

Tecniche di Visualizzazione Volumetrica di Carotaggi

Enrico Gobetti, Piero Pili, Riccardo Scateni
CRS4
Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori in Sardegna
Via Nazario Sauro 10, 09123 Cagliari

{Enrico.Gobetti|Piero.Pili|Riccardo.Scateni}@crs4.it

1 Introduzione

In questo documento intendiamo presentare le principali tecniche di visualizzazione volumetrica, analizzando i loro vantaggi e svantaggi nel contesto della rappresentazione di dati da risonanza magnetica di carotaggi di terreno. I due principali tipi di tecniche discussi sono l'estrazione di iso-superfici e la visualizzazione volumetrica diretta. Nel primo caso, la visualizzazione viene effettuata approssimando poligonalmente il luogo dei punti in cui il campo scalare definito sul volume prende un determinato valore, mentre nel secondo l'immagine viene prodotta direttamente dai dati volumetrici, simulando il passaggio di luce attraverso il volume.

Le immagini presentate sono state prodotte a partire dal dataset MRI 128x128x128 "bel4" fornitoci da AGIP-LACH. Lo scopo delle visualizzazioni presentate è quello di mostrare le possibilità delle varie tecniche, non quello di identificare particolari ben definiti nei dati visualizzati.

2 Estrazione di iso-superfici

Quest'insieme di tecniche è caratterizzato dall'applicazione di metodi per l'estrazione di una superficie dall'insieme di dati tridimensionale e per la trasformazione di tale superficie in primitive geometriche da rendere, poi, graficamente.

La prima di queste tecniche ad essere stata applicata è la ricostruzione di iso-superfici a partire da isolinee in un insieme di piani paralleli. Si tratta poi di costruire delle griglie di poligoni che congiungano isolinee di piani presi a due a due in maniera tale da formare una superficie connessa.

Un'evoluzione importante si è avuta con l'introduzione della tecnica nota come *marching cubes*, che consiste nel traversare il dataset non come insieme di fette ma come insieme di cubi elementari (*voxels*), per poi individuare, all'interno di ciascun cubo, la porzione della iso-superficie desiderata che lo attraversa (se questa esiste). Questa tecnica risolve molte delle ambiguità insite nel metodo precedente ed è quella oggi più diffusamente impiegata nella ricostruzione di iso-superfici. Le figure 1 e 2 mostrano due immagini di un'iso-superficie del dataset di esempio.

Il vantaggio principale di questo tipo di tecniche è rappresentato dalla possibilità che danno di sfruttare a pieno durante la fase di visualizzazione le risorse hardware delle workstation grafiche, che sono progettate per visualizzare in maniera estremamente efficiente delle primitive geometriche quali punti, linee, poligoni, etc. Per volumi di dati di dimensione medio-grande, queste tecniche permettono un'interazione molto elevata con il modello geometrico. Questo è un aspetto molto importante: gli effetti di parallasse causati dal movimento in tempo reale del modello geometrico sono infatti di primaria importanza per capire meglio la sua struttura spaziale. Un altro vantaggio di queste tecniche è che il modello geometrico che viene estratto dal volume può essere usato per scopi diversi dalla sola visualizzazione (ad esempio, per definire griglie per simulazioni).

Ovviamente, le tecniche di estrazione di iso-superfici risentono delle limitazioni insite nella necessità

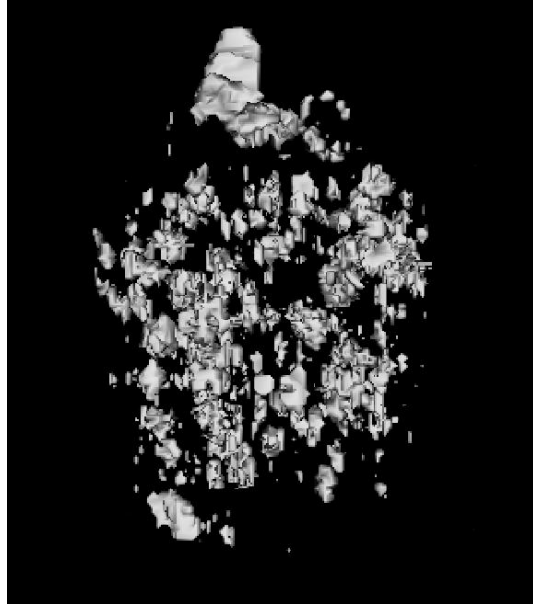


Figura 1: Visualizzazione di un'iso-superficie

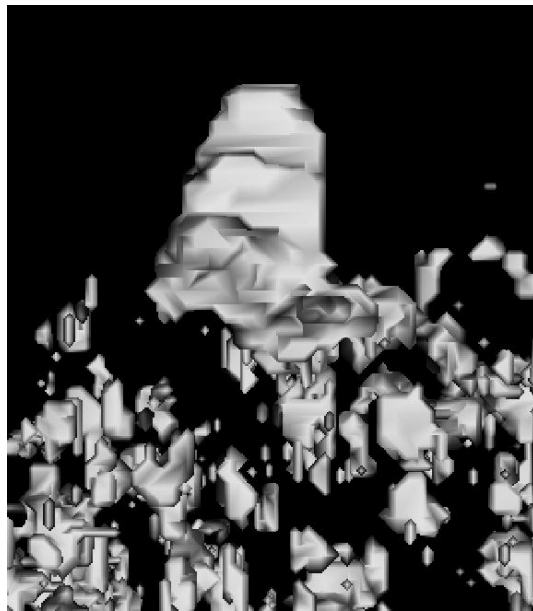


Figura 2: Particolare di un'iso-superficie

di dover interpolare dati da un grigliato discreto, risultando talvolta inefficienti in presenza di insiemi di dati contenenti un alto livello di rumore numerico o con campionamento non adeguato.

3 Visualizzazione volumetrica diretta

Con “visualizzazione volumetrica diretta” si denota un insieme di tecniche di visualizzazione che non richiedono la costruzione di rappresentazioni geometriche intermedie. Le principali tecniche di questo tipo sono la classificazione binaria dei voxel e la visualizzazione volumetrica semitrasparente.

3.1 Classificazione binaria dei voxel

Queste tecniche (usualmente classificate sotto il nome di *cuberille*) consistono nella classificazione del dataset in maniera binaria, ovvero nella suddivisione dei voxel in quelli che contengono una porzione della materia che interessa e quelli che non la contengono.

La tecnica *cuberille* vera e propria, genera un insieme di cubi (delle dimensioni del voxel) opachi per ognuno dei voxel classificati *pieni*. Tali cubetti vengono poi resi dal più distante al più vicino all’osservatore in maniera da eliminare automaticamente le superfici nascoste.

Un’evoluzione della tecnica, che permette un notevole aumento della velocità di esecuzione, parte dal principio inverso di lanciare un raggio per ogni pixel e fermarsi non appena si trova un cubo opaco. In questo caso si può anche ottenere un miglioramento della qualità della scena finale analizzando in ogni voxel il gradiente del campo.

Pur essendo relativamente facili da implementare, queste tecniche risentono, come nel caso di estrazione di iso-superfici, della difficoltà di campionare esattamente in maniera binaria il dataset volumetrico. Non abbiamo ritenuto necessario produrre immagini grazie a queste tecniche, che possono essere viste come caso particolare delle tecniche di visualizzazione volumetrica semitrasparente.

3.2 Visualizzazione volumetrica semitrasparente

Dal punto di vista generale queste tecniche generano le immagini finali associando a ciascun voxel un colore ed una opacità parziale e successivamente miscelando (*blending*) assieme i vari contributi, di colore ed opacità appunto, resi dai voxel proiettati sullo stesso pixel del piano immagine. Queste proiezioni possono essere eseguite sia lavorando in spazio immagine che in spazio oggetto, con tecniche basate sia sul tracciamento di raggi di vista (*ray-casting*), che su sequenze di proiezioni e composizioni delle contribuzioni di singoli voxels o intere fette del volume. Delle *lookup-tables* di classificazione sono generalmente utilizzate per far corrispondere al valore di un voxel il colore e l’opacità da utilizzare negli algoritmi di illuminazione e composizione. Ciò permette di generare immagini che evidenzino dei particolari valori di dati, delle direzioni dei gradienti interni, o entrambe le cose. La quantizzazione e gli artefatti prodotti dal campionamento sono ridotti evitando di utilizzare tecniche di *thresholding* durante la classificazione dei dati e da un attento ricampionamento degli stessi durante la fase di proiezione.

Il modello fisico su cui si basano le tecniche di visualizzazione volumetrica semitrasparente è quello di una gelatina colorata che mantiene in sospensione delle particelle riflettenti allineate in modo tale da dare l’apparenza delle superfici racchiuse. Sono stati sviluppati vari tipi di modelli ottici per la propagazione della luce in questi materiali, con diversi livelli di sofisticazione. Nel caso più comune si tiene conto in maniera fisicamente corretta del contributo dovuto all’oscuramento prodotto da un raggio vista che viaggia in un materiale (cioè l’attenuazione), ma si ignorano l’attenuazione che subiscono i raggi che si dirigono verso le sorgenti luminose all’interno della gelatina stessa (*shadowing*) e la interriflessione tra le varie particelle in sospensione (*internal scattering*).

Le figura 3 mostra tre immagini del dataset di esempio prodotte tramite una tecnica di ray-casting con diverse parametrizzazioni della funzione di classificazione dei voxel.

La visualizzazione volumetrica semitrasparente offre il vantaggio, rispetto alle tecniche di estrazione di iso-superfici e “cuberille”, di non richiedere una classificazione binaria dei dati; questo fornisce un meccanismo per visualizzare caratteristiche piccole o non molto definite, e permette di rappresentare su una singola immagine la totalità dei dati.

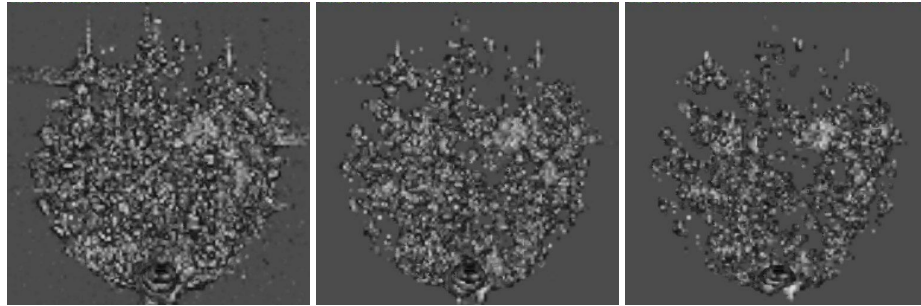


Figura 3: Visualizzazione raycast

Il principale problema di queste tecniche è l'alto costo computazionale della fase di rendering. Su workstation grafiche standard, queste tecniche permettono perciò di produrre singole immagini in tempi relativamente brevi, ma non di manipolare e muovere i volumi visualizzati interattivamente. Per far questo, occorre utilizzare acceleratori grafici che supportino il "texture-mapping" e algoritmi che li sfruttino adeguatamente.

3.3 Visualizzazione volumetrica semitrasparente tramite texture mapping

I modelli più recenti di workstation grafiche (ad es. la *Silicon Graphics InfiniteReality*) combinano le capacità di visualizzazione a velocità elevata di primitive geometriche con ottime prestazioni nel campo della manipolazione di immagini. Grazie a delle soluzioni hardware specializzate, con queste macchine è possibile proiettare immagini su dei poligoni nello spazio tramite *texture-mapping* ed effettuare operazioni di miscelazione di immagini a velocità compatibili con i vincoli dell'interattività. Queste possibilità possono essere sfruttate da algoritmi appropriati di visualizzazione volumetrica semitrasparente.

In generale, in questi algoritmi il dataset iniziale è convertito in una texture-map 3D o in una serie di texture-map 2D che contengono colore e opacità. Durante la fase di visualizzazione, la texture-map è applicata a una serie di poligoni ortogonali alla direzione di visione che tagliano il volume in fette parallele. Queste fette vengono disegnate dalla più lontana dal punto di vista alla più vicina e miscelate tenendo conto dell'opacità in ogni punto per formare un'immagine del volume. Visto che tutte queste operazioni possono essere effettuate dall'hardware grafico ad alta velocità, è possibile visualizzare e manipolare interattivamente i volumi. Ciò permette di sfruttare, come nel caso delle iso-superfici, gli effetti di parallasse dovuta al movimento per migliorare la percezione delle forme.

Le figure 4 e 5 mostrano delle visualizzazioni con due diverse lookup-tables. Le figure 6, 7, 9 e 8 mostrano esempi di uso di piani di taglio. Il tempo di generazione di queste immagini su una macchina del tipo SGI Onyx InfiniteReality è inferiore al decimo di secondo.

Il principale vantaggio delle tecniche basate sul texture-mapping è quello di permettere la manipolazione interattiva di volumi, grazie alle loro elevate prestazioni. Gli svantaggi sono principalmente il costo relativamente elevato delle macchine che offrono capacità adeguate di texture-mapping e la limitazione nel tipo di modelli di illuminazione che possono essere utilizzati.

4 Conclusioni

In questo documento abbiamo presentato le principali tecniche di visualizzazione volumetrica e presentato i vantaggi e gli svantaggi di ognuna di esse.

Indipendentemente dalla tecnica utilizzata, è importante notare che la visualizzazione volumetrica offre sicuri vantaggi sulla semplice analisi di immagini bidimensionali, visto oltretutto che immagini bidimensionali di fette qualsiasi del volume sono sempre ottenibili tramite l'uso di piani di taglio che possono essere posizionati ed orientati in maniera arbitraria (vedi immagini alla sezione precedente).

La scelta della tecnica di visualizzazione volumetrica da utilizzare e la scelta dei relativi parametri (ad esempio il valore dell'iso-superficie, o il contenuto della lookup-table per la classificazione) dipendono dal

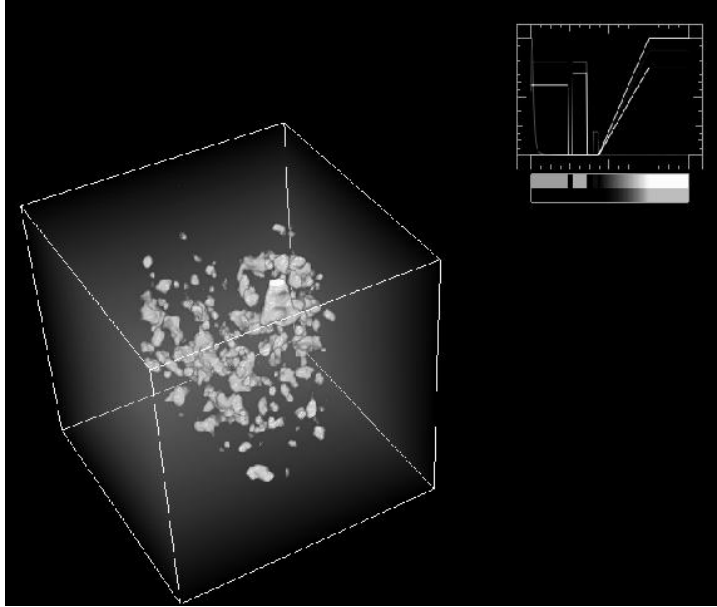


Figura 4: Visualizzazione volumetrica semitrasparente tramite texture-mapping: lookup-table per dati medici

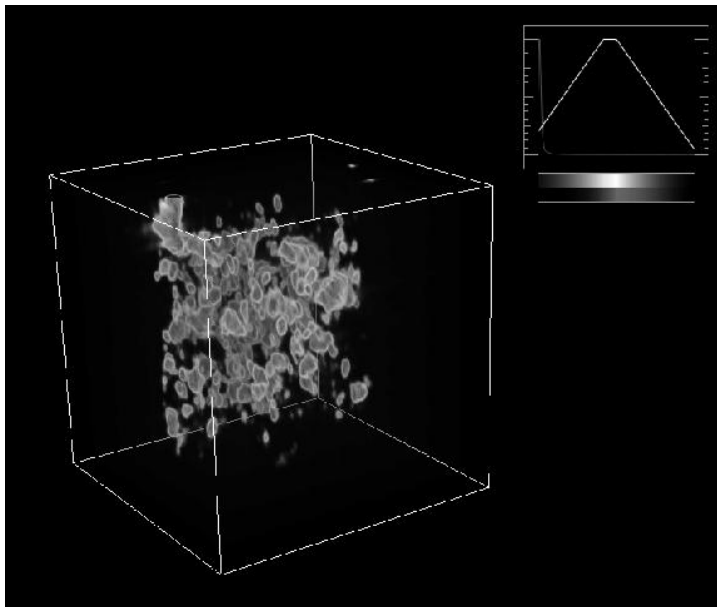


Figura 5: Visualizzazione volumetrica semitrasparente tramite texture-mapping: lookup-table per dati chimici

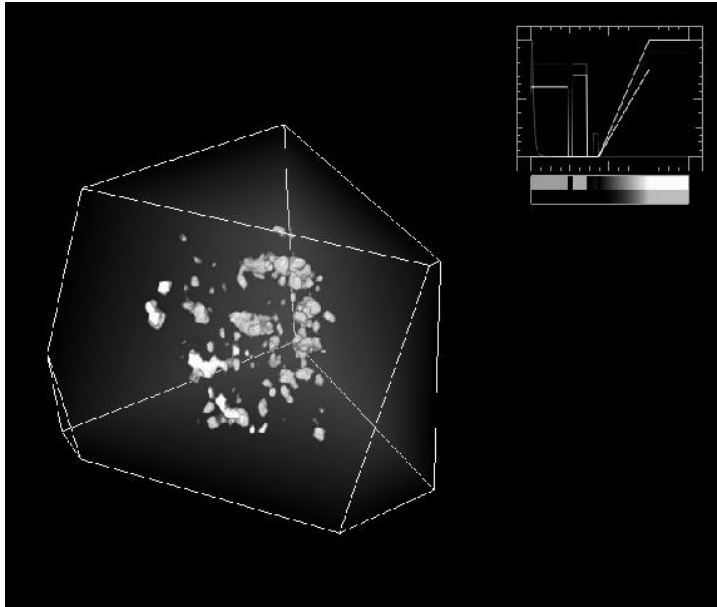


Figura 6: Visualizzazione volumetrica semitrasparente tramite texture-mapping: volume dietro un piano di taglio (lookup-table per dati medici)

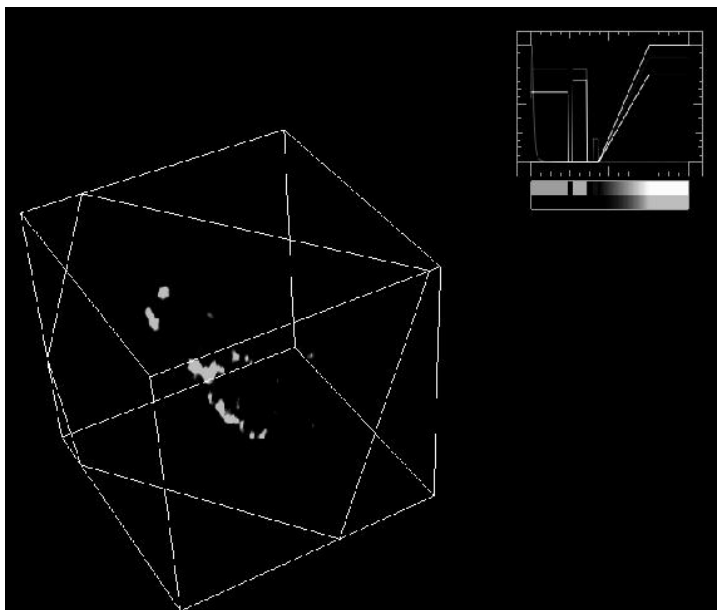


Figura 7: Visualizzazione volumetrica semitrasparente tramite texture-mapping: solo il piano di taglio (lookup-table per dati medici)

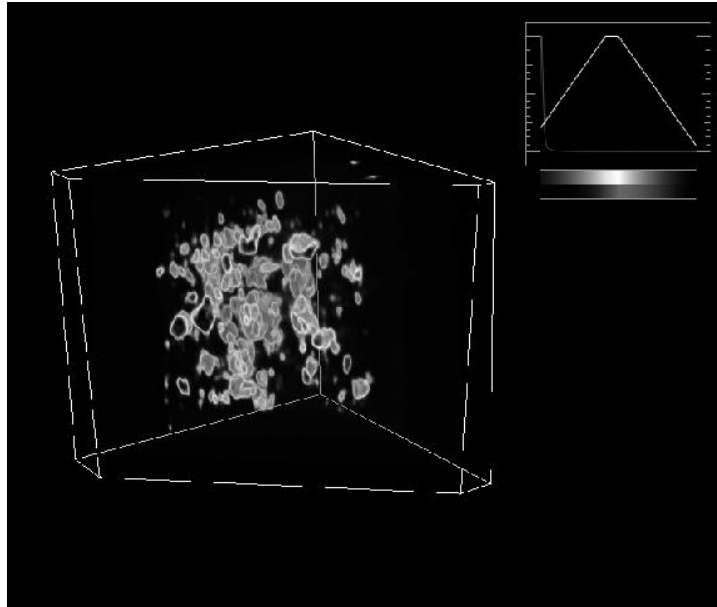


Figura 8: Visualizzazione volumetrica semitrasparente tramite texture-mapping: volume dietro un piano di taglio (lookup-table per dati chimici)

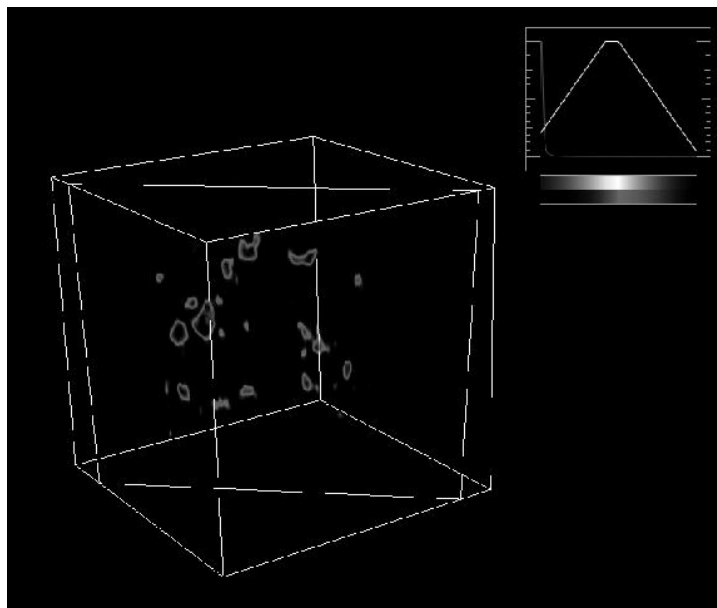


Figura 9: Visualizzazione volumetrica semitrasparente tramite texture-mapping: solo il piano di taglio (lookup-table per dati chimici)

tipo di caratteristiche che si vogliono evidenziare e dalle risorse hardware a disposizione. Vista l'estensione dello spazio di parametri da esplorare e la complessità delle forme geometriche da analizzare, è da prevedere per un'analisi seria di dati volumetrici l'uso di un'applicazione interattiva che permetta sia di orientare interattivamente i volumi nello spazio, sia di modificare i parametri usati per la visualizzazione, sia di scegliere e combinare diversi tipi di tecniche di visualizzazione.