

Studio della Sindone mediante il calcolatore elettronico

Giovanni Tamburelli (*)

Vengono illustrati i risultati, taluni dei quali inediti, ottenuti mediante l'elaborazione numerica dell'immagine sinodica. Dopo aver analizzato le varie possibilità di ottenere una immagine bidimensionale pulita, e cioè senza disturbi dovuti alle righe e alle macchie, viene riportata l'immagine che è servita come punto di partenza per l'elaborazione tridimensionale. Vengono quindi indicati i metodi matematici che si sono seguiti per tale elaborazione e viene riportata l'immagine in rilievo ottenuta per il volto. Di questa immagine vengono sottolineate alcune nuove importanti particolarità che non risultavano evidenti, anche se presenti, nell'immagine bidimensionale. Desiderando ottenere una immagine del volto naturale dell'Uomo della Sindone, priva cioè di ferite, si è fatta una elaborazione della precedente immagine, in cui si è riusciti ad eliminare le ferite più piccole ed attenuare le più grandi senza mutare sostanzialmente i lineamenti. Questa immagine dovrebbe essere con molta probabilità assai vicina al volto naturale di Gesù Cristo. Viene anche riportata l'elaborazione dell'immagine del corpo.

Inoltre, da una immagine di tipo sindonico ottenuta per contatto si è estratta l'informazione della terza dimensione e ottenuta l'immagine tridimensionale. Ciò non sembra possibile con immagini ottenute con altri fenomeni fisici. Si può concludere che, allo stato delle conoscenze attuali, la Sindone deve ritenersi ottenuta prevalentemente soltanto per contatto. L'immagine tridimensionale ottenuta è approssimativamente uguale a quella del calco originale usato per ottenere l'impronta. Le immagini tridimensionali ottenute dal volto della Sindone sono però, per i motivi indicati nel testo, uguali al vero Volto dell'Uomo della Sindone con una maggiore approssimazione.

1. - INTRODUZIONE.

Il termine «Sindone» generalmente indica il lenzuolo funerario che avvolse il corpo di Gesù Cristo dopo la sua morte.

La Sindone di Torino è comunemente considerata la vera Sindone ed è costituita da un lenzuolo di lino lungo 4,36 m e largo 1,12 m. Il tessuto è segnato con molte macchie e righe, alcune delle quali sono dovute all'incendio che divampò nella Cappella di Chambery nel 1532. Su un lato del lenzuolo sono visibili le immagini anteriore e posteriore di un corpo

umano, probabilmente prodotte dal sangue presente sul corpo stesso.

Una fotografia del negativo dell'immagine anteriore è rappresentata in fig. 1.

L'elaborazione numerica dell'immagine impressa sulla Sindone si prefigge di perseguire sostanzialmente due obiettivi: la riduzione di disturbi (rumore) e artefatti, che mascherano il segnale cioè l'indicazione che ci viene da ogni areola (pixel) della immagine della Sindone e l'esaltazione del contenuto di informazione.

Nel primo caso occorre ridurre la notevole quantità di rumore presente sull'immagine, prevalentemente di tipo impulsivo, dovuto sia alla struttura geometrica della tela sia alle vicissitudini da essa subite nel corso dei secoli.

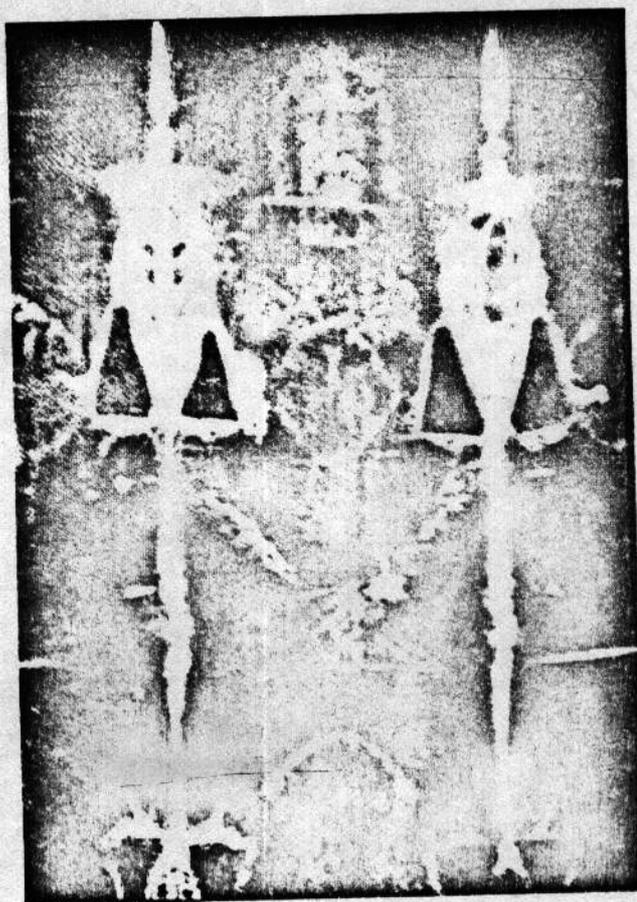


Fig. 1 - Immagine del negativo fotografico di una parte del corpo impresso sulla Sindone

(*) Prof. ing. GIOVANNI TAMBURELLI - Università di Torino.

Nel secondo caso occorre esaltare i dettagli, sia agendo con tecniche non lineari sull'immagine bidimensionale ripulita dai disturbi, sia introducendo il rilievo e cioè formando una immagine tridimensionale, in cui l'informazione assuma un particolare risalto.

L'elaborazione numerica dell'immagine della Sindone è stata trattata in modo bidimensionale in [1], dove sono state fornite una immagine ottenuta con *filtro mediano* 9×9 e controllo dell'*istogramma* ed un'altra in cui si sono ridotte le irregolarità mediante confronto con una immagine fortemente *mediata*.

In [2] sono state presentate immagini bidimensionali del volto e di particolari del corpo con il contrasto esaltato (image enhancement).

Tuttavia la lettura di questi articoli non è necessaria per la comprensione del testo che segue. In essi sono pure riportati i risultati ottenuti mediante filtraggio mediano [7], [8], mediante manipolazione con istogramma [9] + [11] e mediante filtraggio passa-alto; inoltre sono riportati i risultati ottenuti eliminando i disturbi e la traccia dell'ordito e mediante il processamento numerico delle fotografie a raggi ultravioletti ed infrarossi. In [3], [4], [5] e [6] è stato trattato il problema dell'ottenimento della immagine tridimensionale della Sindone fornendo alcune rappresentazioni tridimensionali del volto e del corpo.

La presenza in queste rappresentazioni di talune evidenti distorsioni del volto, non accettabili per un volto umano e l'assenza di rilievo di taluni particolari, ci hanno indotto a studiare anche l'elaborazione tridimensionale al fine di ottenere sia una maggiore definizione tridimensionale dei particolari, sia un volto e anche un corpo aventi una estetica più probabile.

Parte dei risultati ottenuti sono riportati in [21] + [24] ed il presente lavoro ne costituisce la raccolta completa, comprendendo anche quelli inediti relativi allo studio dell'origine dell'impronta. Si ritiene comunque interessante fornire gli elementi base delle tecniche di elaborazione utilizzate.

2. - L'ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI.

2.1. - I filtri numerici bidimensionali.

Il primo obiettivo della ricerca è stato, come detto, la riduzione dei disturbi.

Come noto un comune segnale unidimensionale può essere elaborato da un filtro numerico. In proposito si ricorda che, come indicato nello schema di Fig. 2, un segnale per essere trattato da un filtro numerico deve essere campionato, e cioè occorre prelevare soltanto i valori del segnale (campioni) in istanti multipli di un dato intervallo di tempo (periodo di campionamento), ed i suoi campioni devono essere trasformati in numeri. Queste due operazioni vengono attuate da un dispositivo che prende il nome di convertitore analogico numerico. Nel filtro numerico vero e proprio i segnali così numerizzati vengono sottoposti a varie operazioni, lineari o non lineari, ed escono dal filtro numerico sotto forma di segnale campionato e numerizzato. Questo segnale può essere utilizzato senza ulteriori mutamenti o può essere trasformato in segnale analogico mediante un'adeguata decodifica ed interpolazione (indicata a tratti in Fig. 2). I filtri numerici possono essere ricorsivi o non ricorsivi; i primi forniscono



Fig. 2. - Schema di principio di un filtro numerico.

campioni in uscita dipendenti anche da quelli precedenti opportunamente ritardati e fatti rientrare nel filtro numerico, mentre i secondi forniscono campioni in uscita dipendenti soltanto dai campioni in entrata.

Un filtro numerico bidimensionale può ricevere in entrata i campioni quantizzati e numerizzati di una funzione a due variabili $f(x, y)$. I campioni di questa funzione sono presi in corrispondenza ai punti di incrocio di un reticolo formato con linee equidistanti parallele agli assi x ed y (v. Fig. 3). I campioni in uscita sono generalmente forniti in corrispondenza agli stessi punti di incrocio. Ciascuno di questi campioni può dipendere dai valori di tutti gli altri campioni o di una parte di essi. Per esempio ciascun campione in uscita può dipendere da tutti i campioni situati nel semipiano disposto a sinistra del campione considerato e non comprendente il campione stesso. In tal caso il filtro viene chiamato «a semipiano» e può essere ricorsivo o non ricorsivo con un'ovvia estensione della suddetta definizione.

I filtri numerici bidimensionali possono essere usati per elaborare le immagini ed in tal caso la funzione $f(x, y)$ è generalmente costituita dall'intensità luminosa dei vari punti di coordinate x, y dell'immagine. Vari tipi di elaborazione dell'immagine sono possibili. Tra i più noti possiamo citare l'«image enhancement» e l'«image restoration». Il primo consiste nell'esaltare particolari proprietà o caratteristiche dell'immagine, il secondo nel recupero di immagini parzialmente o totalmente degradate.

Tra le elaborazioni «image enhancement» possiamo citare l'iperbolizzazione dell'istogramma. Questa elaborazione consiste nel modificare il contrasto di un'immagine inteso come differenza tra le intensità luminose delle aree chiare e scure. Poiché l'intelligibilità dei particolari di un'immagine dipende dal contrasto è spesso possibile migliorarla proprio modificandone questa caratteristica.

Questa modifica può essere effettuata con le ben note tecniche fotografiche ma nessuna di esse presenta la versatilità fornita dal calcolatore. Infatti con quest'ultimo l'intensità I di un'areola dell'immagine (pixel) può essere trasformata nell'intensità J secondo una qualsivoglia legge $J(I)$.

Generalmente la distribuzione statistica dei valori I dell'immagine campionata quantizzata e numerizzata non è tale da dar luogo alla massima intelligibilità. Si osserva in

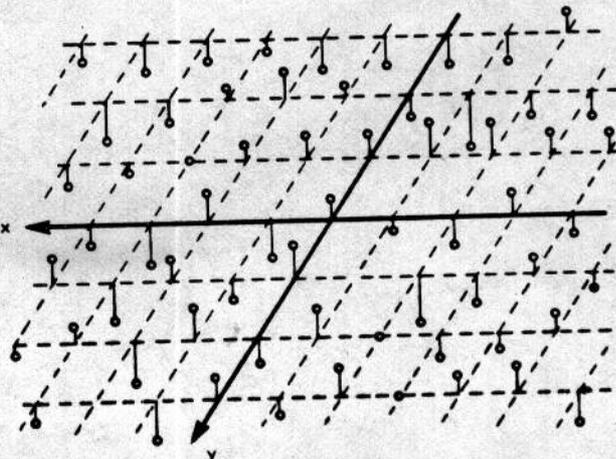


Fig. 3. - Rappresentazione di un reticolo bidimensionale.

proposito che essendo i valori di I quantizzati la loro distribuzione statistica è ovviamente rappresentata da un istogramma. Si potrebbe pertanto scegliere una trasformazione $J(I)$ tale da rendere l'istogramma di J costante attuando la cosiddetta egualizzazione dell'istogramma. In tal modo però non si otterrebbe la massima intelligibilità dell'immagine poiché si dimostra che questa importante proprietà viene ottenuta egualizzando in luogo delle intensità oggettive J le intensità B soggettive e cioè percepite dall'occhio umano. B è una funzione non lineare di J e quindi per rendere l'istogramma di B uniforme occorre attuare opportunamente un istogramma di J . Con alcuni semplici passaggi matematici si dimostra che supponendo valida la relazione tra B ed J proposta da Webers [11]:

$$B = \log(J + c)$$

dove c è una costante da determinare sperimentalmente; la densità di probabilità $p(J)$ che rende costante la densità di probabilità $p(B)$ è data dalla relazione:

$$p(J) = \frac{1}{(J + c) \log(1 + 1/c)}$$

di tipo iperbolico.

Un altro tipo di filtro numerico bidimensionale interessante è il cosiddetto filtro mediano [12]. Si tratta di un filtro non lineare particolarmente adatto per eliminare i disturbi di tipo impulsivo. Questo opera successivamente in tutti i punti di una finestra quadrata comprendente, per es., 5×5 punti, prendendo come valido il valore mediano dei 25 valori della funzione. Come noto, il valore mediano è quel valore che viene separato dal 50% degli altri valori.

Questo filtro, come si vedrà, è stato utilizzato con notevoli risultati per togliere le macchie e le rughe nell'immagine sindonica.

3. - RIDUZIONE DEI DISTURBI.

I disturbi dell'immagine sono chiaramente visibili in Fig. 4, che è una riproduzione numerizzata del negativo fotografico del volto della Sindone.

Questa immagine è stata ottenuta mediante un «flying spot scanner» che ha convertito l'informazione luminosa di una diapositiva 24×36 mm in un segnale elettrico, che è stato successivamente campionato e quantizzato con 8 bit.

Mediante questa operazione è stata ottenuta una immagine costituita da 512×512 pixels di 8 bit. Al fine di ridurre il rumore è stato impiegato un filtro numerico bidimensionale per eliminare i punti e le macchie di limitate dimensioni, senza interferire con le transizioni corrispondenti ai contorni e ai particolari dell'immagine.

Si noti in proposito che un filtro lineare, pur riducendo il rumore, produce altresì una perdita di qualità del segnale, mentre un filtro non lineare mediano sopprime isolati gruppi di punti dell'immagine, se la loro estensione è minore di metà della finestra di filtro, senza influenzare la rapidità della transizione del segnale.

Inoltre l'uso di un operatore bidimensionale che può sostituire un dato campione dell'immagine col valore mediano dei campioni adiacenti è molto più efficiente di un operatore monodimensionale agente separatamente sulle righe e sulle colonne dell'immagine.

La fig. 5 consente di rilevare la riduzione di rumore ottenuta usando un filtro mediano bidimensionale [12] con una finestra 7×7 .

Se invece si utilizza un filtro mediano separabile su righe e colonne [12] dell'immagine in esame, si ottiene il risultato di fig. 6, dove sono ancora visibili strutture geometriche direzionali. In tal caso per sopprimere tali strutture residue occorre aggiungere un filtro numerico passa-basso lineare che attenui le componenti di segnale al di sopra di una prefissata frequenza spaziale, senza però distorcere il segnale utile. La

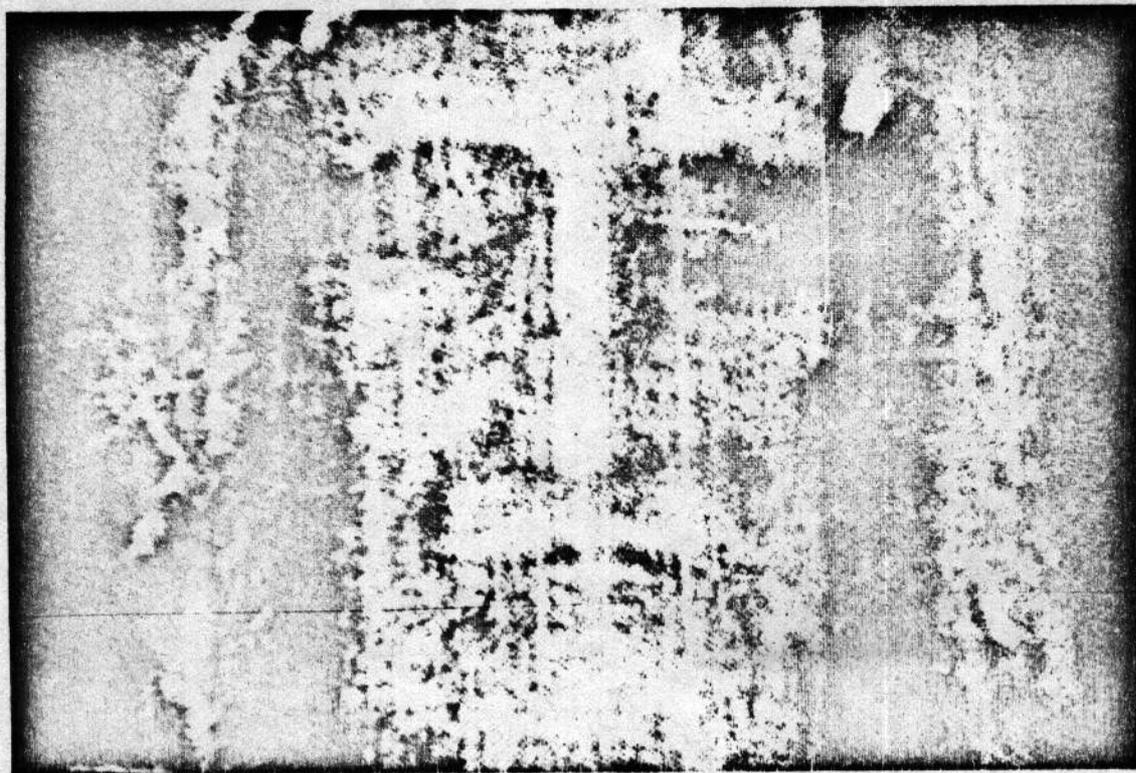


Fig. 4. - Immagine del negativo fotografico del volto della Sindone campionato (512×512 punti), quantizzati su 256 livelli di luminosità.

fig. 7 mostra il risultato di questa elaborazione ottenuto usando come filtro passa-basso, un filtro ricorsivo a semipiano [13] avente la risposta d'ampiezza, per la frequenza bidimensionale, come in fig. 8, a fase nulla.

Questo filtro utilizza una sola sezione del second'ordine interpolata e ruotata, ciò che ha richiesto una memoria complessiva pari a quattro righe dell'immagine e diciassette moltiplicazioni per punto.

Tali strutture sono le più idonee per svolgere l'elaborazione di segnali bidimensionali con un minicomputer e vengono utilizzate per esaltazione, restauro e compressione di segnali video [14], per immagini biomediche e per elaborazione di segnali sismici [15], [16].

4. - ELABORAZIONE NUMERICA DELL'INFORMAZIONE.

Il secondo obiettivo di questo studio è stato quello di estrarre la massima informazione dall'immagine della Sindone, per dare qualche risposta plausibile agli stimolanti quesiti relativi al processo di formazione dell'impronta, all'identificazione di particolari (ferite, macchie di sangue, posizione del corpo) all'autenticità, etc. [23].

Per effettuare le elaborazioni tridimensionali si è pensato di partire dall'immagine di Fig. 5 che, essendo elaborata in modo da avere un elevato contrasto, ha anche un elevato rapporto segnale-disturbo. Evidentemente la non linearità introdotta da questa elaborazione bidimensionale non consente di utilizzare la relazione indicata in [3] tra l'intensità dell'immagine e la distanza della pelle dal lenzuolo. In proposito occorre osservare che per evitare notevoli difficoltà analitiche è indispensabile valutare tale distanza secondo la linea verticale, considerando il corpo in posizione supina. D'altra parte una semplice relazione puntuale e cioè tra punto dell'immagine e corrispondente punto della pelle situato sulla stessa linea verticale non sembra essere adeguata, in quanto alla formazione di un punto dell'immagine hanno

evidentemente concorso tutti i punti di una regione sottostante. In sostanza considerando un piano di coordinate orizzontale x, y su cui si sia supposto disteso il lenzuolo ed indicando con $i(x, y)$ l'intensità dell'immagine sul lenzuolo e $d(x, y)$ la corrispondente distanza del punto della pelle misurata secondo la verticale, soltanto in prima approssimazione si potrà scrivere:

$$i(x, y) = f[d(x, y)]; \quad (1)$$

ma più esattamente si deve ritenere i non semplicemente funzione f di d ma funzionale $(^1) F$ di d , e quindi per il generico punto di coordinate u, v si deve scrivere:

$$i(u, v) = F_{...}[d(x, y)]. \quad (2)$$

Se si considera una differente emanazione dei punti del corpo, F diventa la convoluzione di una funzione spaziale dei punti della superficie del corpo con una funzione di distanza.

Alcuni ricercatori [4], [5], hanno dimostrato che l'intensità di ogni punto della Sindone di Torino può essere approssimativamente considerata una funzione della sola distanza verticale tra il punto stesso ed un corpo umano orizzontale coperto dalla Sindone in modo che la struttura anatomica dell'immagine corrisponda alla struttura del corpo.

Ciò equivale a ritenere praticamente costante l'emanazione nei vari punti del corpo; perciò F può essere approssimativamente considerato una funzione della suddetta distanza.

La determinazione del funzionale F esatto, partendo dall'immagine fotografica della Sindone e considerando le varie teorie ed esperimenti sulla formazione dell'immagine non è molto semplice. Perciò si è deciso di usare la teoria de-

(¹) Un funzionale senso lato è una funzione di funzione, in questo caso è una funzione di una funzione della variabile indipendente calcolata in tutto il campo di esistenza della variabile stessa.

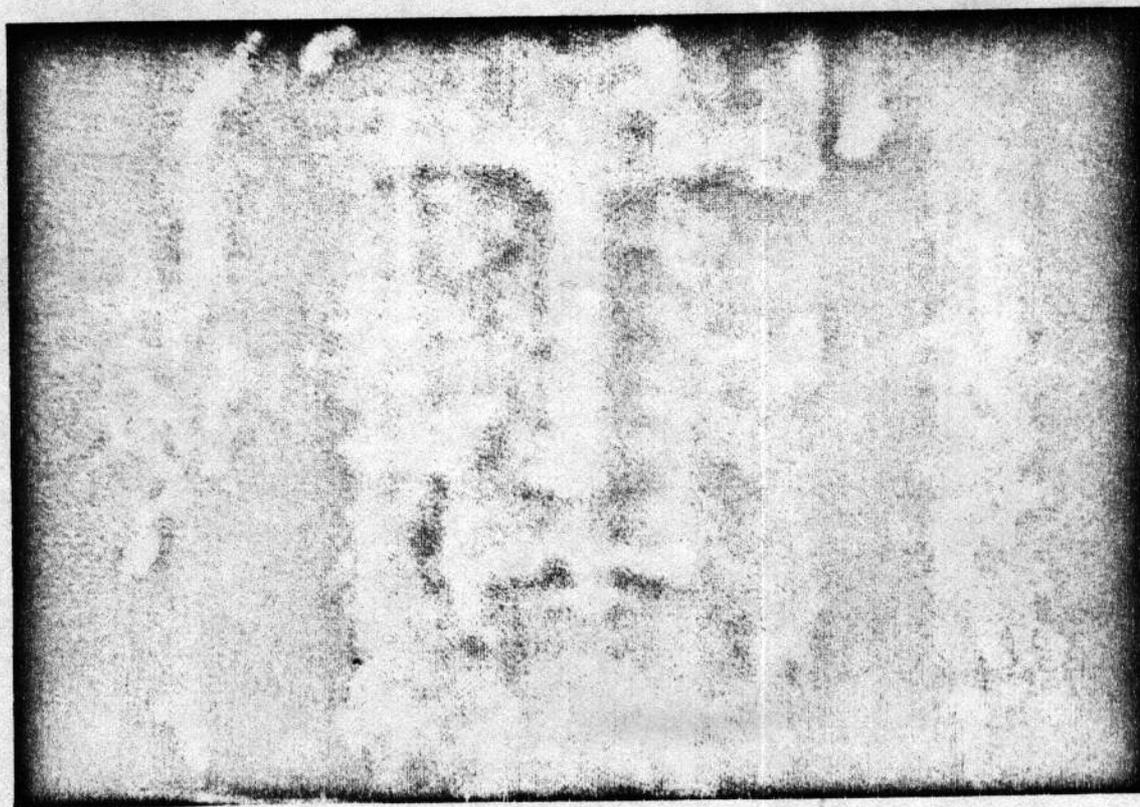


Fig. 5. - Riduzione dei difetti e dei disturbi dell'immagine di fig. 2, mediante filtro mediano bidimensionale (7 x 7).

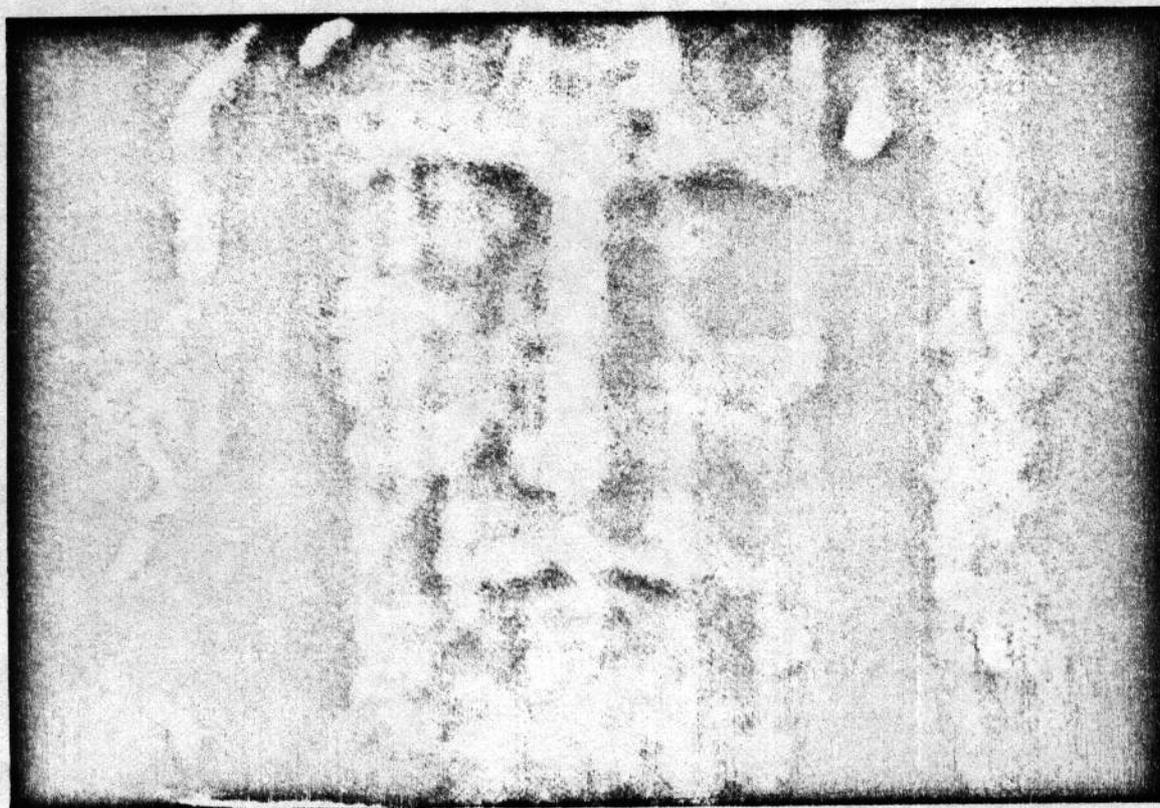


Fig. 6. - Esaltazione dell'immagine di fig. 4 con filtro mediano separabile (7×7).

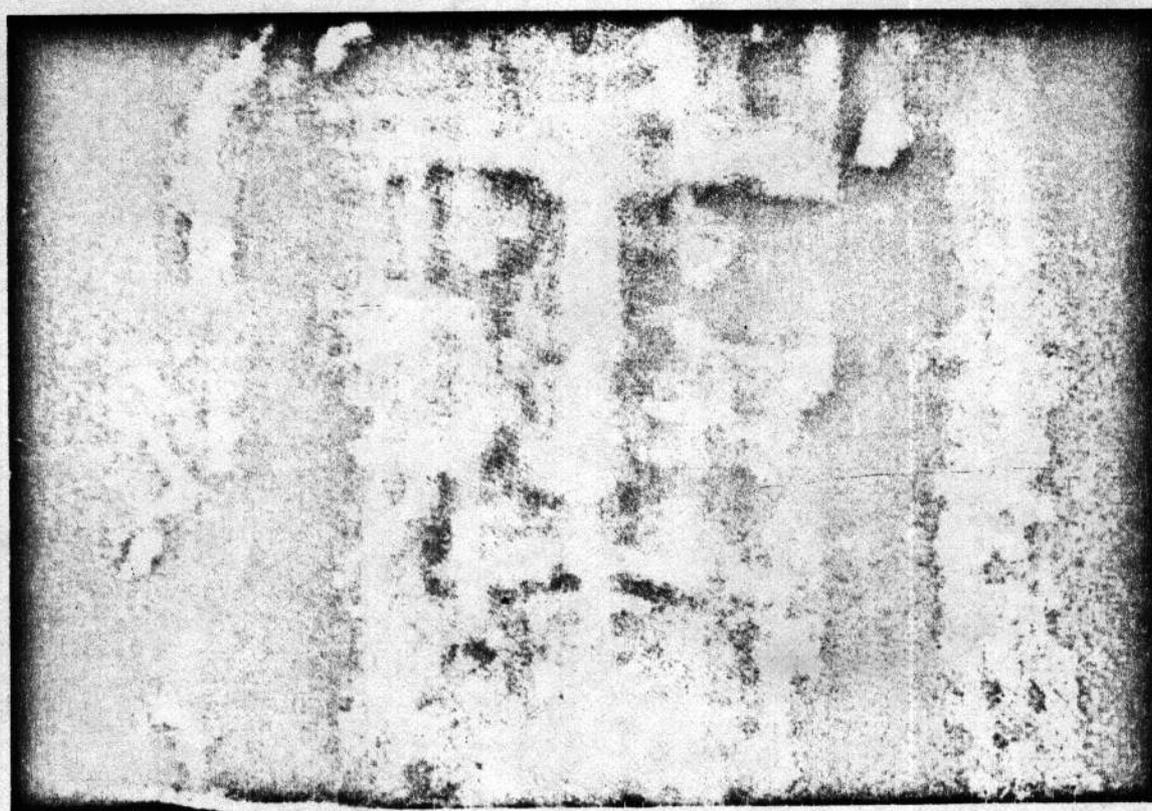


Fig. 7. - Riduzione del rumore di alta frequenza con filtro ricorsivo passa-basso.

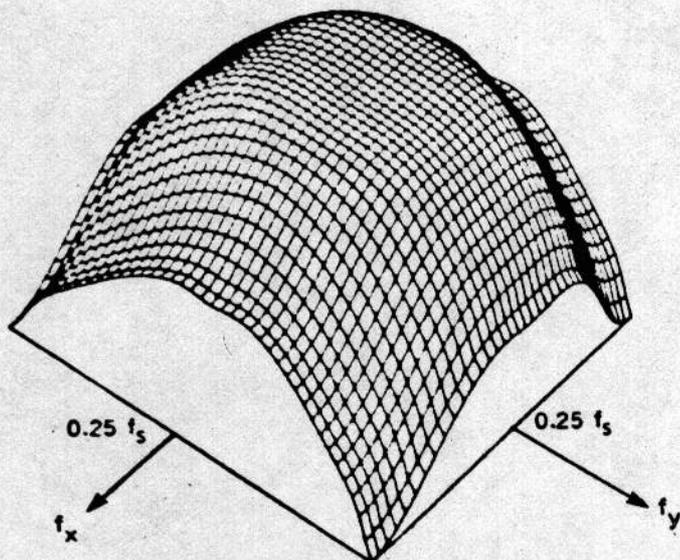


Fig. 8. — Risposta in frequenza del filtro ricorsivo a semipiano con frequenza di taglio $f = 0.25 f_s$ (f_s = frequenza di campionatura), in funzione delle due componenti f_x e f_y della frequenza bidimensionale.

gli insiemi sfumati (fuzzy set) applicandola al processamento tridimensionale del volto. Infatti, è ovvio che la faccia sotto il lenzuolo doveva appartenere all'insieme sfumato praticamente costituito da tutti i possibili volti umani.

È anche evidente che la definizione di «possibile volto umano» deve essere data secondo la valutazione dell'intelligenza umana.

Così si può ipotizzare una trasformazione con la quale ad ogni possibile volto umano può corrispondere un'immagine su un lenzuolo, originata dallo stesso processo che ha dato luogo alla formazione dell'immagine sindonica.

Per questa trasformata, che chiameremo Sindonica e che indicheremo con S , si potrà scrivere:

$$i(u, v) = S[d(x, y)] \quad (3)$$

È evidente che S non è nient'altro che il funzionale della (2). Ad un determinato volto umano corrisponde evidentemente, se è definito il processo di formazione dell'immagine, un'unica immagine sul lenzuolo. Non è invece in generale vero il viceversa, a meno che sia nota l'intensità di emanazione della pelle; infatti se, per esempio, S si riduce ad una semplice funzione bidimensionale di x, y , un diverso valore dell'emanazione della pelle potrà essere compensato, con una diversa distanza dei punti dal lenzuolo.

In prima approssimazione la (3) potrà essere scomposta nella somma di una funzione (1) e di un funzionale che tenga conto del contributo all'intensità di un punto dell'immagine dovuto a tutti gli altri punti dal corrispondente punto della pelle sulla stessa retta verticale, e quindi potremo scrivere:

$$i(u, v) = f[d(u, v)] + F[d(x, y)]_{x, y, \dots} \quad (4)$$

L'apporto del funzionale F potrà essere ottenuto con una certa approssimazione mediante un filtro disposto in parallelo od in cascata.

Infatti l'elevata definizione dei particolari dell'immagine sindonica è indice di una ridotta interferenza su un dato punto da parte degli altri punti. Perciò il funzionale F dà un contributo piuttosto ridotto che può essere considerato formalmente uguale per ogni punto u, v . Ne consegue che se si assume per F una forma integrale, il contributo del punto u, v è trascurabile, essendo infinitesimo, e che F può essere

rappresentato, usando metodi classici, con una certa approssimazione dalla funzione di un filtro numerico bidimensionale.

Il problema della presentazione tridimensionale consiste però nell'effettuare la trasformata inversa della (2) e cioè nel compiere l'operazione:

$$d(u, v) = S^{-1}[i(x, y)]$$

Anche questa operazione inversa può essere scomposta nella somma di una funzione g e di una funzionale G e cioè:

$$d(u, v) = g[i(u, v)] + G[i(x, y)]_{x, y, \dots}$$

e quindi anche G con una certa approssimazione potrà essere attuato mediante un filtro analogico o numerico.

Mediante G si può tenere conto non soltanto dell'interferenza su un dato punto dovuta agli altri punti, ma anche delle irregolarità dell'immagine (per il progetto di questo filtro si veda per esempio, [18] + [20]). Quest'ultima operazione di filtraggio (smoothing) è importante per migliorare la regolarità e la definizione dell'immagine. Si è riscontrato che un filtro numerico bidimensionale di tipo esponenziale dà i migliori risultati.

Volendo effettuare il calcolo delle intensità dell'immagine in modo numerico conviene rappresentare la distanza verticale dei vari punti, per esempio il volto, mediante una matrice rettangolare D con i termini disposti in modo corrispondente alla posizione geometrica dei punti sul lenzuolo disteso. A questa matrice D si farà corrispondere la matrice I delle intensità dell'immagine dei punti stessi mediante una funzione σ , che chiameremo Sindoniano.

Si può quindi scrivere:

$$I = \sigma(D)$$

Il Sindoniano risulta relativamente complesso poiché alla formazione di un punto dell'immagine contribuiscono tutti i punti della pelle sottostante e cioè il termine generico, $i_{n,m}$ della matrice I è legato a tutti i termini della matrice D , di cui indichiamo il termine generico con $d_{r,s}$, dalla combinazione:

$$i_{n,m} = \sum_{r,s} p_{r,s,n,m} f(d_{r,s,n,m}) \quad (5)$$

dove $f(d_{r,s,n,m})$ è il contributo che darebbe all'intensità dell'immagine del punto di coordinate n, m sul piano del lenzuolo disteso, un punto avente la distanza verticale $d_{r,s,n,m}$ relativa alla stessa quota del punto di coordinate r, s disposto secondo la verticale di n, m e $p_{r,s,n,m}$, sono coefficienti, minori di uno, che tengono conto della distanza dei due suddetti punti sul piano orizzontale della forma del volto.

L'operazione inversa della (5) e cioè il Sindoniano inverso, è ancora più complessa, tuttavia, analogamente alla (4), può essere con buona approssimazione scomposta nella somma di due termini di cui il primo è costituito dal calcolo della distanza corrispondente all'intensità luminosa del punto dell'immagine che si trova sulla stessa verticale passante sul punto della pelle ed il secondo rappresenta la correzione da introdurre in base alla luminosità degli altri punti dell'immagine. Si può quindi scrivere:

$$d_{r,s} = g(i_{n,m}) + G(i_{r,s})_{r,s, \dots} \quad (6)$$

Il Sindoniano rappresenta una trasformazione che può avere applicazioni anche diverse dallo studio della Sindone in quanto consente di memorizzare in forma bidimensionale

una immagine tridimensionale, che può essere successivamente ricavata mediante il Sindoniano inverso.

Il Sindoniano dipende ovviamente dal processo di formazione dell'immagine ipotizzato e poiché nel caso della Sindone questo processo non è ancora stato determinato né fisicamente né matematicamente in modo esatto, essendo la funzione riportata in [3] soltanto approssimata, si è ritenuto di usare un'espressione generalizzata atta a rappresentare un qualunque processo in cui l'intensità dell'immagine sia una funzione regolare decrescente della distanza del punto sottostante.

A tale scopo si è considerata in luogo della variabile d la variabile $\delta = d_v - d$ dove d_v è la massima distanza considerata dal lenzuolo.

In tal modo la variabile δ , che chiameremo più propriamente vicinanza, risulterà una funzione crescente dell'intensità luminosa dell'immagine e per essa il primo termine della (6) potrà essere rappresentato in modo generale mediante uno sviluppo in serie di Mc Laurin.

Si è però trovato che i termini del polinomio con grado più alto del secondo possono essere trascurati in quanto essi non hanno una sensibile influenza sulla fisionomia e la definizione dei particolari.

Si potrà quindi scrivere:

$$\delta_{n,m} = k_1 i_{n,m} + k_2 i_{n,m}^2 + k_3 i_{n,m}^3 + \dots H(i_{n,m}) \cong (7) \\ \cong k_1 i_{n,m} + k_2 i_{n,m}^2 + H(i_{n,m})$$

dove k_1 e k_2, \dots sono i coefficienti dello sviluppo in serie di Mc Laurin e H è il funzionale equivalente di G per la variabile δ .

H può essere con buona approssimazione attuato con un filtro numerico. L'elaborazione tridimensionale può essere effettuata secondo lo schema a blocchi indicato in Fig. 9, in cui i valori $i_{n,m}$ vengono dapprima trasformati mediante lo sviluppo in serie di Mc Laurin e successivamente elaborati dal filtro numerico.



Fig. 9. - Schema a blocchi della relazione matematica fra intensità luminosa e rilievo.

La determinazione dei parametri che entrano negli sviluppi analitici precedenti è stata fatta imponendo che il volto risultante fosse appartenente all'insieme sfumato costituito dai volti umani regolari, e che la definizione dei particolari fosse la massima possibile. Queste condizioni non sono sufficienti a determinare esattamente un volto unico poiché la definizione può essere mantenuta massima al variare, entro certi limiti dell'entità del rilievo; tuttavia si può tener presente che l'insieme sfumato di tutti i volti umani regolari possibili è dall'intelligenza umana scomposto nei sottoinsiemi sfumati (fuzzy subsets) dei volti umani aventi la stessa fisionomia ed in proposito abbiamo constatato che comunque variavano i parametri in gioco mantenendo la massima definizione, la fisionomia del volto ottenuta non mutava.

Conseguentemente il problema si è ridotto a scegliere definitivamente i parametri in modo che i linea-

menti avessero dimensioni medie tra le minime e le massime accettabili dall'intelligenza umana, dato che in questo modo si viene evidentemente a trovare in una condizione prossima a quella reale. La rappresentazione dell'immagine tridimensionale richiede anche di introdurre una adeguata illuminazione dell'immagine stessa. Nel caso della Sindone questo problema è particolarmente importante data l'incompletezza dell'immagine bidimensionale. Abbiamo pertanto scelto una illuminazione adatta in modo che tutti i particolari risultassero adeguatamente in evidenza.

Nelle suddette elaborazioni numeriche tridimensionali si è sempre supposto che il lenzuolo avesse un'adeguata curvatura e cioè che avesse la forma di una superficie curva regolare con una certa pendenza tra il naso e la fronte ed il contatto con i punti del corpo di massima intensità luminosa.

È stato sviluppato un programma su microcalcolatore per la visualizzazione su terminale video grafico di questo rilievo, tenendo conto della sagomatura della tela sul volto.

Il risultato della nostra elaborazione è riportato in Fig. 10 in cui sorprendentemente sono apparsi un rilievo ovunque regolare ed una definizione alquanto elevata.

Si è inoltre rilevato che la fisionomia non muta sostanzialmente anche peggiorando la definizione entro certi limiti a parità del valore massimo del rilievo. Per dimostrare questa proprietà si sono variati i parametri k_1 e k_2 mantenendo costante il massimo rilievo dell'immagine di Fig. 10, e cioè in modo che:

$$k_1 i_v + k_2 i_v^2 = \text{cost}$$

dove i_v è il massimo valore di $i_{n,m}$.

In tal modo variando il rapporto $\frac{k_2}{k_1}$ dal suo valore

ottimo, e cioè $-0,1$, a $0,5$ si è ottenuta l'immagine di Fig. 11 con la fisionomia immutata.

La parte più intensa dell'immagine sulla Sindone corrisponde ai rivoli e ai grumi di sangue che coprono quasi completamente la parte anteriore del volto. La rimanente parte sottostante dà ancora luogo al rilievo tridimensionale, ma l'impressione sulla tela è meno intensa anche causa la maggiore distanza. Perciò dovrebbero essere considerate due differenti leggi di impressione del lenzuolo corrispondenti alle due parti coperte e non coperte con rivoli e grumi di sangue, come indicato in Fig. 12.

Ovviamente questa soluzione darebbe luogo a qualche problema di continuità, ma fortunatamente il passaggio dall'una all'altra delle suddette due parti avviene a un livello quasi costante e quindi, come indicato dalla curva a tratti della fig. 12, si potrebbe usare un'unica curva. Tuttavia, come sopraddetto, la funzione parabolica, qualitativamente indicata con la linea punteggiata di fig. 12, dà già buoni risultati che sostanzialmente non possono essere migliorati.

Nella Fig. 13 è riportato il volto della Fig. 10 visto frontalmente.

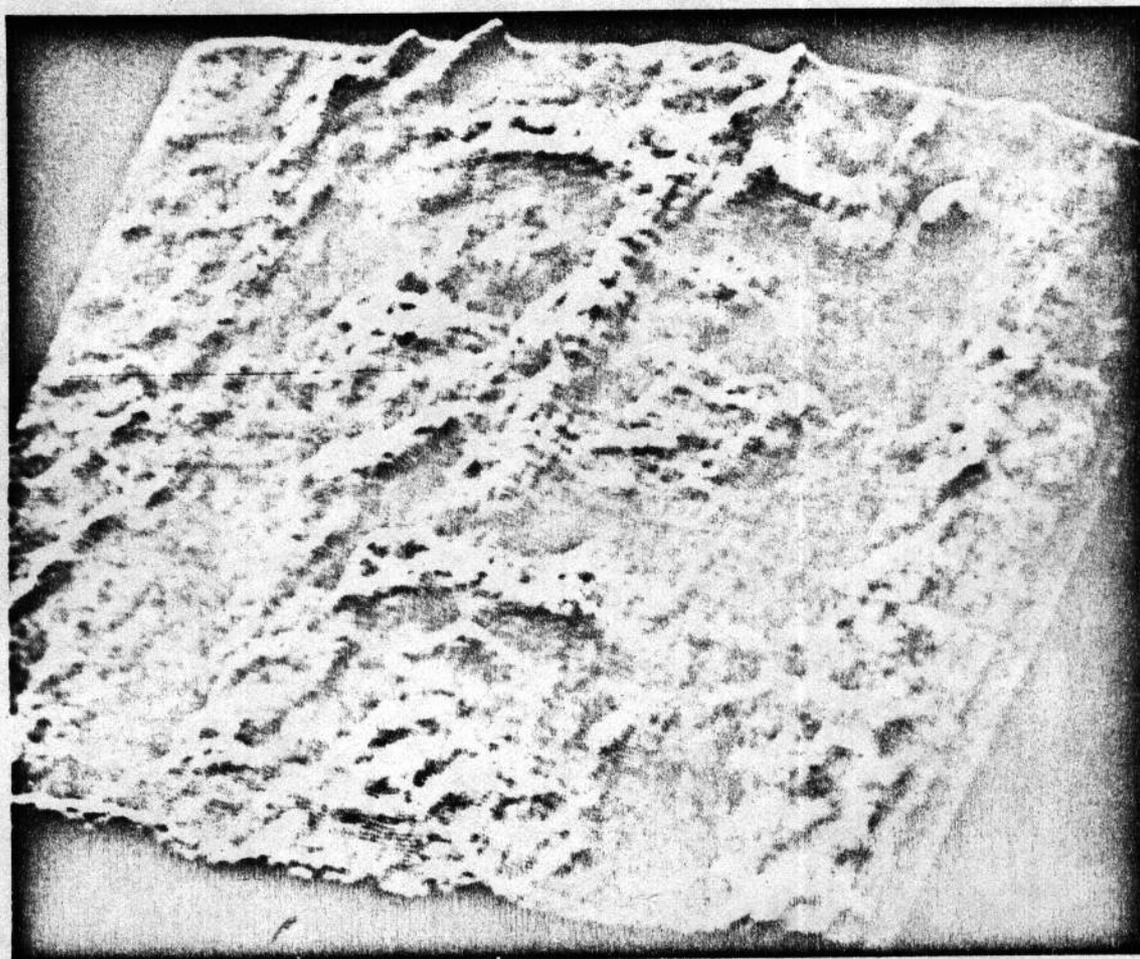


Fig. 10. - Rilievo tridimensionale del volto della Sindone partendo dall'immagine di fig. 5.

5. - ELABORAZIONE NUMERICA DELL'IMMAGINE DEL CORPO.

Con la stessa tecnica sopra illustrata è stata effettuata l'elaborazione dell'immagine del corpo.

Si è innanzitutto effettuata l'elaborazione dell'immagine bidimensionale in modo da eliminare il più possibile i disturbi.

Successivamente si è introdotto il rilievo con la legge di compromesso diversa da quella rappresentata in

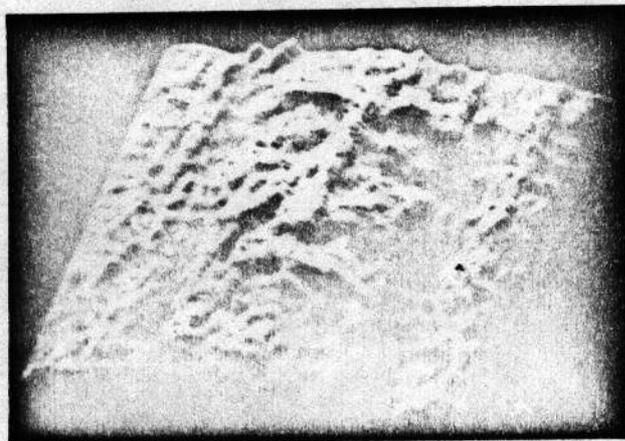


Fig. 11. - Rilievo tridimensionale della Sindone ottenuto da una funzione per il rilievo diversa da quella di fig. 10. Questa funzione è probabilmente meno corretta ma la fisionomia è ancora invariata.

Fig. 12 per il volto, data la diversa distribuzione del sangue nelle rimanenti parti del corpo.

Si è ottenuta in tal modo l'immagine in rilievo del corpo rappresentata in Fig. 14, in cui le suddette leggi di compromesso sono state usate separatamente per il volto e per la rimanente parte del corpo.

Come si può notare nell'introdurre il rilievo è stato possibile ridurre l'influenza delle macchie del lenzuolo-

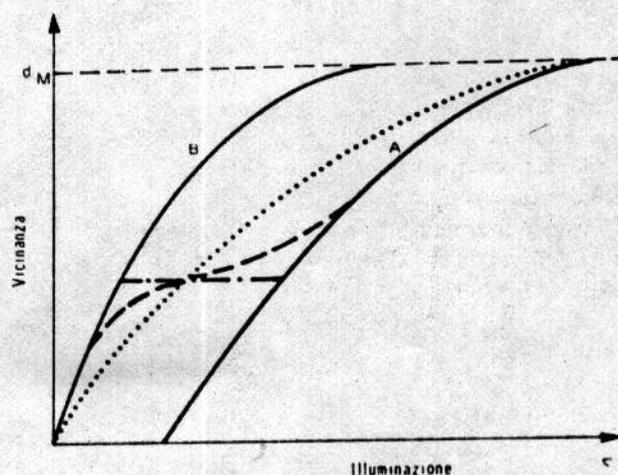


Fig. 12. - Andamento qualitativo delle due funzioni illuminazione-vicinanza per le zone coperte con rivoli e gocce di sangue (A) o le zone non coperte. La linea tratteggiata rappresenta un'ideale funzione di compromesso, mentre la curva punteggiata rappresenta una pratica funzione di compromesso.

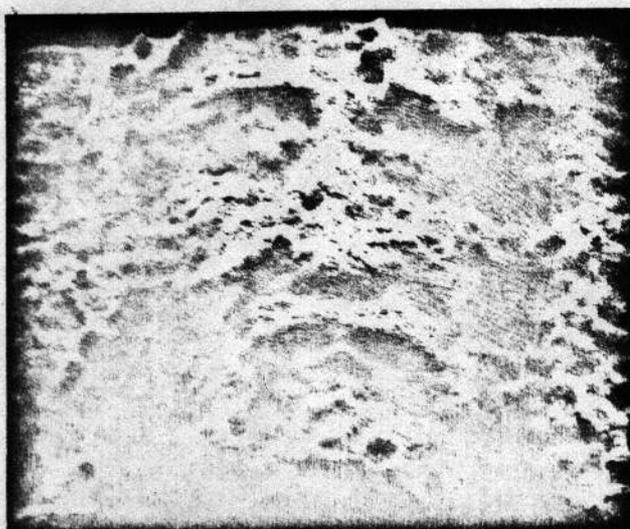


Fig. 13. - Immagine tridimensionale del volto della fig. 10 visto frontalmente.

lo che avrebbero prodotto dei rilievi fittizi dannosi all'immagine. La grande ferita del costato è stata opportunamente suturata perché avrebbe dato luogo ad un rilievo eccessivo (fig. 14, punto 22). Si noti come la definizione dell'immagine di fig. 14 risulti tale da distinguere chiaramente le dita delle mani.

L'immagine tridimensionale del corpo risulta evidentemente meno regolare di quello del volto perché la distribuzione del sangue sul corpo risulta molto più disuniforme, probabilmente anche a causa del parziale assorbimento degli abiti. Ciò nonostante taluni particolari in rilievo del corpo risultano di un certo interesse, come per esempio l'impronta in rilievo dell'ombelico [25].

6. - VOLTO NATURALE DELLA SINDONE.

La presenza delle ferite e dei rivoli di sangue nell'immagine tridimensionale di Fig. 10 viene eviden-

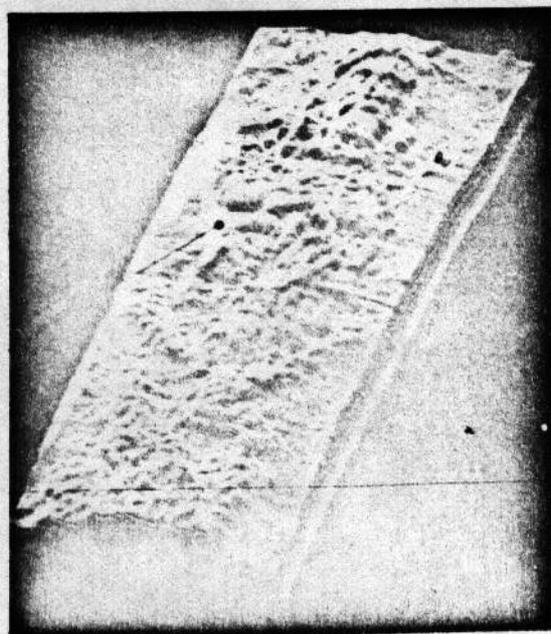


Fig. 14. - Rilievo tridimensionale del corpo della fig. 12.

temente a deturpare la bellezza del volto dell'Uomo della Sindone.

Si è ritenuto quindi interessante tentare di risolvere il problema di eliminare dall'immagine le ferite e le tracce di sangue in modo da ottenere il più possibile un volto naturale e cioè quello che era molto probabilmente il volto naturale di Gesù Cristo prima della passione.

Mediante un adeguato processo di elaborazione è stato possibile sfruttare la diversità delle proprietà statistiche delle immagini delle ferite e delle tracce di sangue rispetto a quelle dei lineamenti del volto.

Ciò ha consentito di eliminare tutte le ferite più piccole del volto e di attenuare in parte quelle più grandi. Si è ottenuta in tal modo l'immagine riportata in Fig. 15.

Si noti come i lineamenti risultino molto nitidi e purificati; in particolare il naso risulta senza ferite, la fronte in gran parte liscia, le sopracciglia e le palpebre ben definite ed i capelli quasi fluenti.

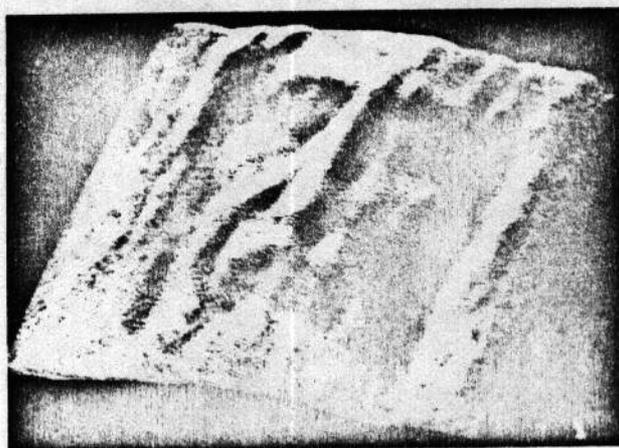


Fig. 15. - Rilievo tridimensionale del volto della Sindone dopo aver smussato le brusche transizioni con un filtro ricorsivo. Questo volto è probabilmente assai prossimo a quello naturale di Gesù Cristo.

Si potrebbe altresì notare che questo bellissimo volto corrisponde ancora ad un uomo non molto giovane. Ma si tratta di un effetto dell'uniformità del colore, poiché se si prova a scurire la barba ed i capelli ne risulta il volto di un uomo molto giovane, per il quale un'età di 33 anni risulta alquanto possibile. Ciò risulta evidente dalla Fig. 16, che, per la maggior verosimiglianza del colore è da ritenersi ancora più vicina al vero volto dell'Uomo della Sindone, si può ritenere che tale immagine sia la probabile fotografia di Gesù Cristo. Si noti che la Fig. 16 è la prima immagine ottenuta in cui il volto della Sindone risulta sicuramente quello di un uomo giovane. Si può ancora osservare che nell'immagine della Fig. 16 sono rimaste le tracce delle grandi ferite e che se l'Uomo della Sindone fosse stato anziano sarebbero rimaste in evidenza pure le grandi pieghe provocate sul volto dalla vecchiaia; viene quindi a cadere una delle principali obiezioni degli oppositori della Sindone, secondo cui l'Uomo della Sindone non poteva essere quello di Gesù Cristo perché tutte le immagini del volto finora ottenute risulta-



Fig. 16. - Rilievo tridimensionale del volto della Sindone dopo aver smussato le brusche transizioni con un filtro ricorsivo, ed aver introdotto verosimili scurimenti nella barba, nei capelli e nelle sopracciglia. Questo volto è probabilmente ancora più prossimo del precedente a quello naturale di Gesù Cristo.

vano quelle di un uomo apparentemente anziano. Nella Fig. 17 è riportato il volto della Fig. 15 visto frontalmente.

7. - ANALISI DELLE IMMAGINI OTTENUTE.

Il calcolatore, dandoci l'immagine tridimensionale della Sindone, ha consentito di rivelare numerosi dettagli e particolari che nelle immagini bidimensionali originali non sono riscontrabili oppure lo sono in modo dubbio.

Poiché queste nuove scoperte sono risultate conformi ai racconti del Vangelo l'autenticità della Sindone ne è risultata sensibilmente rafforzata.

Si può infatti leggere sulla Sindone, con l'ausilio dei dati forniti dal calcolatore, quasi tutta la passione dell'Uomo della Sindone, conformemente ai Vangeli. Naturalmente questa va intesa in termini probabilistici, poiché, mentre dettagli e particolari sono di per sé evidenti, la loro interpretazione non può essere, dopo 2000 anni, che ipotetica o al più probabile.

Ma può essere interessante elencare innanzitutto i dati nuovi forniti dal calcolatore, distinguendoli tra



Fig. 17. - Rilievo della fig. 15 su una superficie orientata verticalmente.

dati presumibilmente inediti e dati già riscontrati sulle immagini bidimensionali, ma in modo dubbio. Tra i primi possiamo elencare (i numeri indicano i particolari stessi sull'immagine del volto in Fig. 18 e del corpo in Fig. 14):

- Il sangue presente sull'intero volto. Ciò è una logica conseguenza della presenza di una terza dimensione corrispondente ad un'unica legge di trasformazione in tutti i punti del volto, anche se non coperto da rivoli e grumi di sangue;
- Rivoli e grumi di sangue in gran parte inediti e tutti fluenti nella parte anteriore o verso la parte anteriore del volto e nei capelli;
- Il grumo di sangue inciso disposto sulla guancia sinistra vicino alla narice sinistra (1);
- La traccia che partendo dal lato destro dei capelli prosegue leggermente sulla guancia destra, sul naso e termina sul suddetto grumo (2);
- La tumefazione sullo zigomo destro (3);
- Le incisioni sullo zigomo sinistro (4);
- Il grumo rugato sulla palpebra sinistra (5);
- I due rivoli di sangue uscenti dal naso (6);
- La goccia di sangue sotto il labbro superiore (7);
- La goccia di sangue, nitidamente stereoscopica, sul lato destro del labbro superiore (8);
- La goccia di sangue a forma appuntita sulla narice destra (9);
- Il grumo di sangue sul lato destro del labbro superiore (10);
- Il grumo di sangue sul lato sinistro del labbro superiore (11);
- Il grumo di sangue sul labbro inferiore sottostante la goccia di sangue cadente dalla parte centrale del labbro superiore (12);
- La forma ripidamente cadente dei due rivoli di sangue sul lato sinistro del labbro inferiore (13);
- I due fori disposti lateralmente al naso (14);
- L'incisione sul naso in corrispondenza ai suddetti due fori (15);
- L'ammaccatura sopra la punta del naso (16);
- La leggera deviazione della punta del naso (17);
- Le gocce di sangue sul lato destro della barba (18);
- Il rilievo del pollice della mano sinistra sull'immagine tridimensionale del corpo (21).

Tra i secondi possiamo elencare:

- Il solco sulla guancia destra corrispondente alla traccia di un colpo di bastone (19);
- L'impronta circolare sulla palpebra destra dovuta probabilmente ad una moneta (20).

Con l'intesa che quanto segue deve essere considerato in modo ipotetico e probabilistico, con l'ausilio delle immagini ottenute il martirio dell'Uomo della Sindone può essere così dedotto:

- L'Uomo della Sindone ha sudato sangue, come dimostrato dalla presenza del sangue in tutti i punti

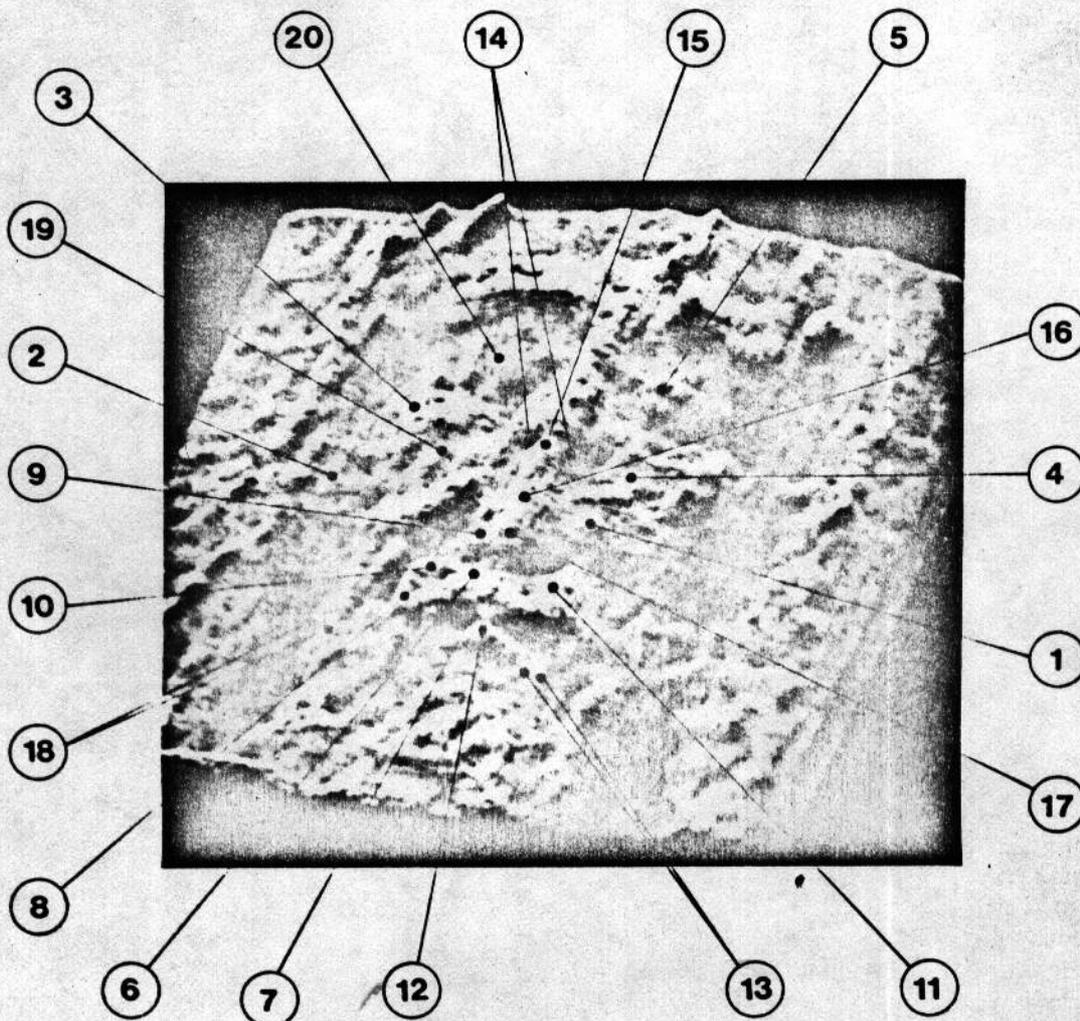


Fig. 18. - Immagine del volto della fig. 10 con riferimenti sui particolari.

del suo volto. Quindi l'Uomo della Sindone ha subito gravi percosse, quali le numerose fustigazioni riscontrabili sull'immagine del corpo, il colpo di bastone riscontrabile sulla guancia destra (v. (19)) e sul naso (v. (15)), il colpo o i colpi sullo zigomo destro, evidentemente tumefatto (v. (3)). Conseguentemente ha subito la rottura del setto nasale che risulta deviato e con due buchi disposti lateralmente (v. (14)); il naso ha perso sangue (v. (6)) che è gocciolato dal labbro superiore (v. (7)) formando un grumo sul labbro inferiore (v. (12)).

— L'Uomo della Sindone ha quindi cominciato il cammino verso la crocifissione portando, come risulta dalle impronte sul lenzuolo sindonico, la croce sulla spalla destra; ad un certo momento è caduto battendo per terra la guancia sinistra, che è rimasta incisa dal pietrisco (v. (4)), gli aculei della corona di spine si sono incisi nella pelle sul lato sinistro della fronte generando appunto in quel momento, non molto prima della crocifissione, il rivolo di sangue discendente sul lato sinistro del volto ed altri rivoli che hanno inondato i capelli. Il suddetto rivolo ha formato un grumo sulla palpebra sinistra (v. (5)), il grumo vicino alla narice si-

nistra (v. (1)) e quello sulla parte sinistra del labbro superiore (v. (11)).

Quest'ultimo grumo ingrossandosi ha assunto una forma appuntita che ha funzionato da spartiacque ed ha suddiviso il rivolo di sangue nei due rivoletti cadenti sul lato sinistro del labbro inferiore (v. (13)).

— L'Uomo della Sindone è stato crocifisso, come risulta dall'impronta dei chiodi sui polsi e sui piedi, e dopo un certo tempo ha reclinato il capo verso destra e ciò ha fatto deviare il suddetto rivolo sulla parte destra del volto (v. Fig. 18) e lo ha fatto scendere sul lato destro del naso fin sulla narice destra (v. (9)) da dove il sangue è gocciolato sul lato destro del labbro (v. (10)) e da questo è gocciolato sulla barba sottostante (v. (8)). Il grumo di sangue sulla palpebra di sinistra è rimasto corrugato (v. (5)) dal movimento della palpebra e poichè quando l'Uomo della Sindone ha reclinato il capo il rivolo di sangue è deviato, il sangue non ha coperto le rughe del grumo; il grumo stesso è rimasto tuttavia piuttosto grande e tale da incollare le palpebre dell'occhio sinistro.

- L'inclinazione della goccia che appare sul lato destro del labbro (v. (8)) dà l'inclinazione del volto prima della morte; anche gli altri rivoli di sangue deviano verso destra come si vede chiaramente dalla fig. 18.
- Una persona con una spugna imbevuta di aceto infilata sulla punta di un ramo di issopo ha dato da bere all'Uomo della Sindone; infatti si noti l'incisione del grumo sul lato sinistro della guancia (v. (1)).
Questa incisione ha una parte superiore rettilinea, che può corrispondere alla parte piana della punta del ramo di issopo, prodotta dal taglio con un falchetto, ed una parte inferiore curva, che può corrispondere alla parte cilindrica della punta stessa. Si noti inoltre la traccia che partendo dal lato destro dei capelli (v. (2)) prosegue leggermente sulla guancia destra e sul naso e termina su tale grumo e che sta ad indicare come la punta del ramo di issopo sia stata inizialmente appoggiata sul lato destro dei capelli e fatta scorrere fino a portare la spugna sulla bocca dell'Uomo della Sindone e quindi a produrre la suddetta incisione del grumo di sangue.
- La goccia che scende dalla narice è l'ultima che si è formata ed è fortemente inclinata verso destra (v. (9)). Infatti con la morte i muscoli del collo si sono completamente rilassati e il capo si è ulteriormente reclinato. Tale goccia risulta molto appuntita poiché, venendo a cessare gradualmente il flusso del sangue la sua sezione è andata via via riducendosi, senza che il peso diventasse sufficiente per la sua caduta. Questo particolare prova quindi la morte sulla croce.
- Per assicurarsi della morte dell'Uomo della Sindone un soldato lo ha colpito con un colpo di lancia nel costato destro, come risulta nella Fig. 14 (v. (22)), provocando la fuoriuscita di acqua e sangue.
- La morte sulla croce è anche confermata dal fatto che tutti i rivoli di sangue sono disposti nella parte anteriore del volto e nessuno di essi è diretto verso la parte posteriore dove sarebbero sicuramente giunti se l'Uomo della Sindone avesse ancora perso sangue dopo la deposizione. Per mantenere anche la palpebra destra chiusa all'Uomo della Sindone, è stata posta una moneta sulla palpebra stessa, come risulta dall'impronta circolare che si vede chiaramente nella Fig. 18 (v. (20)). La moneta deve essere stata successivamente tolta in modo che la sua impronta abbia potuto impressionare il lenzuolo.

8. - ORIGINE DELL'IMMAGINE SINDONICA.

La trasformazione che ha conseguito di ottenere l'immagine tridimensionale di fig. 10 a elevata definizione può essere utile anche per scoprire il fenomeno fisico che ha prodotto l'immagine sindonica. Infatti un fenomeno fisico che sia in grado di produrre un'impronta, da cui con la stessa trasformazione matematica usata per ottenere l'immagine di Fig. 10 si

riottienga l'immagine tridimensionale del corpo che ha prodotto l'impronta, è evidentemente da considerarsi come quello che, con elevata probabilità, ha prodotto l'immagine sindonica.

In proposito si osserva che i fenomeni fisici finora presi in considerazione per determinare l'origine dell'immagine sindonica sono essenzialmente tre: il contatto, l'evaporazione e l'irradiazione. Sembra quindi ovvio ricercare, utilizzando la trasformazione da noi ottenuta, il fenomeno tra i tre suddetti. Questa ricerca conduce abbastanza rapidamente al risultato; infatti la funzione parabolica (8), riportata qualitativamente nella Fig. 18, è, nel suo tratto iniziale, lineare, nonostante che la fotografia abbia introdotto sicuramente una certa non linearità.

Questa osservazione suggerisce che il fenomeno fisico ricercato potrebbe essere di tipo elastico, poiché, come sappiamo, le deformazioni elastiche in prima approssimazione sono proporzionali alla forza che le produce. Dei tre fenomeni suddetti il contatto sembra quindi quello più aderente a questa legge, poiché si può pensare che il lenzuolo abbia toccato, con il passare del tempo, praticamente tutti i punti del volto con una pressione tanto più forte quanto più elevato era il rilievo e che a questa pressione sia corrisposta, in modo approssimativamente lineare, una leggera deformazione della pelle ed una corrispondente impregnazione del tessuto. Naturalmente la distanza d della (6) è da considerarsi rispetto ad un lenzuolo che tocchi il volto soltanto nei punti di massima intensità.

Si potrebbe anche considerare l'ipotesi di una formazione mista e cioè dovuta in certe zone al contatto ed in certe altre all'evaporazione: si osserva però in proposito che i due fenomeni sono completamente diversi e quindi avrebbero dato luogo ad una certa discontinuità nella formazione dell'immagine, che, usando la legge di Fig. 15, avrebbe prodotto una corrispondente discontinuità dell'immagine tridimensionale (?). Come si può rilevare dalla fig. 10 tale discontinuità assolutamente non esiste e quindi si può concludere che il fenomeno fisico che ha formato la Sindone deve essere stato uguale in tutti i punti.

D'altra parte soltanto talune immagini ottenute per contatto sembrano avere una regolarità ed una definizione tali da consentire l'ottenimento di una immagine tridimensionale; basta in proposito esaminare le immagini ottenute dal Colson, mediante l'evaporazione di vapori di zinco, v. Fig. 19 e quelle ottenute da Baima Bollone [17], per irradiazione calorifica, per renderci conto che l'elaborazione tridimensionale di tali immagini è praticamente inutile (?). Tuttavia un limitato contributo di altri fenomeni, tali da non alterare sensibilmente la definizione dei particolari, non è ovviamente del tutto da escludere.

(?) Anche l'ipotesi di un'impronta dovuta all'azione contemporanea del contatto e dell'evaporazione non sembra attendibile, poiché l'autore ha constatato personalmente come una miscela di sangue di bue, aloè e mirra portata all'evaporazione con i suoi vapori produce una impressione su un telo di lino sovrastante praticamente insignificante.

(*) È facile constatare teoricamente che l'evaporazione e l'irradiazione danno luogo ad immagini completamente sfocate.

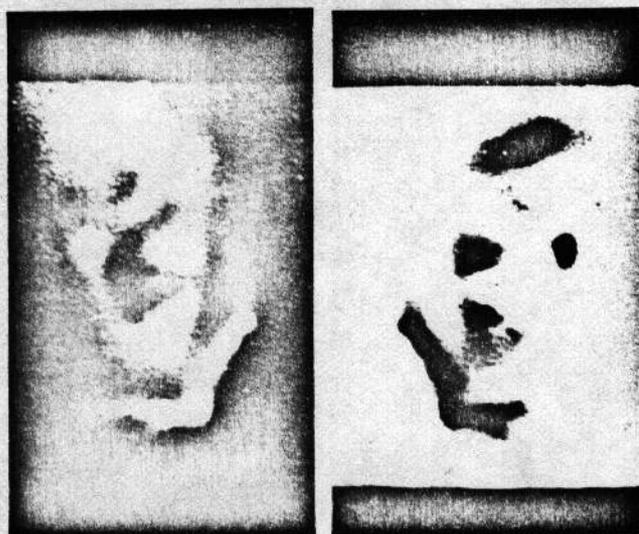


Fig. 19. - Immagini ottenute da Colson mediante preparazione di vapori di zinco; a) positivo, b) negativo.

L'immagine tridimensionale indica chiaramente la posizione dei rivoli e dei grumi di sangue e quindi la disposizione del sangue sul volto usato per ottenere l'impronta deve essere conforme a quella indicata dall'immagine tridimensionale.

Tra le impronte forniteci recentemente, con relativa fotografia del corpo tridimensionale che è servito a

formarla, ci è sembrata particolarmente interessante quella di Don Intrigillo, riportata in Fig. 20 che abbiamo sottoposto ad elaborazione tridimensionale con la stessa tecnica usata per la Sindone.

Naturalmente abbiamo dovuto ritoccare alcuni parametri poichè l'intensità luminosa e il contrasto dell'immagine di Fig. 20 sono diversi da quelli della Sindone.

Inoltre prima di introdurre la terza dimensione è risultato opportuno effettuare un'operazione di pulizia dell'immagine bidimensionale mediante un filtro mediano avente una finestra ottimizzata di 5×5 , in luogo della finestra 7×7 usata per la Sindone, date le minori dimensioni della diapositiva. L'immagine tridimensionale ottenuta in tal modo è riportata in Fig. 21.

Questa immagine dimostra come nell'immagine ottenuta per contatto di Fig. 20 è approssimativamente presente l'informazione tridimensionale.

La presenza dell'informazione di rilievo in un'impronta ottenuta per contatto risulta così dimostrata con lo stesso procedimento usato per la Sindone.

Si può quindi concludere che allo stato attuale delle conoscenze l'immagine sindonica deve ritenersi ottenuta prevalentemente per contatto. A titolo di conferma di Fig. 22b è riportato il risultato dell'elaborazione tridimensionale dell'impronta di un volto ottenuta per parziale contatto dal dott. Rodante riportata in Fig. 22a. Soltanto le parti venute a contatto con la tela hanno dato luogo ad un rilievo tridimensionale.

In queste elaborazioni si è usata la stessa tecnica di illuminazione delle immagini tridimensionali, finora non esplicitata, usata per la Sindone. L'origine dell'immagine per contatto non è in contrasto con l'ipotesi dell'esistenza di una distanza della pelle dal lenzuolo, in quanto tale distanza è stata considerata rispetto al lenzuolo disposto nella posizione ideale di superficie regolare curva in contatto soltanto con i punti aventi massima intensità nella immagine sindonica.



Fig. 20. - Negativo dell'impronta di un volto insanguinato ottenuta da Don Intrigillo.

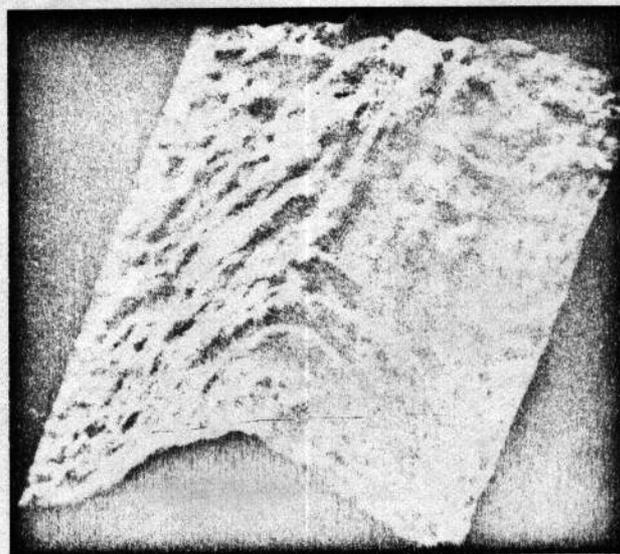


Fig. 21. - Elaborazione tridimensionale dell'immagine della fig. 20.

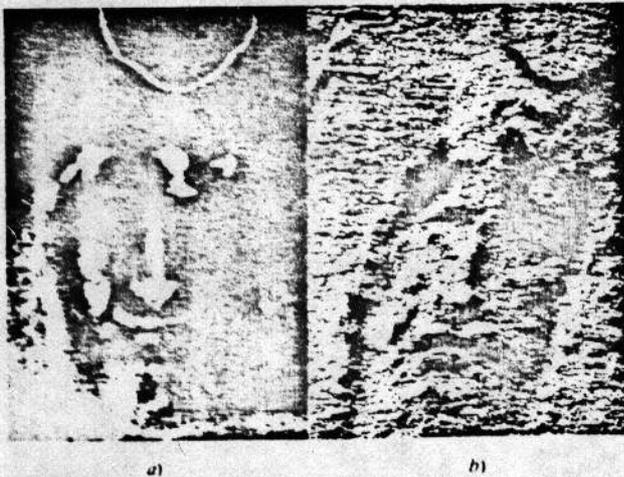


Fig. 22. - a) Impronta ottenuta dal dott. Rodante; b) Elaborazione tridimensionale dell'impronta a).

9. - VERIDICITÀ DELL'IMMAGINE TRIDIMENSIONALE SINDONICA.

Confrontando l'immagine della Fig. 21 rispettivamente con quella del volto tridimensionale usato per ottenere l'impronta, riportato in Fig. 22 si può rilevare come, con una certa approssimazione, l'elaborazione tridimensionale abbia consentito di ottenere da un'impronta l'immagine del volto tridimensionale che l'ha prodotto.

Supponendo di individuare tra i volti umani un certo numero di fisionomie tipiche e di classificare tutti i volti umani in insieme sfumati (fuzzy-sets) corrispondenti a tali fisionomie, possiamo pensare di considerare il volto della Fig. 21 come una fisionomia tipica.

Naturalmente ciascun volto umano sarà in genere classificabile in più di una fisionomia tipica con percentuali di appartenenza di valori diversi, valutabili approssimativamente dall'intelligenza umana.

In altre parole un determinato volto umano potrà essere considerato, per esempio, per il 60% appartenente ad una fisionomia tipica, per il 20% appartenente ad un'altra fisionomia tipica, e così di seguito fino ad un totale del 100%.

Poiché ci sembra di poter ritenere, con una valutazione approssimativa della nostra intelligenza, che i volti ottenuti dal calcolatore abbiano un coefficiente di appartenenza alla fisionomia tipica del volto tridimensionale originale maggiore del 50%, possiamo ragionevolmente concludere che la fisionomia del volto originale sono stati recuperati con buona approssimazione, dal calcolatore a partire dall'impronta ottenuta.

Occorre però osservare che nell'immagine sindonica si ha una distribuzione del sangue più uniforme di quella dell'immagine della Fig. 20 dove tra l'altro, una certa sfumatura è stata ottenuta ricorrendo ad una bagnatura della tela con la conseguente estensione del rilievo, ma con la riduzione della definizione dei particolari. Occorre inoltre ancora notare che l'elevata definizione dell'immagine sindonica tridimensionale di Fig. 10 è stata ottenuta soltanto elaborando una particolare diapositiva di Enrie, mentre da



Fig. 23. - Fotografia del volto che è servito per produrre l'immagine di fig. 20.

tutte le altre si è ottenuta un'immagine molto meno buona, del tipo di quella portata in Fig. 24 che è di qualità paragonabile a quella della Fig. 21. Inoltre, data l'importanza dell'immagine sindonica, la Fig. 10 è stata ottenuta attraverso numerose prove di sviluppo fotografico al fine di ottenere la massima definizione possibile.

Queste considerazioni fanno ritenere che le immagini tridimensionali delle Figg. 10, 15, 17 abbiano una corrispondenza con i volti originali alquanto più elevata di quella della Fig. 21. Ciò rimane confermato dalle qualità molto simili della fotografia del calco di Fig. 23, usato per ottenere l'impronta della Fig. 20 e dell'immagine sindonica scurita dalla Fig. 16.

CONCLUSIONI.

L'origine tridimensionale dell'immagine della Sindone è risultata pienamente confermata: il rilievo e la definizione dei particolari della Fig. 10 sono stati per

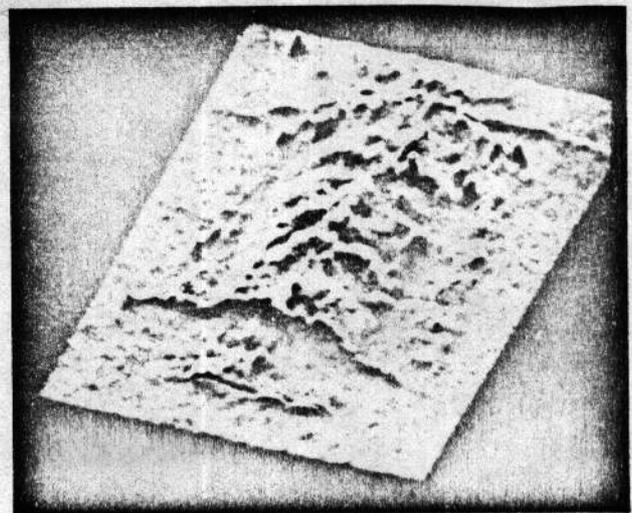


Fig. 24. - Elaborazione tridimensionale del volto sindonico ottenuta con la diapositiva diversa da quella usata per l'ottenimento della fig. 10.

noi semplicemente impressionanti, sia sotto l'aspetto umano che sotto quello scientifico [22].

Il fatto che taluni particolari siano emersi soltanto dopo l'elaborazione tridimensionale esclude definitivamente la possibilità di un qualunque intervento manuale nella formazione dell'immagine della Sindone.

Infatti, siccome il lenzuolo è ben conservato, è inconcepibile che i particolari significativi invisibili a occhio nudo e visibili soltanto dopo il processamento siano stati aggiunti sull'immagine.

Il calcolatore ha rivelato 20 particolari nuovi e ne ha confermati 2 che erano dubbi.

Tra i particolari nuovi, 7 costituiscono nuove corrispondenze con il Vangelo e precisamente [24]:

- 1) La scoperta del sangue sull'intero volto, corrispondente alle sudazioni del sangue di Cristo nell'orto del Getzemani;
- 2) La presenza di rivoli di sangue orientati soltanto verso la parte anteriore del volto corrispondente alla morte sulla croce indicata dal Vangelo;
- 3) La presenza della goccia di sangue pendente dalla narice destra con inclinazione più elevata ed avente forma conica, corrispondente ad una graduale cessazione del deflusso di sangue con il volto reclinato, cioè alla morte avvenuta sulla croce;
- 4) Il segno di un colpo di bastone sulla guancia destra e sul naso corrispondente alle percosse descritte dal Vangelo;
- 5) La tumefazione sullo zigomo destro, pure corrispondente alle percosse descritte dal Vangelo;
- 6) I due rivoli di sangue che escono dal naso, anch'essi corrispondenti alle predette percosse;
- 7) L'incisione del grumo vicino alla narice sinistra corrispondente alla presenza della punta di un ramo di issopo sul volto dell'Uomo della Sindone.

La probabilità dell'autenticità della Sindone risulta ovviamente aumentata da questi risultati forniti dal calcolatore [26], [27], [28], [29].

Si noti che la tecnica usata per ottenere l'immagine tridimensionale della Sindone potrebbe essere adoperata per ricavare una visione tridimensionale della parte di un corpo che ha prodotto un'impronta.

RINGRAZIAMENTI.

Ringrazio l'ing. Garibotto ed i suoi colleghi dello CSELT (sigg.ri: S. Garozzo, L. Lambarelli, R. Molpen, I. Pilloni, G. Piretta) per lo sviluppo e l'applicazione degli algoritmi bidimensionali.

Inoltre ringrazio Don P.C. Borqa per i suoi aiuti, consigli ed incoraggiamenti.

Manoscritto pervenuto l'8 ottobre 1982.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D.H. JANNEY: «Computer-aided image enhancement and analysis», in Proc. U.S. Conf. Shroud of Turin, Albuquerque, NM, Mar. 1977, pp. 146-153, Holy Shroud Guild, 294 E. 150 Street, Bronx, NY.
- [2] J.J. LORRE and D.J. LYNN: «Digital enhancement of images of the Shroud of Turin», in Proc. U.S. Conf. Shroud of Turin, Albuquerque, NM, Mar. 1977, pp. 154-181.
- [3] E. JUMPER, J. JACKSON and D. DEVAN: «Computer related investigations of the Holy Shroud», in Proc. U.S. Conf. Shroud of Turin, Albuquerque, NM, Mar. 1977, pp. 197-218.
- [4] J. JACKSON, E. JUMPER, B. MOJTERS and K. STEVENSON: «The three dimensional image on Jesus' burial cloth», in Proc. U.S. Conf. Shroud of Turin, Albuquerque, NM, Mar. 1977, pp. 74-94.
- [5] T.M. McCOWN: «Cloth-body distance of the Holy Shroud of Turin», in Proc. U.S. Conf. Shroud of Turin, Albuquerque, NM, Mar. 1977, pp. 95-109.
- [6] J.J. GERMAN, JR.: «An electronic technique for constructing an accurate three-dimensional shroud image», in Proc. U.S. Conf. Shroud of Turin, Albuquerque, NM, Mar. 1977, pp. 234-240.
- [7] J.W. TUKEY: «Nonlinear (nonsuperposable) methods for smoothing data», in EASCON Rec., 1974, p. 673.
- [8] L.R. RABINER, M.N. SAMBUR and C.F. SCHMIDT: «Applications of a nonlinear smoothing algorithm to speech processing», IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-23, pp. 552-557, 1975.
- [9] H.C. ANDREWS, A.G. TESCHER and R.P. KRUEGER: «Image processing by digital computers», IEEE Spectrum, vol. 9, pp. 20-32, July 1972.
- [10] E.L. HALL: «Almost uniform distribution for computer image enhancement», IEEE Trans. Comput., vol. C-23, pp. 207-208, Feb. 1974.
- [11] W. FRIE: «Image enhancement by histogram hyperbolization», Comput. Graphics Image Processing, vol. 6, pp. 286-294, June 1977.
- [12] L. LAMBARELLI and G. GARIBOTTO: «Fast on-line implementation of two-dimensional median filtering», Electron. Lett., vol. 15, pp. 24-25, Jan. 1979.
- [13] G. GARIBOTTO: «A new approach to half-plane recursive digital filter design», IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing, to be published.
- [14] —, «On 2-D recursive digital filter design with complex frequency specifications», Proc. Int. Commun. Conf., June 1977, pp. 202-206.
- [15] —, «2-D recursive phase filters for the solution of two-dimensional wave equations», IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing, to be published.
- [16] —, «Two-dimensional recursive digital filters in picture processing», CSELT Rapporti Tecnici, pp. 47-61, Mar. 1977.
- [17] P.L. BAIMA BOLLONE: «Rilievi e considerazioni medico legali sulla formazione delle immagini», Atti del Congresso internazionale di Sindonologia, Torino, 1978, p. 109.
- [18] G. GARIBOTTO: «Two-dimensional phase filtering», in Digital Signal Processing, New York: Academic, 1980, pp. 47-58.
- [19] G.A. MARIA and M.M. FAHMY: «An Ip design technique for two-dimensional digital recursive filters», IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-22, pp. 15-21, Feb. 1974.
- [20] R.M. MERSEAU and D.E. DUDGEON: «Two-dimensional digital filtering», Proc. IEEE, vol. 63, pp. 610-623, Apr. 1975.
- [21] G. TAMBURELLI and G. GARIBOTTO: «Nuovi sviluppi nell'elaborazione dell'immagine sindonica», Atti del Cong. Int. di Sindonologia, Torino, Oct. 7-8, 1978, pp. 173-184 and pp. 354-362.
- [22] G. TAMBURELLI: «La Sindone dopo l'elaborazione tridimensionale», l'Osservatore Romano, Rome, p. 6, July 11, 1979.
- [23] G. TAMBURELLI: «Some results in the processing of the Holy Shroud of Turin», IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-3, No. 6, Novembre 1981.
- [24] G. TAMBURELLI: «Reading the Shroud, called the fifth gospel, with the aid of the computer», Shroud Spectrum International, Marzo 1982.
- [25] G. TAMBURELLI: «Ricerca dell'impronta dell'ombelico nell'immagine sindonica», Sindon, Dicembre 1980, pp. 33-37.
- [26] F.T. ZUGRIB: «The Cross and the Shroud», Ed. Exposition Press Smithtown, New York, pp. 169-176.
- [27] G. TAMBURELLI: «La Sindone e l'informatica», Giornale dell'Accademia della Medicina di Torino, Gennaio 1983, pp. 240-253.
- [28] F.C. TRIBBE: «Portrait of Jesus?», Stein and Day, Publishers, New York, 1983, pp. 100, 119-121, 161.
- [29] G. TAMBURELLI: «Elaborazione tridimensionale di impronte», Sindone Scienza e Fede, Atti del 2° Congresso Naz. Sindonico, Ed. CLUEB, Bologna, 1983.

L'ELETTROTECNICA

RIVISTA GENERALE DI ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA
ATTI DELLA AEI E DEL CEI

ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA ITALIANA
SOTTO GLI AUSPICI DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE



SOMMARIO

Note di Redazione	1100
LXXXV Riunione Annuale dell'AEI	1102

ARTICOLI:

Discorso del Presidente Generale dell'AEI prof. Luigi Paris alla seduta inaugurale	1103
Elettrochimica - G. Bianchi	1105
Optoelettronica - A. Gilardini	1111
Automazione del lavoro d'ufficio amministrativo e tecnico - G. Bracchi	1117
La crisi energetica: le speranze che l'elettrochimica fa nascere - M. Magnien	1125
Studio della Sindone mediante calcolatore elettronico - G. Tamburelli	1135
Radiografia di una Norma CEI - G. Dal Monte	1151
Tecnologia dell'elaboratore: il setaccio delle idee - F. Filippazzi	1157
L'Ingegnere clinico e il Tecnico delle apparecchiature biomediche: due nuove figure professionali per la gestione delle moderne tecnologie negli ospedali - L. Mariani	1163

RUBRICHE VARIE:

Sunti de «L'Energia Elettrica»	1170
Sunti di «Alta Frequenza»	1172
Notizie e Informazioni	1174
Calendario delle manifestazioni	1184
Libri e Pubblicazioni	1192
Volumi Ricevuti	1193
Notizie Sociali dell'AEI	1194
Notizie Sociali del CEI	1206
Neurologio: dr. ing. Ettore Panizza	1218

IN COPERTINA:

Da oltre trent'anni la SPII progetta e costruisce proponendo al mercato sia produzioni di serie che su commessa secondo specifiche esigenze del cliente.

Ecco perchè possiamo risolvere qualsiasi problema, dal più semplice al più complesso, sempre con una tecnologia avanzata e di alta qualità.

La gamma è veramente vasta e adatta per molteplici applicazioni: elettromagneti; temporizzatori; microinterruttori ed elementi di contatto; relè; teleruttori per c.a.; teleruttori per c.c.; teleruttori per alta tensione; connettori; programmatori elettromeccanici; programmatori e complessi statici; protezioni di frequenza; tensione, corrente; combinatori e manipolatori di trazione; equipaggiamenti ed apparecchiature complesse.

SPII Equipaggiamenti Elettrici Spa - 21047 Saronno - Via Montoli, 23

Tel. (02) 9622921 (4 linee ric. aut.) - Telex 334562 SPIISA I

Milano - Tel. (02) 6086545 - Napoli - Tel. (081) 640885

Proprietaria ed Editrice AEI - Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana - Direzione, Redazione e Amministrazione: «L'Elettrotecnica», Viale Monza, 259, 20126 Milano, Telefono: 25 50 641, Telegrammi: Asselita, Milano, Conto Corrente Postale: 274209 Milano - Pubblicità: Concessionaria esclusiva: P.R.S. S.p.A., Corso Venezia, 16, 20121 Milano, Telefono: 78 27 51/2/3 - Ufficio di Roma, Via Veneto 146, 00187 Roma, Telefono: 06 46 17 24 - Abbonamento: non Soci L. 64 000 (Italia), L. 80 000 (estero). I Soci dell'AEI hanno diritto a ricevere gratuitamente «L'Elettrotecnica» col solo versamento della quota di associazione annua che varia secondo la Sezione territoriale di appartenenza: per i Soci Juniores (età inferiore ai 26 anni all'inizio dell'anno solare) la quota annua è di L. 18 000 qualunque sia la Sezione di appartenenza. I Soci possono abbonarsi a prezzo ridotto alla rivista bimestrale «Alta Frequenza» (L. 14 000), e alla Rivista mensile «L'Energia Elettrica» (L. 28 000). Fascicoli separati, ciascuno: in Italia L. 6 400, all'Estero L. 8 000; nel caso di fascicolo speciale il prezzo, stabilito di volta in volta, sarà precisato nel fascicolo stesso - Fascicoli degli anni precedenti: ciascuno: in Italia L. 12 800, all'Estero L. 16 000. Ogni cambio di indirizzo deve essere accompagnato dall'importo di L. 1 000 - Pubblicazione mensile - Spedizione in abbonamento postale: Gruppo III. È vietato riprodurre articoli dalla presente rivista senza citarne la fonte. Gli scritti dei singoli Autori non impegnano la Redazione: sia quelli degli Autori sia quelli della Redazione non impegnano l'AEI - I manoscritti non si restituiscono - La pubblicità non supera il 70% della superficie totale della rivista.