articolato e ricampionato (3).

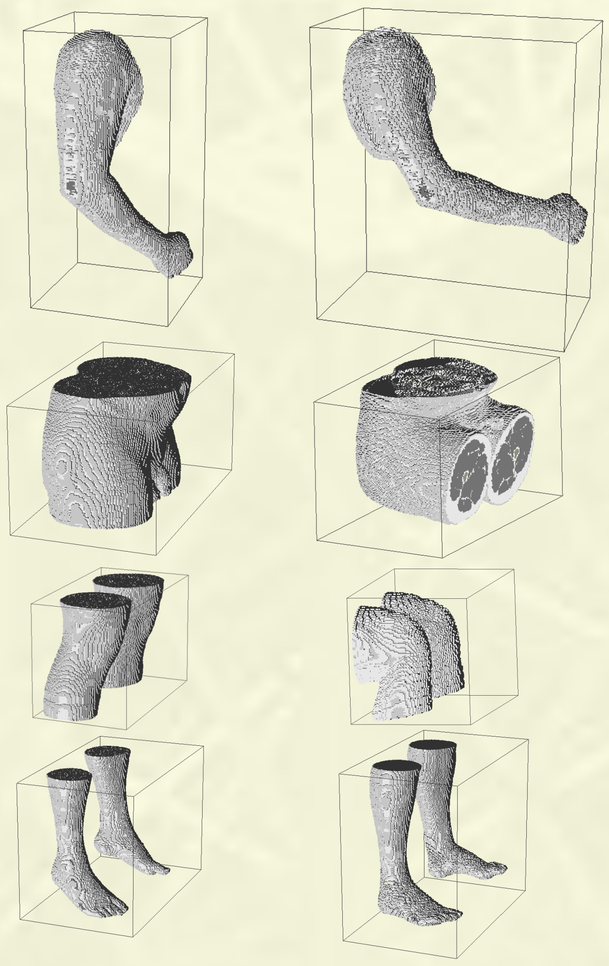
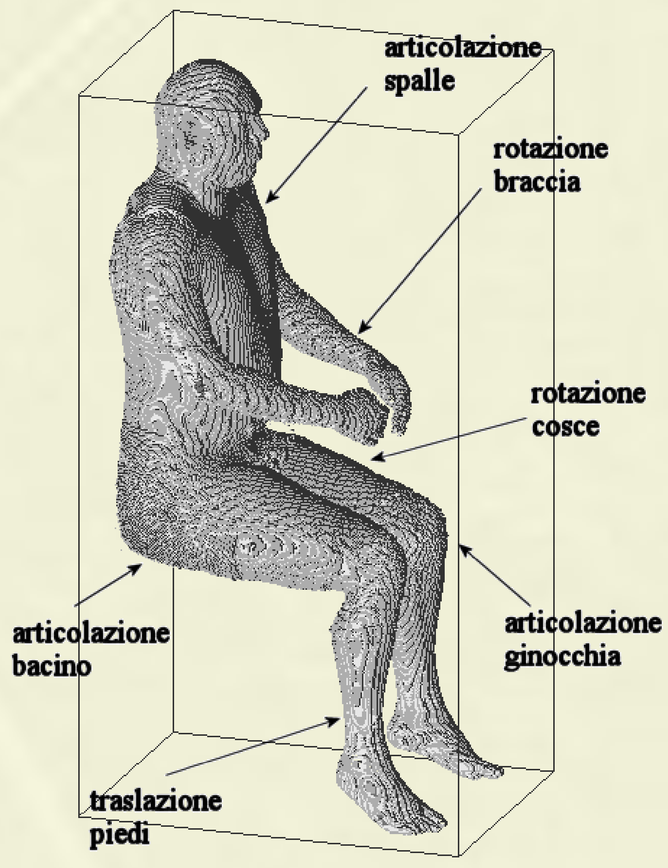


Esempio di applicazione dell'algoritmo di articolazione al modello di organismo realizzato nell'ambito del "Visible Human Project"

Suddivisione del modello di organismo in porzioni

Esempi di articolazione delle singole porzioni

Ricomposizione delle porzioni articolate e/o ruotate e/o traslate a formare il modello di organismo nella postura desiderata



Porzioni a riposo Porzioni articolate