Costruzione di Interfacce
Lezione 13
Clipping e HSR

cignoni@isti.cnr.it
http://vcg.isti.cnr.it/~cignoni

Oggi parleremo di…

- Clipping di segmenti
- Algoritmo di Cohen-Sutherland
- Clipping di poligoni
- Algoritmo di Sutherland-Hodgman
- Eliminazione linee nascoste

Clipping

- Sino ad adesso abbiamo ignorato che lo schermo (la finestra dell'applicazione) fosse una superficie discreta ma di dimensione finita
- Questo comporta la necessità di fare clipping delle primitive che si rasterizzano
- Fare *clipping* significa identificare le porzioni della primitiva che sono visibili e quelle che non lo sono

Clipping

- Il problema del clipping è genericamente risolvibile per qualunque superficie chiusa
- A noi però interessa risolvere solo il problema di fare clipping su rettangoli, dato che le porzioni di schermo che l'applicazione gestisce sono rettangoli

Clipping di un punto

- Un punto si trova all'interno del rettangolo di clipping se sono soddisfatte le 4 disuguaglianze:

$$x_{\min} \le x \le x_{\max}, y_{\min} \le y \le y_{\max}$$

Qualora una qualsiasi di queste disuguaglianze non valesse il punto è al di fuori del rettangolo di clipping

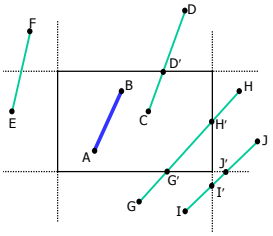
Clipping di un segmento

- Per fare il clipping di un segmento, si considera la posizione dei suoi punti estremi:
  - Se i due punti sono entrambi dentro, l'intero segmento lo è
  - Se un punto è dentro e uno fuori il segmento interseca il rettangolo e si deve calcolare l'intersezione
  - Se entrambi i punti sono fuori dal rettangolo il segmento può o non può intersecare il rettangolo e si devono fare altri calcoli per determinare se le intersezioni ci sono, e se ci sono dove sono

Clipping di un segmento

Per fare il clipping di un segmento, si considera la posizione dei suoi punti estremi:

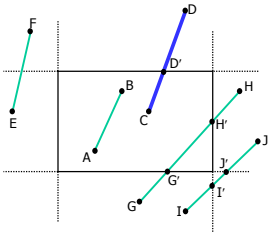
- Se i due punti sono entrambi dentro, l'intero segmento (AB) lo è



Clipping di un segmento

Per fare il clipping di un segmento, si considera la posizione dei suoi punti estremi:

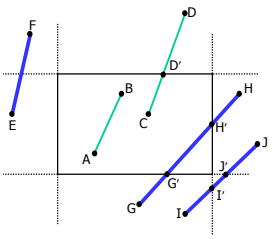
- Se un punto è dentro e uno fuori il segmento (CD) interseca il rettangolo e si deve calcolare l'intersezione (D')



Clipping di un segmento

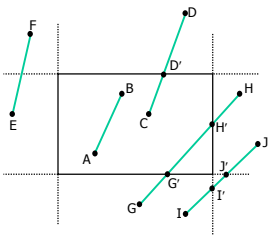
Per fare il clipping di un segmento, si considera la posizione dei suoi punti estremi:

- Se entrambi i punti sono fuori dal rettangolo (EF, GH, IJ) il segmento può o non può intersecare il rettangolo e si devono fare altri calcoli per determinare se le intersezioni ci sono, e se ci sono dove sono



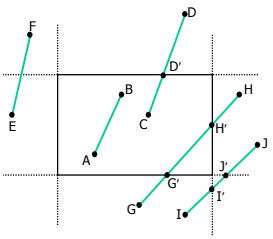
Clipping di un segmento

- L'approccio più diretto alla soluzione del problema sarebbe quello di fare il calcolo delle intersezioni tra la retta su cui giace il segmento e le 4 rette su cui giacciono i lati del rettangolo di clipping



Clipping di un segmento

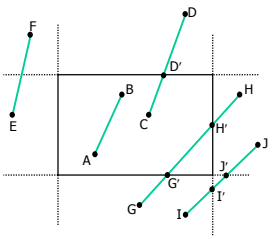
- Una volta individuati i punti di intersezione verificare poi se essi appartengono effettivamente al segmento ed al lato (G' e H') oppure no (I' e J').



Clipping di un segmento

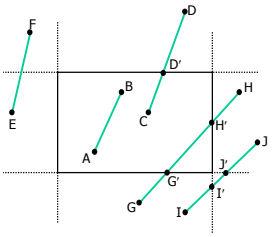
- Questo calcolo si può facilmente compiere utilizzando l'equazione parametrica della retta:

$$x = x_0 + t(x_1 - x_0)$$
$$y = y_0 + t(y_1 - y_0)$$
$$t \in [0,1]$$



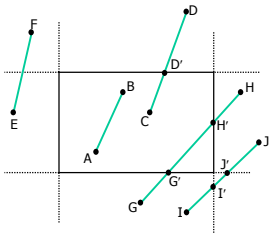
Clipping di un segmento

- Le rette si intersecano se, dopo aver risolto contemporaneamente i due insiemi di equazioni che descrivono il segmento ed il lato in t_{lato} e t_{segm} i due valori rientrano entrambi nell'intervallo [0, 1]



Clipping di un segmento

- Si dovrebbe inoltre verificare in anticipo se per caso le linee sono parallele prima di calcolare l'intersezione
- Un algoritmo del genere funziona ma è costoso e quindi inefficiente

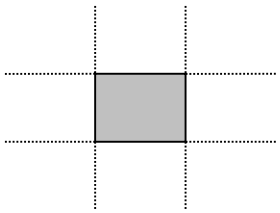


Algoritmo di Cohen-Sutherland

- L'algoritmo di clipping di Cohen-Sutherland si basa su un approccio completamente diverso
- La considerazione di base che si fa è che le rette che delimitano il rettangolo che definisce la regione di clipping suddividono il piano in nove regioni

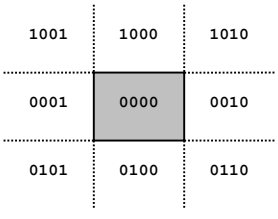
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- La considerazione di base che si fa è che le rette che delimitano il rettangolo che definisce la regione di clipping suddividono il piano in nove regioni



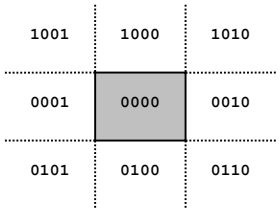
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Ad ogni regione viene associato un codice numerico di quattro cifre binarie



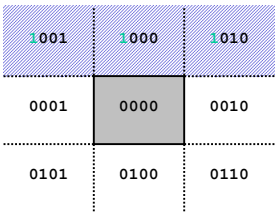
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Il codice è formato da 4 bit, vero o falso:
  - bit 1 sopra l'edge in alto $y > y_{max}$
  - bit 2 sotto l'edge in basso $y < y_{min}$
  - bit 3 a dx dell'edge di dx $x > x_{max}$
  - bit 4 a sx dell'edge di sx $x < x_{min}$



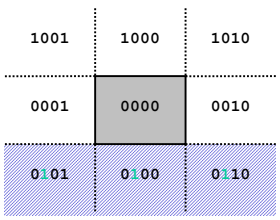
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Il codice è formato da 4 bit, vero o falso:
  - bit 1 sopra l'edge in alto $y > y_{max}$
  - bit 2 sotto l'edge in basso $y < y_{min}$
  - bit 3 a dx dell'edge di dx $x > x_{max}$
  - bit 4 a sx dell'edge di sx $x < x_{min}$



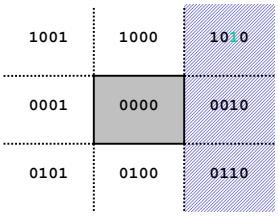
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Il codice è formato da 4 bit, vero o falso:
  - bit 1 sopra l'edge in alto $y > y_{max}$
  - bit 2 sotto l'edge in basso $y < y_{min}$
  - bit 3 a dx dell'edge di dx $x > x_{max}$
  - bit 4 a sx dell'edge di sx $x < x_{min}$



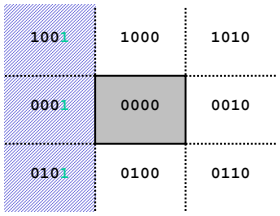
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Il codice è formato da 4 bit, vero o falso:
  - bit 1 sopra l'edge in alto $y > y_{max}$
  - bit 2 sotto l'edge in basso $y < y_{min}$
  - bit 3 a dx dell'edge di dx $x > x_{max}$
  - bit 4 a sx dell'edge di sx $x < x_{min}$



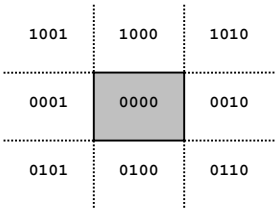
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Il codice è formato da 4 bit, vero o falso:
  - bit 1 sopra l'edge in alto $y > y_{max}$
  - bit 2 sotto l'edge in basso $y < y_{min}$
  - bit 3 a dx dell'edge di dx $x > x_{max}$
  - bit 4 a sx dell'edge di sx $x < x_{min}$



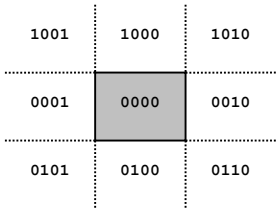
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Con queste premesse l'operazione di clipping si risolve con opportune codifiche e confronti tra codici numerici



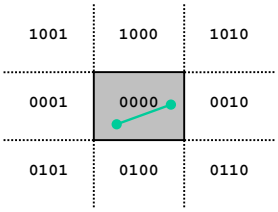
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Per fare il clipping di un segmento si codificano i suoi punti estremi sulla base della regione del piano a cui appartengono e poi si confrontano i due codici



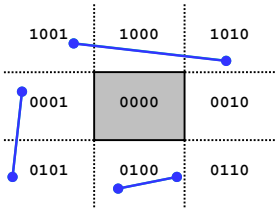
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Se il codice di entrambi i punti estremi è 0000, allora si può banalmente decidere che il segmento è interamente all'interno



Algoritmo di Cohen-Sutherland

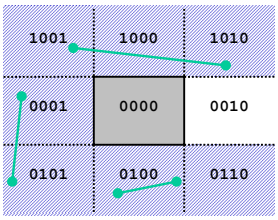
- Altrettanto banalmente si può decidere che un segmento è tutto all'esterno quando l'operazione di AND logico tra i codici dei due punti ha un risultato diverso da 0



0001 ∧ 0100 = 0000

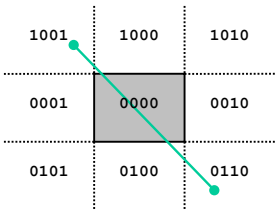
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- In questo caso, infatti, entrambi i punti stanno in uno stesso semipiano (quello identificato dal bit a 1 del risultato) e quindi il segmento non interseca il rettangolo di clipping



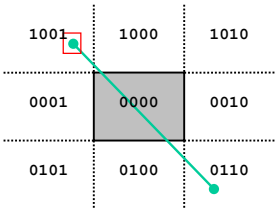
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Se il risultato dell'AND è invece 0000



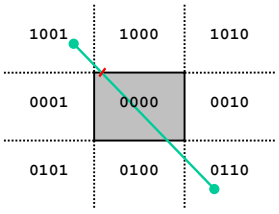
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Se il risultato dell'AND è invece 0000
  - si cerca quale dei due punti estremi giace fuori dal rettangolo (almeno uno lo è)



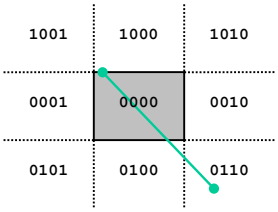
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Se il risultato dell'AND è invece 0000
  - si cerca quale dei due punti estremi giace fuori dal rettangolo (almeno uno lo è)
  - si suddivide il segmento in due parti calcolando l'intersezione del segmento con i bordi del rettangolo



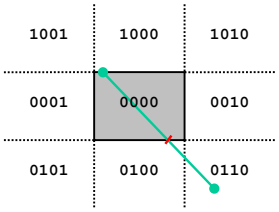
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Se il risultato dell'AND è invece 0000
  - si cerca quale dei due punti estremi giace fuori dal rettangolo (almeno uno lo è)
  - si suddivide il segmento in due parti calcolando l'intersezione del segmento con i bordi del rettangolo
  - una si scarta (poiché giace fuori dal rettangolo) e si itera il procedimento



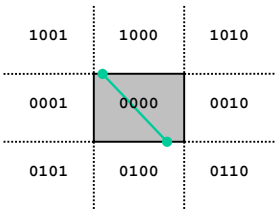
Algoritmo di Cohen-Sutherland

- Se il risultato dell'AND è invece 0000
  - si cerca quale dei due punti estremi giace fuori dal rettangolo (almeno uno lo è)
  - si suddivide il segmento in due parti calcolando l'intersezione del segmento con i bordi del rettangolo
  - una si scarta (poiché giace fuori dal rettangolo) e si itera il procedimento



Algoritmo di Cohen-Sutherland

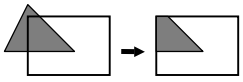
- Se il risultato dell'AND è invece 0000
  - si cerca quale dei due punti estremi giace fuori dal rettangolo (almeno uno lo è)
  - si suddivide il segmento in due parti calcolando l'intersezione del segmento con i bordi del rettangolo
  - una si scarta (poiché giace fuori dal rettangolo) e si itera il procedimento



Clipping di poligoni

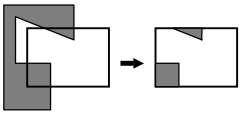
Clipping di poligoni

- Fare clipping di un poligono è un'operazione più complessa che farlo di un segmento dato che i casi da trattare sono vari e diversi tra loro
- Poligono convesso



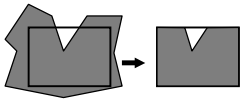
Clipping di poligoni

- Fare clipping di un poligono è un'operazione più complessa che farlo di un segmento dato che i casi da trattare sono vari e diversi tra loro
- Poligono concavo che clippato si divide



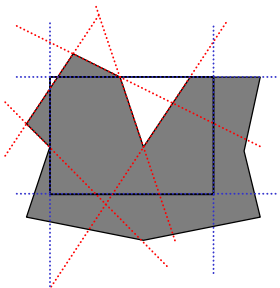
Clipping di poligoni

- Fare clipping di un poligono è un'operazione più complessa che farlo di un segmento dato che i casi da trattare sono vari e diversi tra loro
- Poligono con molti spigoli esterni



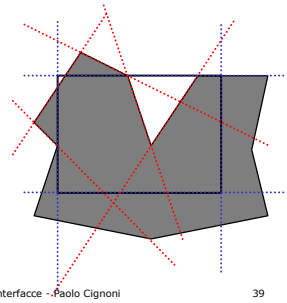
Clipping di poligoni

- L'approccio iniziale di soluzione potrebbe essere quello di confrontare ogni lato del poligono con le 4 rette che delimitano il rettangolo di clipping



Clipping di poligoni

- Un approccio di questo tipo porta a compiere molte operazioni (costose quali i calcoli di intersezioni) di cui una gran parte possono essere inutili

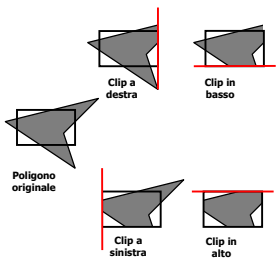


Algoritmo di Sutherland-Hodgman

- L'idea alla base dell'algoritmo di Sutherland-Hodgman è applicare una strategia risolutiva del tipo *divide et impera*
- Il problema viene così ricondotto a quello di calcolare il clipping di un poligono qualsiasi rispetto ad una retta

Algoritmo di Sutherland-Hodgman

- L'applicazione, in successione, della procedura alle 4 rette che definiscono il rettangolo di clipping avrà come risultato il clipping del poligono sul rettangolo



Algoritmo di Sutherland-Hodgman

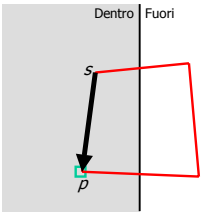
- L'algoritmo riceve in ingresso una serie di vertici v_1, v_2,…,v_n che definiscono n spigoli: gli $n-1$ da v_i a v_{i+1} e quello da v_n a v_1
- Dopo aver fatto clipping su una retta ritorna in output un'altra serie di vertici che definiscono il poligono clippato

Algoritmo di Sutherland-Hodgman

- Il confronto si effettua scandendo il poligono in senso orario partendo dal vertice v_n fino a v_1 per poi tornare a v_n
- Per ogni passo si confronta la relazione esistente tra due vertici successivi e la retta di clipping
- Per ogni caso i vertici indicati con □ verranno inseriti nella lista di output

Algoritmo di Sutherland-Hodgman

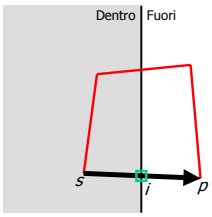
- Le relazioni possono essere di 4 tipi:
  - Spigolo tutto interno



Caso 1

Algoritmo di Sutherland-Hodgman

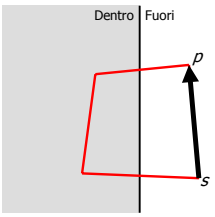
- Le relazioni possono essere di 4 tipi:
  - Spigolo tutto interno
  - Spigolo uscente



Caso 2

Algoritmo di Sutherland-Hodgman

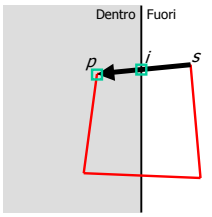
- Le relazioni possono essere di 4 tipi:
  - Spigolo tutto interno
  - Spigolo uscente
  - Spigolo tutto esterno



Caso 3

Algoritmo di Sutherland-Hodgman

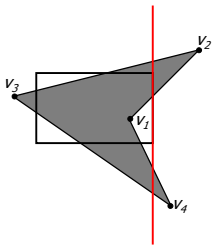
- Le relazioni possono essere di 4 tipi:
  - Spigolo tutto interno
  - Spigolo uscente
  - Spigolo tutto esterno
  - Spigolo entrante



Caso 4

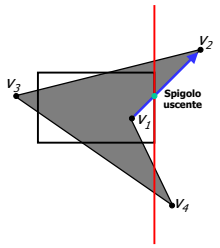
Esempio

- Vediamo come opera l'algoritmo nel caso in figura
- I vertici in nero sono gli originali, quelli in arancio sono originati dall'algoritmo di clipping sulla retta rossa



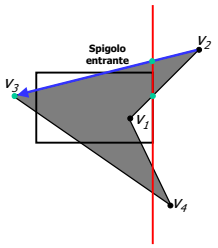
Esempio

- Vediamo come opera l'algoritmo nel caso in figura
- I vertici in nero sono gli originali, quelli in arancio sono originati dall'algoritmo di clipping sulla retta rossa



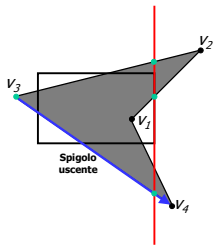
Esempio

- Vediamo come opera l'algoritmo nel caso in figura
- I vertici in nero sono gli originali, quelli in arancio sono originati dall'algoritmo di clipping sulla retta rossa



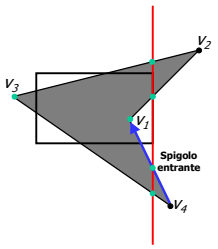
Esempio

- Vediamo come opera l'algoritmo nel caso in figura
- I vertici in nero sono gli originali, quelli in arancio sono originati dall'algoritmo di clipping sulla retta rossa



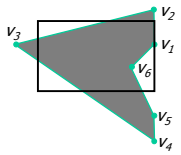
Esempio

- Vediamo come opera l'algoritmo nel caso in figura
- I vertici in nero sono gli originali, quelli in arancio sono originati dall'algoritmo di clipping sulla retta rossa



Esempio

- Vediamo come opera l'algoritmo nel caso in figura
- I vertici in nero sono gli originali, quelli in arancio sono originati dall'algoritmo di clipping sulla retta rossa



Algoritmo di Sutherland-Hodgman

- Una cosa da tenere di conto sarà l'eventualità che in output dall'algoritmo si possano ottenere dei lati che si sovrappongono ai bordi del rettangolo di clipping
- Tali lati si possono generare quando un poligono si divide in due
- È necessario allora aggiungere una fase di post-processing all'algoritmo per eliminarli

Rimozione delle superfici nascoste

Rimozione delle superfici nascoste

- Il problema della **rimozione delle superfici nascoste** consiste nel determinare se un oggetto è visibile all'osservatore, oppure rimane oscurato da altri oggetti della scena
- Non è quindi un problema legato solo alla disposizione degli oggetti nella scena, ma alla relazione che esiste tra oggetti e posizione dell'osservatore

Rimozione delle superfici nascoste

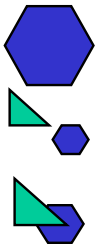
- Gli algoritmi per la rimozione delle superfici nascoste si possono dividere in due classi:
  - gli algoritmi **object-space** determinano, **per ogni oggetto**, quali parti dell'oggetto non sono oscurate da altri oggetti nella scena
  - gli algoritmi **image-space** determinano, **per ogni pixel**, quale è l'oggetto più vicino all'osservatore

Object-space

- Data una scena tridimensionale composta da *n* poligoni piatti ed opachi, si può derivare un generico algoritmo di tipo object-space considerando gli oggetti a coppie

Object-space

- Data una coppia di poligoni, ad esempio A e B, ci sono quattro casi da considerare:
  - A oscura B: visualizzeremo solo A
  - B oscura A: visualizzeremo solo B
  - A e B sono completamente visibili: visualizzeremo sia A che B
  - A e B si oscurano parzialmente l'un l'altro: dobbiamo calcolare le parti visibili di ciascun poligono



Object-space

- Si prende uno dei *n* poligoni e lo si confronta con tutti i restanti *n* – 1
- In questo modo si determina quale parte del poligono sarà visibile
- Questo processo è ripetuto con gli altri poligoni
- La complessità di questo approccio risulta di ordine $O(n^2)$
- L'approccio object-space è consigliabile solo quando gli oggetti nella scena sono pochi

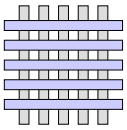


Image-space

- Per ogni pixel, si considera un raggio che parte dal centro di proiezione e passa per quel pixel
- Il raggio è intersecato con ciascuno dei piani determinati dai *k* poligoni per determinare per quali piani il raggio attraversa un poligono
- L'intersezione più vicina al centro di proiezione è quella visibile

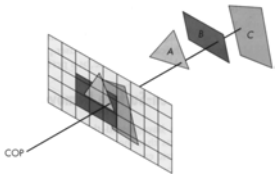


Image-space

- L'operazione fondamentale dell'approccio image-space è il calcolo delle intersezioni dei raggi con i poligoni
- Per un display w×h, questa operazione deve essere eseguita $w \cdot h \cdot n$ volte, e la complessità risulta di ordine O(n), considerando quindi la risoluzione dello schermo una costante.

L'algoritmo *depth sort*

L'algoritmo *depth sort*

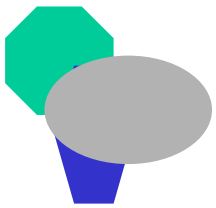
- Consideriamo una scena composta da poligoni planari
- L'algoritmo depth sort è una variante di un algoritmo ancora più semplice, chiamato **algoritmo del pittore**
- Supponiamo che i poligoni siano ordinati sulla base della loro distanza dall'osservatore

L'algoritmo *depth sort*

- Per rappresentare correttamente la scena, potremmo individuare la parte visibile del poligono più distante, e predisporla nel frame buffer
- Se i poligoni sono solo due, questa operazione richiede l'esecuzione del clipping di un poligono rispetto all'altro

L'algoritmo *depth sort*

- Un'altra possibilità è invece quella di seguire un approccio analogo a quello usato da un pittore:
- Dipingere prima il poligono più lontano interamente, e poi dipingere il poligono più vicino, dipingendo sopra le parti del poligono più lontano non visibili all'osservatore

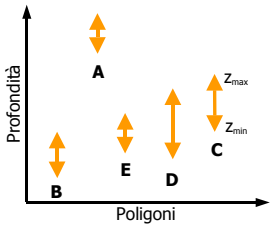


L'algoritmo *depth sort*

- I problemi da risolvere per implementare questo approccio riguardano
  - l'ordinamento in profondità dei poligoni
  - la situazione di sovrapposizione tra poligoni

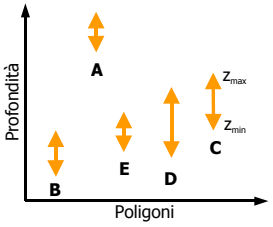
L'algoritmo *depth sort*

- Devo ordinare i poligoni in base alla distanza della loro coordinata *z* massima dall'osservatore
- Più precisamente, si considera l'estensione nella direzione *z* di ogni poligono



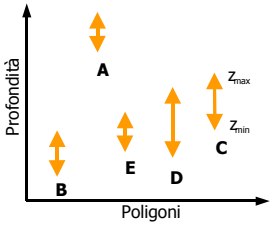
L'algoritmo *depth sort*

- Se la profondità minima di ogni poligono è maggiore della profondità massima del poligono situato sul retro, possiamo visualizzare i poligoni partendo da quello più in profondità



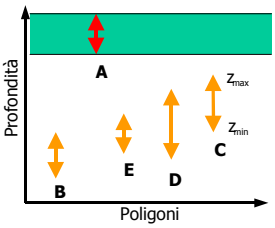
L'algoritmo *depth sort*

- E' il caso del poligono A, che è situato dietro a tutti gli altri poligoni e può essere visualizzato per primo



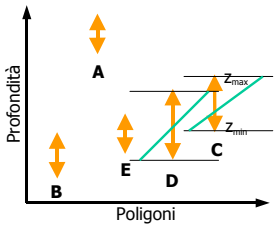
L'algoritmo *depth sort*

- E' il caso del poligono A, che è situato dietro a tutti gli altri poligoni e può essere visualizzato per primo



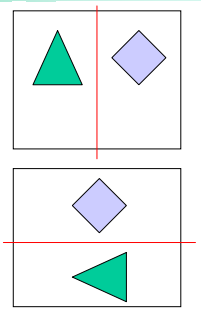
L'algoritmo *depth sort*

- Gli altri poligoni, tuttavia, non possono essere visualizzati basandosi solo sulla loro estensione lungo *z*
- Se le estensioni *z* di due poligoni si sovrappongono, dobbiamo determinare un ordine per visualizzarli individualmente che permetta di ottenere l'immagine corretta



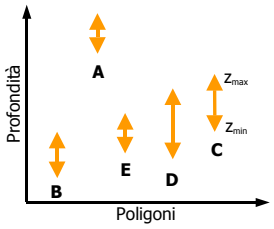
L'algoritmo *depth sort*

- Il test più semplice consiste nel controllare le estensioni lungo *x* e lungo *y*
- Se non c'è sovrapposizione in almeno una delle due direzioni, allora sicuramente nessuno dei due poligoni può oscurare l'altro, ed essi possono essere visualizzati in un ordine qualsiasi



L'algoritmo *depth sort*

- Se anche questo test fallisce, può essere ancora possibile trovare un ordine corretto per visualizzare i poligoni, ad esempio se tutti i vertici di un poligono cadono dalla stessa parte del piano determinato dall'altro poligono



L'algoritmo *depth sort*

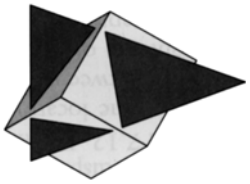
- Rimangono da considerare due situazioni problematiche, per cui non esiste un ordine corretto di rappresentazione

L'algoritmo *depth sort*

- La prima si verifica quando tre o più poligoni si sovrappongono ciclicamente

L'algoritmo *depth sort*

- La seconda situazione si verifica invece quando un poligono penetra nell'altro



L'algoritmo *depth sort*

- In entrambi i casi, è necessario spezzare i poligoni in corrispondenza dei segmenti di intersezione, e cercare l'ordine corretto di rappresentazione del nuovo insieme di poligoni

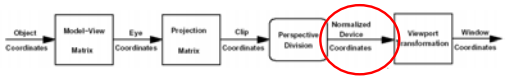
L'algoritmo *z-buffer*

L'algoritmo *z-buffer*

- L'algoritmo **z-buffer** è un algoritmo di tipo image-space, basato su una logica molto semplice, e facile da implementare
- Lavora in accoppiamento con l'algoritmo di scan conversion, e necessita, oltre alla memoria di display (frame buffer), anche di un'area di memoria in cui memorizzare le **informazioni di profondità** relative ad ogni pixel
- Quest'area addizionale di memoria è chiamata **z-buffer**

L'algoritmo *z-buffer*

- La rasterizzazione dei poligoni avviene subito dopo la proiezione sul piano di vista in NDC
- Ad ogni pixel dello schermo possono coincidere 0, 1 o più primitive
- Nel corso dell'esecuzione della scan conversion, possiamo pensare al processo di proiezione come al calcolo del colore da associare ad ogni punto di intersezione tra una retta che passa dal centro di proiezione ed un pixel e le primitive



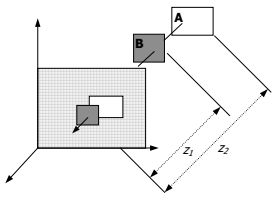
L'algoritmo *z-buffer*

- Nell'effettuare questa operazione, si può facilmente controllare se il punto di intersezione è visibile o meno (dall'osservatore), secondo la regola che stabilisce che

  il punto è visibile se è il punto di intersezione più vicino al centro di proiezione

L'algoritmo *z-buffer*

- Quando si esegue la scan conversion del poligono B, il suo colore apparirà sullo schermo poiché la distanza z_1 è minore della distanza z_2 relativa al poligono A
- Al contrario, quando esegue la scan conversion del poligono A, il pixel che corrisponde al punto di intersezione non apparirà sul display



L'algoritmo *z-buffer*

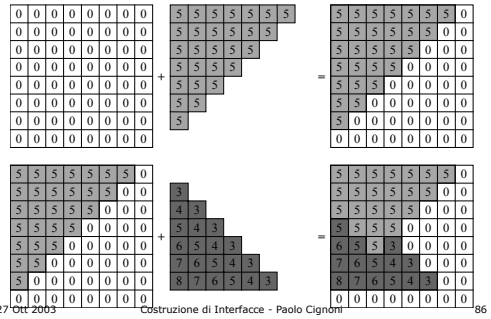
- Poiché si procede poligono per poligono, non è possibile disporre di tutte le informazioni relative agli altri poligoni
- Dobbiamo disporre di una memoria, detta appunto z-buffer, che abbia la stessa risoluzione del frame buffer e con una profondità sufficiente per memorizzare la informazioni sulla risoluzione che si vuole ottenere per le distanze
- Ogni elemento dello z-buffer è inizializzato al valore della distanza massima dal centro di proiezione (il back-clipping plane)

L'algoritmo *z-buffer*

- Con questo approccio i poligoni possono essere rasterizzati in qualsiasi ordine (non è necessario alcun ordinamento preventivo dei poligoni in object-space, ovvero in 3D)

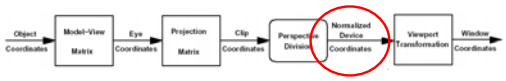
```
for y:=0 YMAX
 for x:=0 XMAX
  WritePixel(x,y,colore del background);
  WriteZ(x,y,0).
for ogni poligono
for ogni pixel nella proiezione del poligono
pz:= valore della z nel pixel di coordinate (x,y)
 if pz>= ReadZ(x,y) then
  WriteZ(x,y,pz)
 WritePixel(x,y,colore del poligono nel pixel di
    coordinate (x,y))
```


L'algoritmo *z-buffer*



L'algoritmo *z-buffer*

- Se ripensiamo a come avviene la proiezione da 3 a 2 dimensioni, una volta trasformato il view frustum nel cubo in NDC possiamo pensare all'algoritmo di z-buffer come a quel metodo che anziché scartare la z al momento della proiezione la memorizza (nello z-buffer appunto) assieme all'informazione sul colore (nel frame buffer)

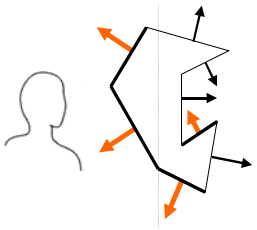


Eliminazione delle *back face*

- Oltre alla rimozione delle superfici nascoste esistono metodi opzionali che consentono di eliminare dalla pipeline di rendering primitive che si può decidere che saranno comunque invisibili
- Se un oggetto è rappresentato da un poliedro solido chiuso, le facce poligonali del poliedro delimitano completamente il volume del solido
- Modelliamo i poligoni in maniera tale che le normali alle loro superfici siano tutte dirette verso l'esterno del poligono

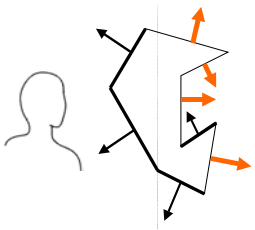
Eliminazione delle *back face*

- Se nessuna parte del poliedro viene tagliata dal *front clipping plane*:
  - le facce che hanno una normale che punta *verso* l'osservatore **possono** essere visibili



Eliminazione delle *back face*

- Se nessuna parte del poliedro viene tagliata dal *front clipping plane*:
  - quelle con normale che punta *via* dall'osservatore **sicuramente non lo sono**



Eliminazione delle *back face*

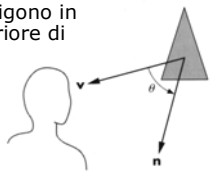
- Per determinare se un poligono deve essere eliminato, dobbiamo verificare se la sua normale è diretta o meno verso l'osservatore
- Se indichiamo con θ l'angolo tra la normale e l'osservatore, il poligono in esame definisce la parte anteriore di un oggetto se e solo se

$$-90° \leq \theta \leq 90°,$$

$$\cos\theta \geq 0$$

- Invece di calcolare il coseno, si usa il prodotto scalare

$$n \cdot v \geq 0$$



back face culling

- Le facce sicuramente invisibili non vengono più considerate nelle fasi successive del processo di rendering
- In media, circa meta' delle facce di un solido chiuso sono inutili