



*Consiglio Nazionale delle Ricerche*

**ISTITUTO DI ELABORAZIONE  
DELLA INFORMAZIONE**

**PISA**

UN USO EFFICIENTE DEI QUADTREE  
PER LA PRODUZIONE  
DI MAPPE TEMATICHE DI SINTESI

B. Biagi, P. Cavedoni, F. Fabbrini  
C. Montani, O. Salvetti

Nota interna B84-04

Maggio 1984

**UN USO EFFICIENTE DEI QUADTREE  
PER LA PRODUZIONE  
DI MAPPE TEMATICHE DI SINTESI**

B. Biagi<sup>1</sup>, P. Cavedoni<sup>2</sup>, F. Fabbrini<sup>1</sup>  
C. Montani<sup>1</sup>, O. Salvetti<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>) Istituto di Elaborazione dell'Informazione del C. N. R.,  
Via S. Maria 46, 56100 Pisa (Tel. 050-500159)

(<sup>2</sup>) Dipartimento di Scienze dell'Informazione, Università  
degli Studi di Pisa, Corso Italia 40, 56100 Pisa (Tel.  
050-40862)

**Sommario**

Un aspetto molto importante dei sistemi di elaborazione di mappe tematiche è rappresentato dalle operazioni logiche su mappe distinte. In questo lavoro viene presentato un sistema per la generazione di mappe tematiche di sintesi che utilizza una tecnica di rappresentazione delle immagini, il Quadtree (QT), per la codifica delle informazioni.

Ciascuna mappa tematica di ingresso è definita come un'immagine ad  $n$  valori, secondo le  $n$  classi del tema della mappa ed è rappresentata da  $n$  QT. Ciascun QT è memorizzato in una struttura dati gerarchica il cui livello superiore rappresenta l'insieme di mappe da elaborare e il livello più basso è costituito dai QT delle differenti classi.

Il sistema adotta un'originale versione modificata del QT, l'Autumnal Quadtree (AQT), che oltre a consentire un risparmio del 75% sulla quantità di memoria necessaria, porta anche notevoli benefici in termini di riduzione della complessità computazionale degli algoritmi.

## Introduzione

Un aspetto molto importante della cartografia automatica e' rappresentato dalla produzione di mappe tematiche di sintesi, cioè mappe ottenute mediante operazioni logiche (unione, intersezione e negazione) tra mappe preesistenti. Una mappa tematica e' definita come una mappa che rappresenta una parte di territorio e che e' suddivisa in regioni omogenee. Ad ogni regione e' associata una delle classi del tema della mappa e per ogni classe si possono avere piu' regioni distinte. Si chiamano mappe di base quelle che sono ottenute direttamente dalla cartografia (altimetria, uso suolo); si chiamano derivate quelle mappe che sono ottenute mediante elaborazione manuale o automatica di mappe di base (classi di pendenza); si chiamano, infine, di sintesi le mappe che derivano da elaborazioni che coinvolgono operazioni logiche fra mappe di base e/o derivate.

In letteratura si trovano tre diversi approcci al problema della cartografia tematica di sintesi o, piu' in generale, della rappresentazione di regioni: le rappresentazioni vettoriale, raster e cellulare.

Nella rappresentazione vettoriale ogni regione viene rappresentata mediante la codifica del suo contorno o parte di esso con diverse possibili organizzazioni delle strutture dati [1], [2], [3], [4].

Nella rappresentazione raster l'informazione e'

Prima di iniziare a parlare di QT, occorre chiarire le caratteristiche della entita' che vogliamo rappresentare. Nell'approccio cellulare, come abbiamo accennato precedentemente, alla mappa in esame viene idealmente sovrapposto un grigliato regolare e le varie regioni omogenee vengono quindi approssimate da un insieme di maglie adiacenti alle quali, evidentemente, viene assegnato lo stesso tipo di proprieta' che la regione rappresenta all'interno della mappa.

L'insieme di tutte le maglie che coprono la mappa puo' quindi essere considerato come una matrice i cui indici di riga e colonna individuano una maglia. Per rappresentare tale matrice mediante i QT occorre che il numero di righe e di colonne sia una potenza di 2, cioe' occorre riportare la matrice, nel caso che non lo sia gia', in forma quadrata e di dimensione  $2^K$  per  $2^K$  aggiungendo righe o colonne di maglie che non rappresentano nessuna proprieta', o meglio che rappresentano la proprieta' 'fondo'.

Supponiamo per il momento che la mappa contenga una sola proprieta' (Fig. 1); le maglie saranno contraddistinte da etichetta BLACK se appartenenti alla proprieta' e WHITE se non appartenenti ad essa.

Un generico QT e' un albero di grado 4 nel quale, cioe', ogni nodo o e' terminale (foglia) oppure ha 4 figli.

La costruzione del QT relativo alla mappa dell'esempio inizia associando all'intera mappa matrice il nodo radice dell'albero. Se tutte le maglie rappresentate dal nodo

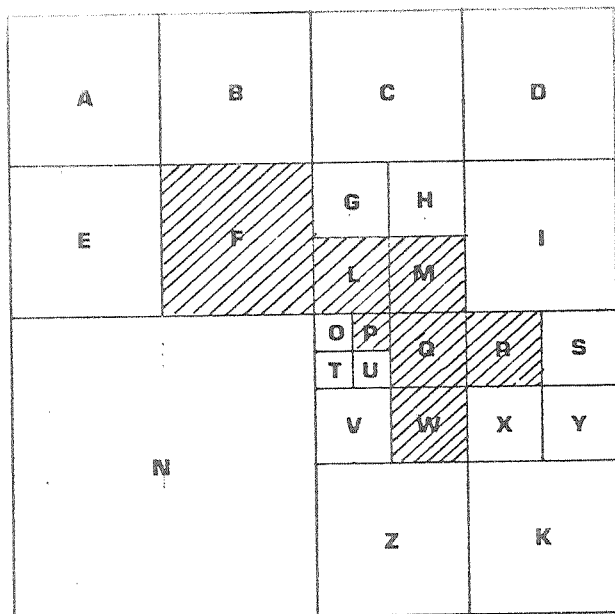


Fig. 1

fossero di tipo WHITE (BLACK) la costruzione del QT terminerebbe e la radice sarebbe etichettata con WHITE (BLACK). In caso contrario si suddivide la matrice in quattro sotto-matrici quadrate, si etichetta la radice con il tipo GRAY e a ciascuna delle quattro sotto-matrici (o quadranti), rappresentate nell'albero da quattro figli del nodo GRAY, si applicano nuovamente le regole dette sopra.

L'albero così costruito è chiamato QT o regular QT.

La rappresentazione in memoria di un regular QT binario (relativo cioè ad una mappa a due soli valori) è schematizzata in figura 2 per la mappa di figura 1. Per ogni nodo dell'albero sono previsti 6 campi:

NODETYPE: identifica il tipo di nodo (GRAY, BLACK o WHITE);

FATHER: contiene un puntatore al nodo padre del nodo in esame (è ovviamente nullo per il nodo radice); a priori questa informazione non è necessaria per la descrizione della struttura dati ma si rivela particolarmente utile in certi attraversamenti dell'albero;

NW, NE, SW, SE: contengono i puntatori ai sotto-quadranti nord-ovest, nord-est, sud-ovest e sud-est del quadrante rappresentato dal nodo in esame (Fig. 3).

Naturalmente quando si tratti di memorizzare le informazioni contenute in un quadtree non è necessario archiviare i 5 campi puntatori associati ad ogni nodo: una semplice visita in ordine anticipato dell'albero che generi, per ogni nodo visitato, il tipo di nodo stesso (GRAY, BLACK o WHITE) produrrebbe le informazioni necessarie e

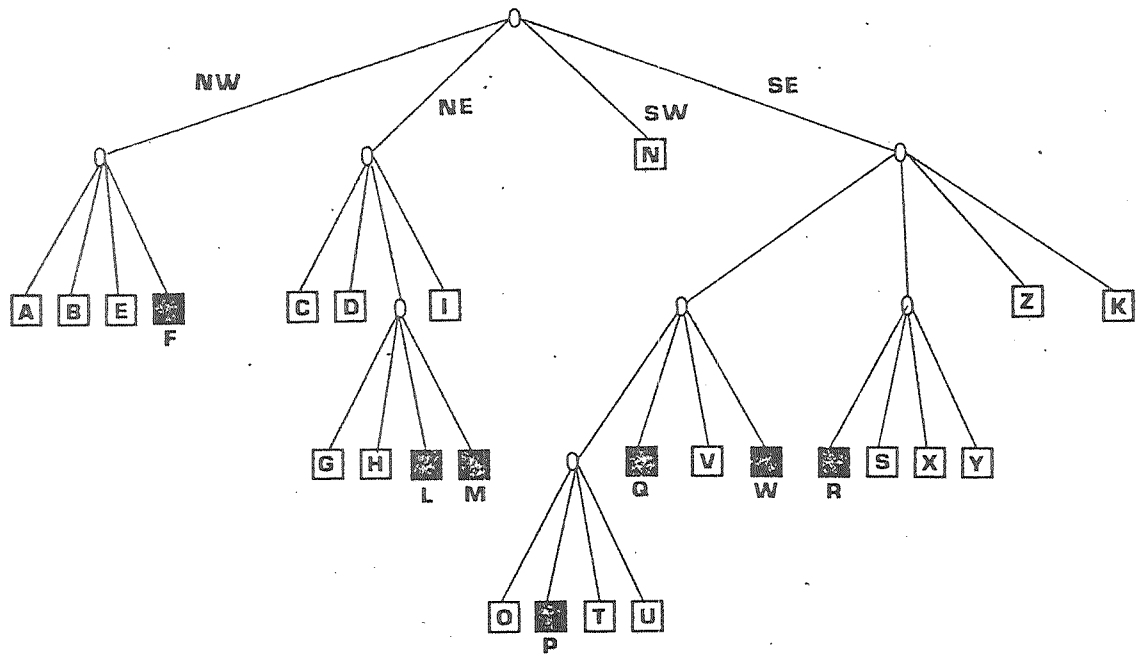


Fig. 2

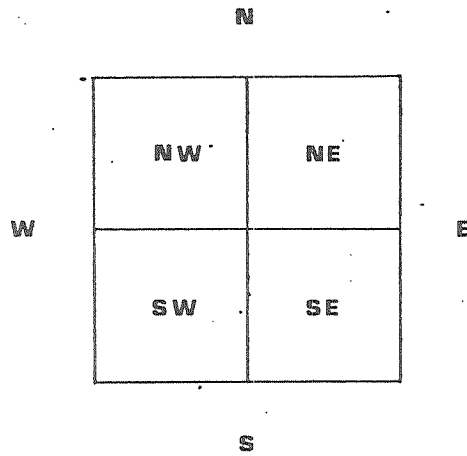


Fig. 3

sufficienti alla memorizzazione dell'albero stesso.

La stringa di caratteri:

GGWWWBGWGWBBWVGGGWBWBWBGBWWWWW

e' stata prodotta visitando l'albero di figura 2 con la procedura descritta.

Pur essendo una struttura dati molto flessibile ed agevole per quanto riguarda le operazioni su di esso, il regular QT presenta purtroppo costi onerosi in termini di occupazione di memoria. Operando su un calcolatore con parola di 32 bit, ogni nodo necessita di 21 byte di memoria (1 byte per il campo NODETYPE e 4 byte per ciascuno dei 5 puntatori) a meno di operare compressioni dell'informazione costose in termini di codifica e decodifica.

Possiamo ovviare a questo inconveniente introducendo una nuova struttura, logicamente identica al regular QT, che abbiamo chiamato, significativamente, autumnal quadtree (AQT) [10], [11]. Nell'AQT sono presenti soltanto i nodi GRAY del regular QT cioe' tutti e soli i nodi non terminali di quest'ultimo.

La rappresentazione in memoria dell'AQT e' schematizzata in figura 4 (ancora per la mappa di figura 1). Il campo NODETYPE di ogni nodo non e' ulteriormente necessario in quanto tutti i nodi sono di tipo GRAY. La funzione del campo puntatore FATHER e' identica a quella che esso ha nel regular QT mentre per i campi puntatore NW, NE, SW e SE vengono adottate le seguenti convenzioni:

(a) un valore del campo puntatore minore di zero implica



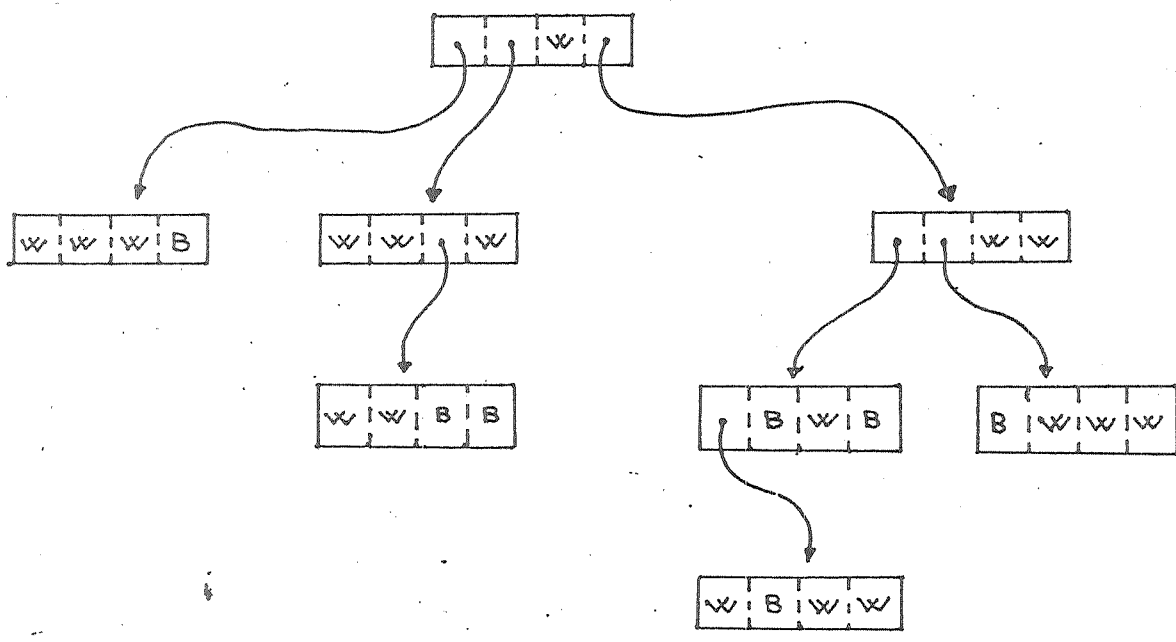


Fig. 4

- l'esistenza di un nodo figlio terminale di tipo BLACK;
- (b) un valore del campo puntatore uguale a zero implica l'esistenza di un nodo figlio terminale di tipo WHITE;
- (c) un valore del campo puntatore maggiore di zero esprime il corretto puntatore ad un figlio non terminale (GRAY).

Poiche' in un regular QT il numero di nodi complessivo  $N$  e' esprimibile in funzione dei nodi non terminali come:

$$N=4G+1$$

da cui:

$$G=(N-1)/4$$

e' evidente che l'eliminazione di tutte le foglie dell'albero e del campo NODETYPE porta, nell'AQT, ad un risparmio della quantita' di memoria necessaria superiore al 75%.

La memorizzazione dell'informazione contenuta nell'albero puo' essere effettuata in maniera identica a quella del regular QT oppure, anche in questo caso, si puo' ottenere analoga compressione sostituendo al generico carattere  $G$  di identificazione dei nodi non terminali una codifica che espliciti il tipo dei figli del nodo in esame (ad esempio mediante maschere di 2 bit).

Da un punto di vista operativo la complessita' delle operazioni sull'AQT e' pressoché identica a quella del regular QT. Nell'AQT la mancanza dei nodi terminali BLACK e WHITE porta a non innescare l'ultimo livello di ricorsione quando si operi sulla struttura dati con procedure di natura ricorsiva.

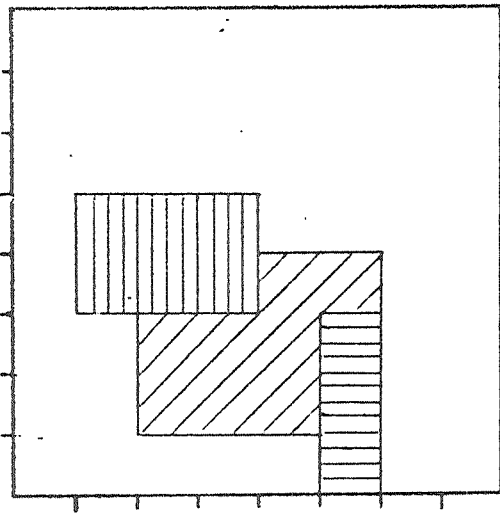


Fig. 5

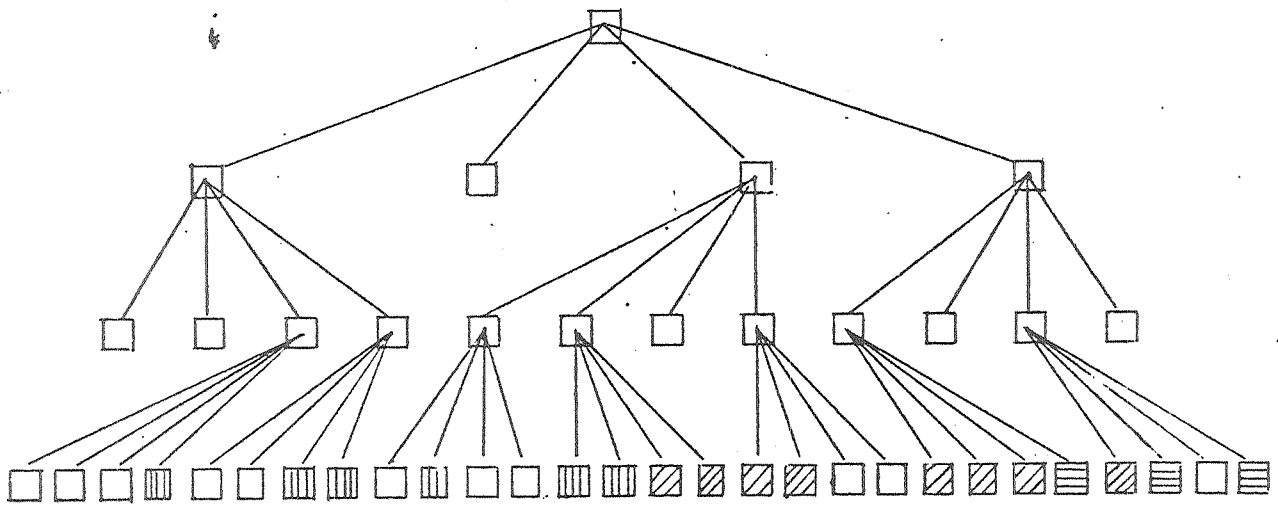


Fig. 6

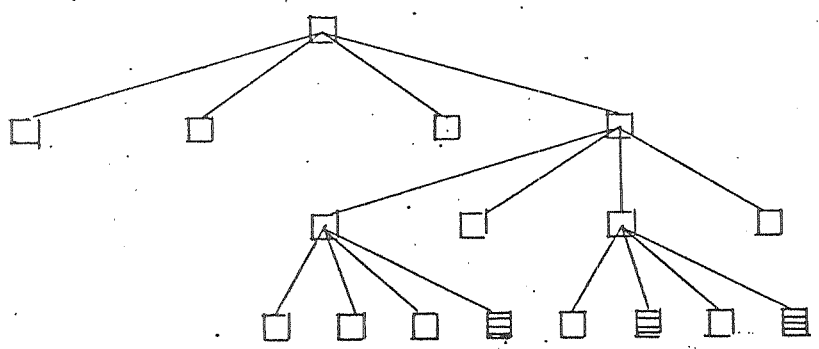
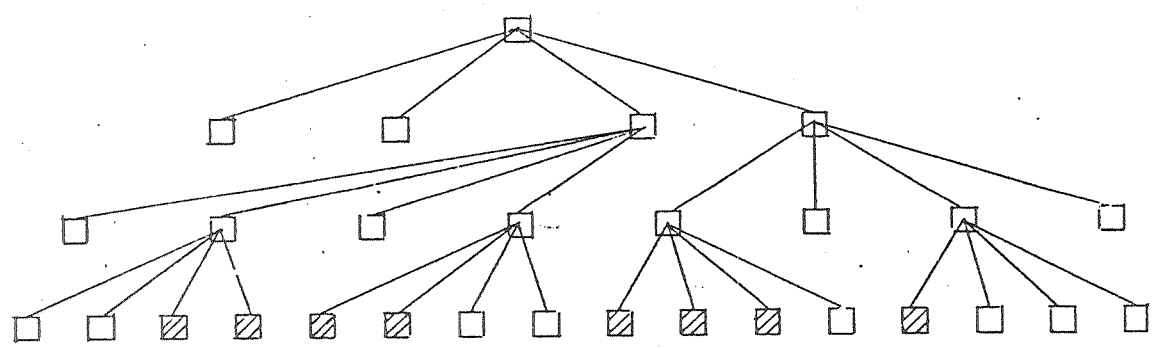
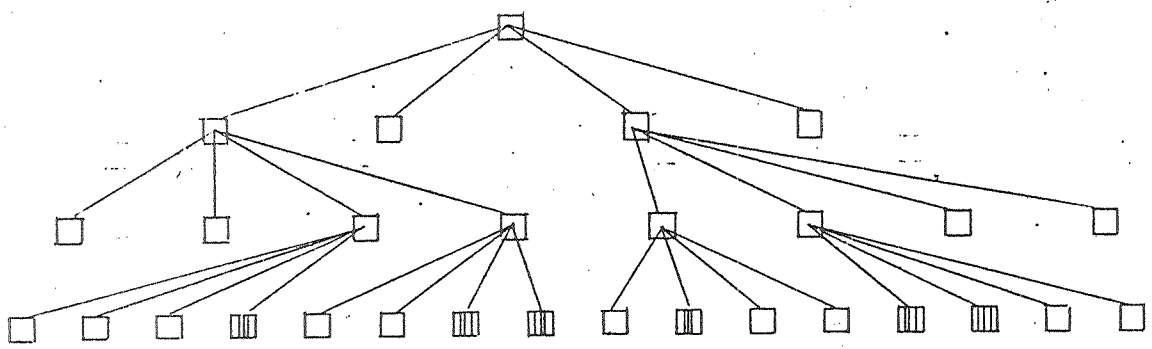


Fig. 7

Le motivazioni per la scelta della codifica mediante AQT possono essere sintetizzate nelle seguenti:

- a) facilita' di implementazione di algoritmi che fanno uso di tecniche ricorsive,
- b) esecuzione veloce delle operazioni,
- c) possibilita' di operare ad alte risoluzioni grazie alla forte compressione dei dati.

Le mappe binarie rappresentate dai QT formano un set ordinato gerarchicamente.

Ciascuna mappa tematica e' identificata da un pathname composto dal nome della regione geografica (ZONA) e dal nome del tema rappresentato (TEMA). Ciascuna classe (CLASSE) dei temi e' memorizzata sotto forma di AQT in una struttura dati gerarchica il cui livello superiore rappresenta l'insieme delle mappe tematiche, mentre il piu' basso consiste in un file contenente un directory per la ricerca delle varie classi (AQT) del tema ed gli AQT stessi.

Ad ogni zona geografica e' associato un particolare tema di una sola classe, contenente gli elementi geografici di base come i contorni dei laghi, i fiumi, ecc.. Questo tema (riferito nel seguito come TEMA\_BASE), anche se non puo' essere oggetto di operazioni logiche, e' particolarmente utile nella visualizzazione delle mappe di risultati intermedi.

genera il QT (identificato dalla classe CLASSE\_1 e dal tema TEMA\_A) intersezione tra le regioni di altitudine compresa fra 500 e 1000 metri e quelle con un uso del suolo a pascolo per la zona geografica in esame.

I principali comandi per lo svolgimento delle operazioni sono:

SET <ZONA> Effettua una inizializzazione del sistema per lavorare con le mappe relative a <ZONA>;

LIST Stampa il contenuto della tabella ambiente;

DROP <op> Cancella i QT dalla memoria principale;

SAVE <TEMA> Archivia una nuova mappa del tema specificato consistente di tutti i QT di nome TEMA e classe qualsiasi;

DISPLAY <op> [(TEMA BASE] Restituisce l'operando in forma matriciale ad una periferica d'uscita. Se e' specificata l'opzione viene restituito anche il tema base;

PLOT <op> Restituisce l'operando in formato vettoriale.

Nei comandi precedenti vale la seguente definizione:

<op> := <TEMA> / <TEMA.CLASSE>

Durante l'elaborazione puo' accadere che sia necessario liberare spazio per la memorizzazione di QT intermedi. Per questa operazione si fa ricorso al campo flag della tabella ambiente per cancellare tutti i QT che non sono coinvolti in

MEMORIA DI MASSA			
MAPPA	MATRICE	QT	AQT
CLIMI	65536	14075	3517
VEGETAZIONI	65536	13643	3409
PRECIPITAZIONI	65536	13210	3301

Tabella 1

MEMORIA CENTRALE (Mappa dei Climi)					
CLASSE	QT			TOTALE	AQT
	GRAY	BLACK	WHITE		
0	684	993	1060	2737	684
1	350	472	579	1041	350
2	735	1034	1172	2941	735
3	379	529	609	1517	379
4	854	1158	1405	3417	854
5	418	567	688	1673	418
6	97	114	178	389	97

Tabella 2

**Bibliografia**

- [1] K. Salomon: A FORTRAN IV Program wich Determines that Region of a Poligon within a Poligonal Boundary, *Comp. and Geosciences*, 4, 55-63, 1978.
  
- [2] W. Burton: Representation of Many-Sided Poligons and Poligonal Lines for Rapid Processing, *Comm. of ACM*, 20, 3, 166-171, 1977.
  
- [3] D. H. Ballard: Strip Trees: a Hierarchical Representation for Curves, *Comm. of ACM*, 24, 5, 310-321, 1981.
  
- [4] K. Weiler: Poligon Comparison Using a Graph Representation, *SIGGRAPH '80 Conf. Proc.*, SIGGRAPH, 10-18, 1980.
  
- [5] R. D. Merril: Representation of Contours and Regions for Efficient Computer Search, *Comm. of ACM*, 16, 2, 69-82, 1973.
  
- [6] G. Nagy and S. G. Wagle: Approximation of Poligonal Maps by Cellular Maps, *Comm. of ACM*, 22, 9, 518-525, 1979.
  
- [7] A. Klinger and C.R. Dyer: Experiment on Picture



