

## **Compatibilità fra immagine corporea digitalizzata e un manichino antropomorfo computerizzato**

**R. Basso, G. Bianchini, G. Fanti**

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Padova  
Via Venezia 1, 35137 Padova - Italy  
tel.+39-49-8276804, fax+39-49-8276785, e-mail: <[fanti@mail.dim.unipd.it](mailto:fanti@mail.dim.unipd.it)>

### **Sommario**

L'immagine frontale della Sindone di Torino lunga 1,95 m non è direttamente compatibile con l'immagine dorsale lunga 2,02 m; per verificare la possibilità che entrambe le immagini siano state generate da uno stesso corpo umano è stato costruito un manichino numerico antropomorfo e questo è stato avvolto dalle immagini frontale e dorsale digitalizzate.

Il manichino è stato movimentato, entro i limiti ammessi dai normali movimenti degli arti, al fine di ottenere la corrispondenza fra i punti antropometrici predefiniti del lenzuolo e del manichino.

Tramite analisi cinematica è stata determinata la posizione più probabile delle braccia che non sono completamente visibili nel lenzuolo a causa dei danni subiti durante l'incendio del 1532.

Dall'analisi eseguita è risultato che le immagini frontale e dorsale sono compatibili con l'avvolgimento del corpo di un uomo alto  $175 \pm 2$  cm che, per la rigidità cadaverica, è rimasto in una posizione conforme a quella che potrebbe avere assunto durante la crocifissione. La posizione dell'Uomo della Sindone è stata valutata in termini di angolo delle gambe, braccia ed inclinazione della testa.

**Title: *Compatibility between the digitized body image and a computerized anthropomorphous manikin.***

### **Abstract**

*The frontal body image of the Turin Shroud, 1,95 m long, is not directly compatible with the dorsal image that is 2,02 m long. To verify that the two images were generated by the wrapping of a corpse, a computerized anthropomorphous manikin was utilized and the following procedure was done.*

*First of all the manikin was wrapped by a numerical sheet in which the dimensional characteristics of both the frontal and the dorsal body image were reported.*

*Then the manikin was moved in order to obtain the correspondence between its anthropometric points and that of the sheet.*

*The most probable position of the arms, not completely visible on the Shroud due to the 1532 fire, are finally determined on the basis of a cinematic analysis.*

*It resulted that both the frontal and the dorsal body images are compatible with the wrapping of a man  $175 \pm 2$  cm tall that had a position similar to that of a crucified man. The position of the Man of the Shroud was determined in terms of angles of head, arms, legs and feet.*

## **Acronimi:**

- ST = Sindone di Torino.
- UST = Uomo della Sindone di Torino.

## **-1) Introduzione**

L'immagine corporea, il cui meccanismo di formazione non è ancora oggi spiegabile scientificamente, è composta da un'immagine frontale lunga 1,95 m ed un'immagine dorsale lunga 2,02 m separata dalla prima da una zona di non immagine lunga 0,18 m <sup>[1, 2]</sup>.

Nell'ipotesi ormai praticamente accettata dall'intero mondo scientifico che l'immagine non sia un dipinto<sup>[3]</sup> in quanto gli scienziati dello STURP (Shroud of Turin Project), dopo le prove del 1978, hanno dimostrato l'assenza di pigmenti pittorici in quantità tali da giustificare la presenza di un'immagine<sup>[4]</sup>, restano alcuni dubbi sulle caratteristiche dell'uomo avvolto dalla Sindone di Torino (ST). Innanzitutto sono evidenti alcune distorsioni nell'immagine corporea frontale, per esempio in corrispondenza delle mani e dei polpacci, che escludono ogni riferimento all'utilizzo di un qualsiasi procedimento fotografico per l'ottenimento dell'immagine.

Il tipo di immagine non è nemmeno direttamente coerente con l'avvolgimento del lenzuolo sul corpo, come invece lo sono le macchie di sangue che si sono formate prima dell'immagine corporea; per tentare di spiegare il meccanismo di formazione dell'immagine estremamente superficiale, alcuni scienziati dello STURP<sup>[5,6]</sup> hanno ipotizzato l'esistenza di una lampo di energia di direzione verticale.

Oltre a ciò rimane evidente che le due immagini non sono tra loro dimensionalmente compatibili in modo diretto e la loro lunghezza potrebbe fare pensare ad un uomo di statura forse eccessivamente elevata.

Bisogna però ricordare che l'uomo avvolto dalla ST non era in posizione supina, ma, coerentemente con la rigidità cadaverica assunta durante la crocifissione, era con la testa piegata in avanti, le ginocchia parzialmente piegate e i piedi distesi in seguito all'inchiodatura.

In questo lavoro si è costruito numericamente un manichino antropomorfo capace di assumere tutte le posizioni possibili di un corpo umano e questo è stato avvolto in due teli numerici nei quali erano stati preventivamente riportati i punti corporei caratteristici dell'immagine frontale e dorsale della ST.

Scopo del presente lavoro è stato quello di dimensionare il manichino numerico e di determinare la posizione più probabile, se esistente, in modo che sia compatibile con le immagini frontale e dorsale dell'Uomo della Sindone di Torino (UST).

## **-2) Presentazione del metodo**

Di seguito è discussa la procedura, (figura 1), che ha permesso di verificare la compatibilità fra immagine corporea frontale e dorsale, mediante costruzione di un manichino numerico antropomorfo.

Si inizia con la digitalizzazione delle fotografie dell'immagine frontale e dorsale dell'UST (passo 1). Sono state scelte le fotografie eseguite nel 1931 da Enrie con pellicola ortocromatica (concesse dallo studio Scoffone di A. Guerreschi).

Parallelamente (passo 2) si è scelto un manichino antropomorfo che potesse essere movimentato tramite computer secondo i cinematismi ammessi in un corpo umano; il modello cinematico è stato realizzato utilizzando il software Poser, sulla base della scelta di una tipologia corporea longilinea e muscolosa.

Il manichino ha la possibilità di essere modificato dimensionalmente in conformità ai parametri antropometrici misurati sulla ST.

Le immagini frontale e dorsale della ST sono state analizzate con sistemi di visione per definirne il profilo ed i corrispondenti punti antropometrici (passo 3), da utilizzarsi per i teli ed il manichino numerici.

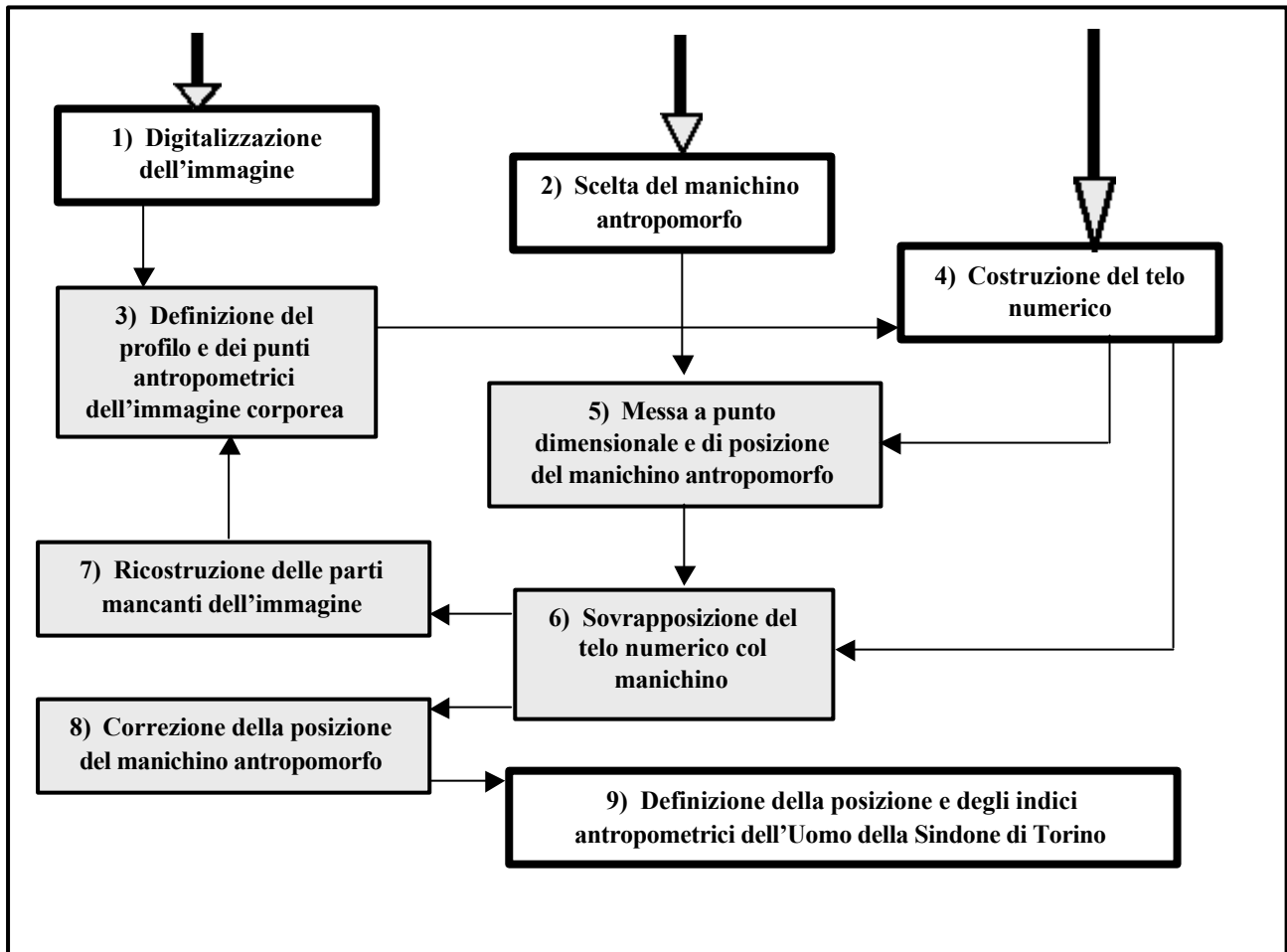


Figura 1: schema del metodo seguito per verificare la compatibilità fra immagine corporea digitalizzata e un manichino antropomorfo computerizzato.

In particolare, dall'analisi dei diversi livelli di luminanza delle immagini digitalizzate, o livelli di grigio, si è determinato il profilo dell'immagine corporea frontale e dorsale, ed infine, da questa si sono definiti i relativi punti antropometrici.

Alcuni punti antropometrici relativi a spalle e braccia, che non sono visibili sull'immagine corporea della ST, sono stati ricostruiti tramite un procedimento iterativo basato sulla sovrapposizione dei teli sul manichino.

Sono stati poi costruiti due teli numerici, relativi alle immagini corporee frontali e dorsali, sui quali sono stati posizionati i punti antropometrici precedentemente definiti (passo 4).

I dati antropometrici dei due teli numerici sono stati utilizzati (passo 5), per definire le dimensioni e la posizione preliminare del manichino antropomorfo (definito al passo 3) mediante modellazione cinematografica.

Le dimensioni del manichino sono state determinate dopo avere verificato che le lunghezze degli arti dell'immagine corporea frontale sono compatibili con quelle dell'immagine dorsale.

Al passo (6) di figura 1 i due teli numerici frontale e dorsale sono stati sovrapposti al manichino antropomorfo messo a punto (al passo 5), per verificare se esiste una posizione del manichino capace di verificare la compatibilità di tutti i punti antropometrici definiti sul manichino, sul telo frontale e sul telo dorsale.

Costruito il manichino, è stata eseguita un'analisi cinematica per determinare la posizione più probabile delle spalle e delle braccia in conformità alla posizione nota delle mani e degli avambracci.

Dalla sovrapposizione dei teli numerici col manichino si sono quindi potute ricostruire le parti mancanti dell'immagine corporea dell'UST (passo 7).

Sulla base della congruenza fra posizione dei punti antropometrici dei teli e del manichino (passo 8), si è cercata la possibilità di mettere a punto il manichino antropomorfo, sia da punto di vista dimensionale definendo la dimensione degli arti, sia la sua posizione definendo gli angoli di inclinazione relativa della testa, delle ginocchia e dei piedi.

La posizione angolare degli arti è stata determinata considerando gli allungamenti o accorciamenti del telo frontale e dorsale ipotizzando l'assenza di pieghe del lenzuolo che sarebbe verosimile se il corpo fosse stato semplicemente appoggiato sopra telo e se questo fosse poi stato successivamente appoggiato alla parte superiore del corpo senza avvolgerlo completamente nelle parti laterali.

Anche se alcuni autori hanno ipotizzato la presenza di pieghe<sup>[8]</sup> e di legacci attorno al corpo dell'UST, si ritiene che l'immagine corporea sia conforme alla semplice distensione del telo sul corpo perché non ci sono evidenti interruzioni di continuità di immagine corporea e delle tracce di sangue. L'ipotesi deriva anche da alcune osservazioni globali sull'immagine corporea che la renderebbero meno coerente con un completo avvolgimento anche laterale: in tale caso infatti, anche nell'ipotesi di radiazione verticale<sup>[5, 6]</sup> secondo gli autori dovrebbe essere più ampia l'area del corpo impressa lateralmente.

Una volta verificata la possibilità di costruire un manichino antropomorfo che fosse compatibile contemporaneamente con l'avvolgimento dell'immagine frontale e dorsale, si sono definite (passo 9) le più probabili dimensioni e posizione dell'UST, vedi figura 2.

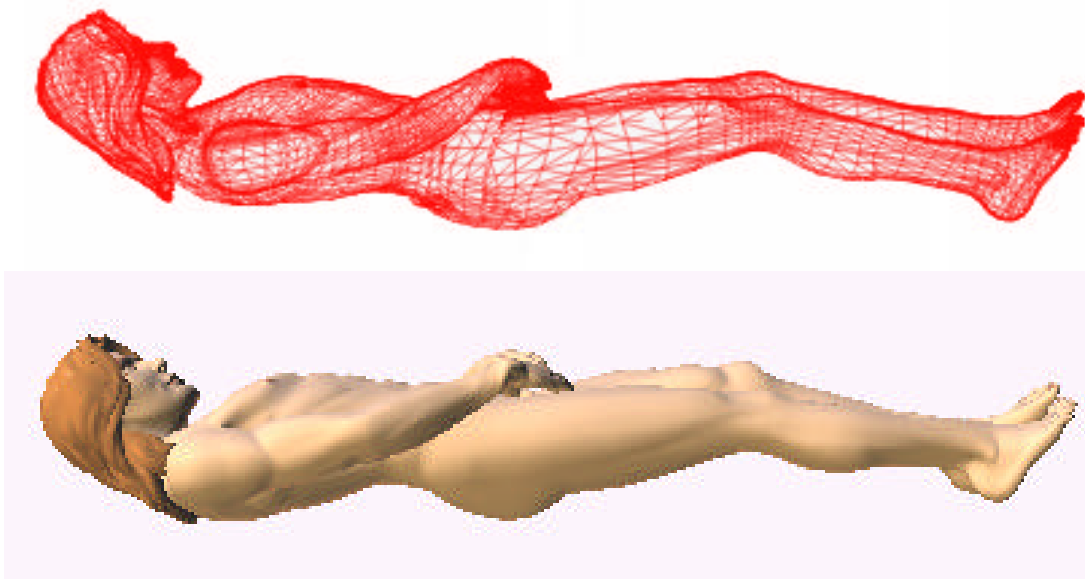


Figura 2: Due rappresentazioni grafiche del manichino numerico antropomorfo risultante dalla definizione della posizione e degli indici antropometrici in seguito all'analisi descritta in figura 1.

### **-3) Definizione del profilo dell'immagine corporea e dei punti antropometrici**

La procedura di definizione del profilo dell'immagine corporea dell'UST, ottenuta per approssimazioni successive, ha anche richiesto la ricostruzione delle parti dell'immagine corporea danneggiate dall'incendio di Chambéry del 1532.

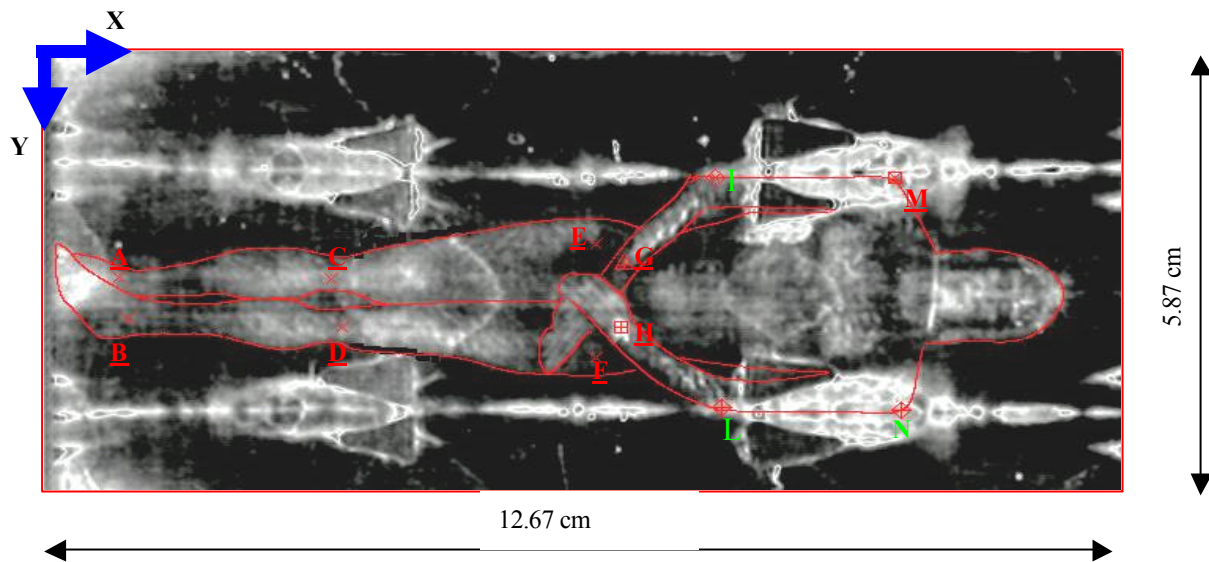


Figura 3: Punti antropometrici di riferimento sull'immagine frontale determinati prima della verifica della compatibilità con il manichino.

	X [cm]	Y [cm]
A	0.8	3.0
B	0.6	3.5
C	3.25	3.0
D	3.4	3.7
E	6.3	2.5
F	6.3	4.0
G	6.65	2.9
H	6.6	3.65
I	7.7	1.7
L	7.8	4.7
M	9.8	1.7
N	9.9	4.75

Tabella 1: Coordinate dei punti antropometrici nel sistema di riferimento dell'immagine frontale di figura 3.

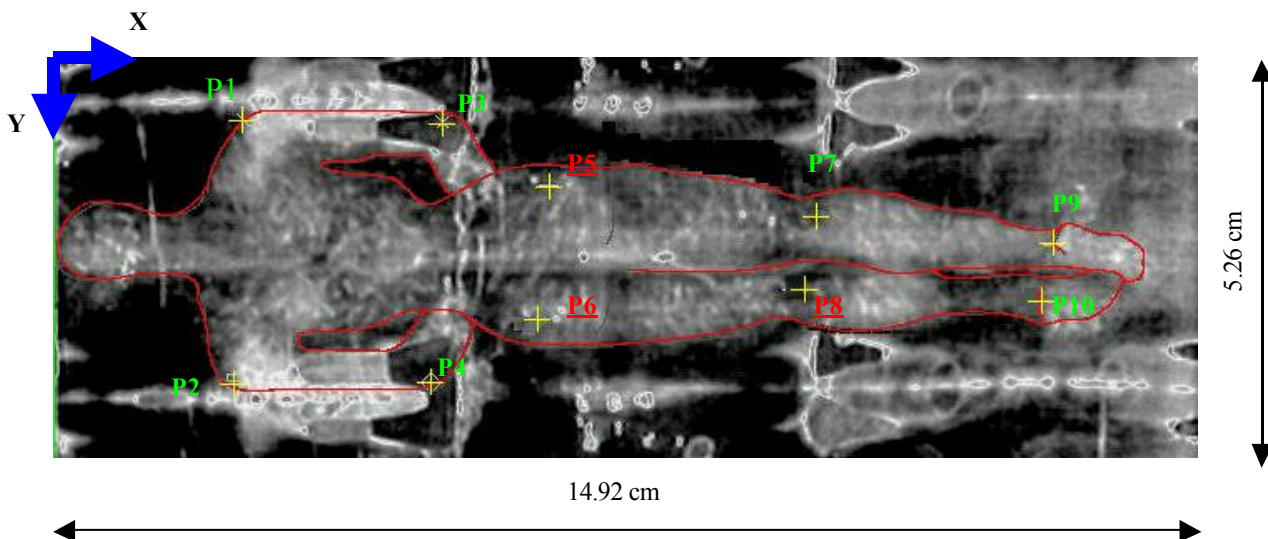


Figura 4: Punti antropometrici di riferimento sull'immagine dorsale determinati prima della verifica della compatibilità con il manichino.

L'immagine frontale digitalizzata della ST è indicata in figura 3 ed in tabella 1 sono riportate le corrispondenti posizioni dei punti antropometrici rispetto all'origine degli assi x e y. L'immagine

dorsale della ST è indicata in figura 4 ed in tabella 2 sono riportati i corrispondenti punti antropometrici.

	X [cm]	Y [cm]
P1	2.42	0.95
P2	2.4	4.3
P3	5	0.9
P4	4.9	4.3
P5	6.4	1.75
P6	6.3	3.5
P7	9.9	2.15
P8	9.7	3.1
P9	13	2.5
P10	12.8	3.25

Tabella 2: Coordinate dei punti antropometrici nel sistema di riferimento dell'immagine dorsale di figura 4.

Essi sono stati definiti non in riferimento alle dimensioni della ST, pari a 436 cm di lunghezza e 112 cm di larghezza, ma rispetto alle dimensioni dell'immagine digitalizzata indicata nelle corrispondenti figure. L'incertezza con cui si sono eseguite le misurazioni è pari a  $\pm 0.05$  cm.

Per la definizione dei punti di riferimento si richiede la determinazione dei punti antropometrici nell'ipotesi di corrispondenza biunivoca tra la struttura anatomica e quella scheletrica.

I punti scheletrici sono da preferirsi a quelli superficiali perché sono punti interni che si individuano con la ricerca tattile, e non soggetti a variazioni; gli altri sono punti esterni individuati sulla pelle.

I punti scheletrici vengono stabiliti segnando la loro proiezione sulla cute, pertanto, il polpastrello dell'operatore non deve rimanere fisso sulla pelle stirandola alla ricerca del punto di repere osseo, ma deve palpare leggermente e con movimento verticale fino a che non raggiunge il punto ricercato.

Nel caso dell'immagine lasciata sulla ST, i riferimenti ovviamente non possono che essere sui tessuti molli e l'incertezza di definizione può risultare anche dell'ordine di un centimetro.

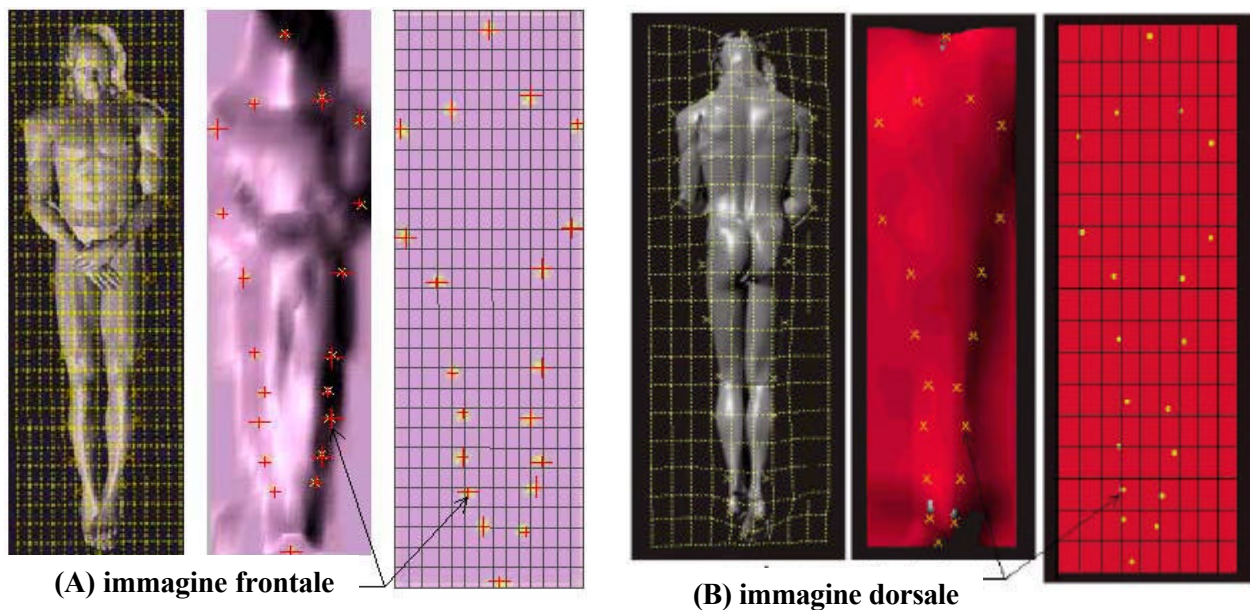


Fig.5: Teli numerici (A) frontali e (B) dorsali in posizione "avvolta" al centro e distesa a destra con i punti del profilo dell'UST ad esso appartenenti.

#### **-4) Costruzione del telo numerico**

Si sono costruiti due teli numerici, uno per l'immagine frontale ed uno per quella dorsale. Ciascun telo è composto di 1440 triangoli rettangoli inizialmente tutti uguali e successivamente modificati in base all'adeguamento del telo sul manichino antropomorfo. Si è ipotizzata infatti una certa plasticità del telo che si adagia sul corpo, in conformità ad un telo umido.

Sia il telo frontale che quello dorsale hanno una lunghezza di 2,18 m ed un'altezza di 1.12 m.

Si sono quindi fissate sui due teli numerici le coordinate dei punti antropometrici precedentemente determinate nell'immagine frontale e dorsale della ST.

Si sono inoltre fissati altri punti caratteristici del profilo dell'immagine della ST ed anche questi sono stati riportati sui teli numerici, vedi figura 5.

#### **-5) Costruzione del manichino**

E' stato costruito al computer un manichino antropomorfo con le dimensioni misurate sulle immagini corporee della ST che potesse essere movimentato secondo i cinematismi ammessi in un corpo umano: il modello cinematico è stato realizzato utilizzando il software Poser.

Si è partiti da una posizione con la testa ricurva in avanti conforme a quella di un uomo crocifisso, con le mani appoggiate sulla zona pubica, con le gambe piegate in corrispondenza delle ginocchia e con i piedi distesi in conformità alla posizione assunta durante la chiodatura in croce.

Si è assunta quindi l'ipotesi, confermata da analisi medico-legali<sup>[9, 10]</sup> di un uomo avvolto nella ST con caratteristiche di spiccata rigidità cadaverica. Una conferma di questa ipotesi si può avere osservando la conformazione dell'immagine dei glutei che, contrariamente al normale, non presenta segni di schiacciamento in seguito al peso del corpo.

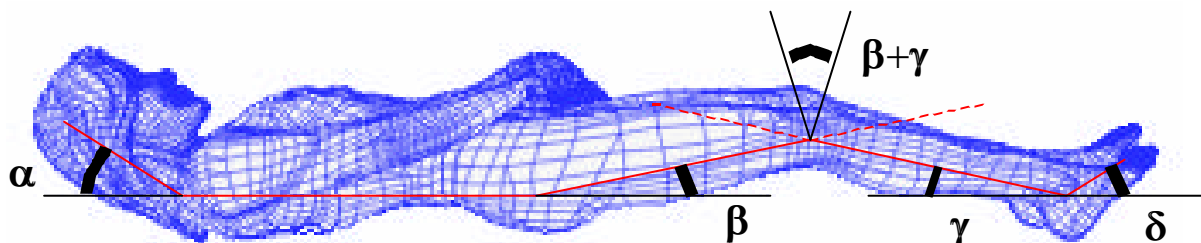


Figura 6: Posizioni angolari che si sono variate per verificare l'esistenza della compatibilità fra manichino antropomorfo ed immagini corporee frontale dorsale della ST.

Una volta fissata la configurazione iniziale del manichino antropomorfo, si sono scelti i seguenti parametri angolari (riferiti al piano di appoggio) da variare in seguito all'imposizione della congruenza, se esistente, con i punti antropometrici dei teli numerici (vedi figura 6):

- angolo  $\alpha$  della testa;
- angoli  $\beta_1$  e  $\beta_2$  del femore destro e sinistro
- angoli  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$  della tibia destra e sinistra
- angoli  $\delta_1$  e  $\delta_2$  del piede destro e sinistro.

**-6) Analisi cinematica degli arti superiori**

L'analisi cinematica ha lo scopo di determinare la posizione delle braccia e degli avambracci dell'UST. Il cinematismo sfrutta le informazioni dell'immagine frontale della ST, mentre i dati incogniti sono le posizioni angolari degli arti superiori.

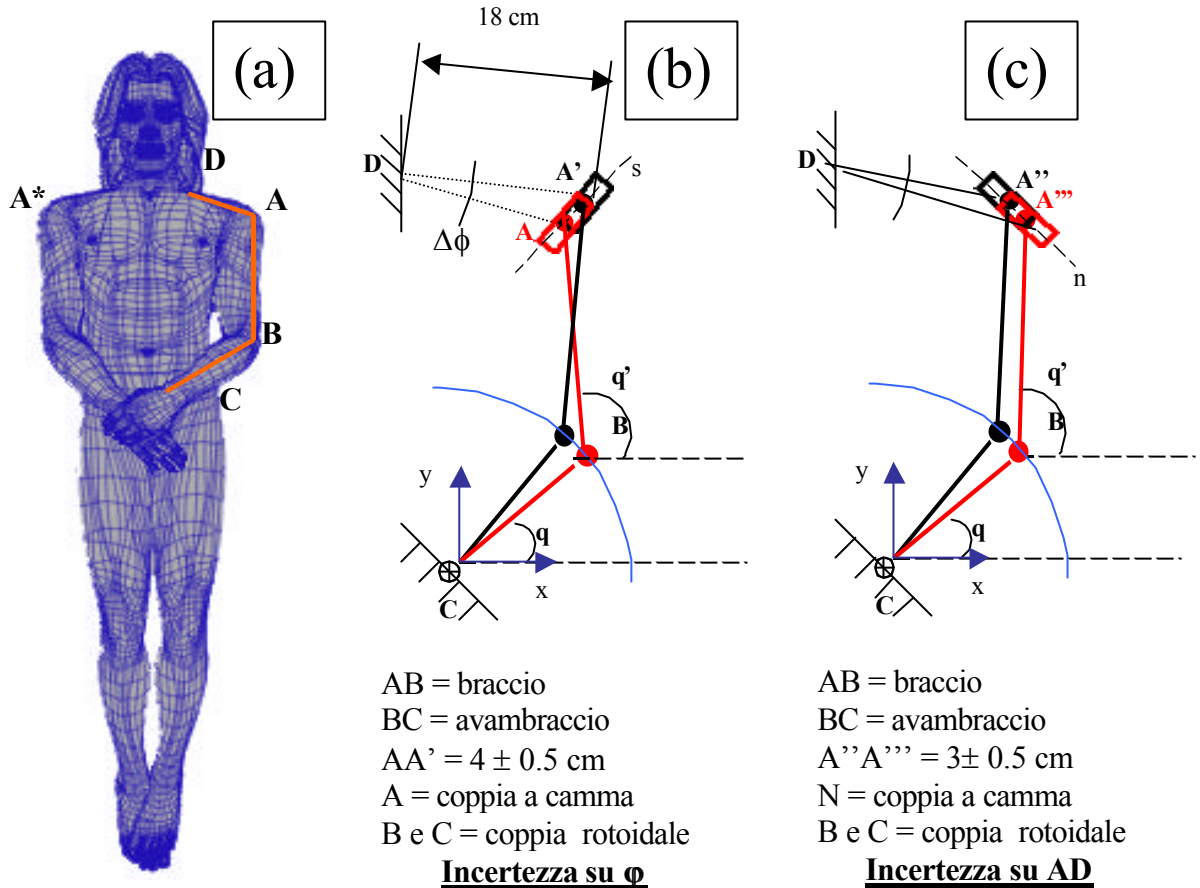


Figura 7: (a) manichino numerico e rappresentazione del cinematismo degli arti superiori; (b) schematizzazione del cinematismo degli arti superiori considerando l'incertezza nella determinazione della posizione del punto A; (c) schematizzazione del cinematismo degli arti superiori considerando l'incertezza nella determinazione della lunghezza del segmento AD.

Sull'immagine frontale e dorsale si può misurare la posizione delle mani e le lunghezze degli arti AB e CB che misurano rispettivamente 35 ± 1 cm e 26 ± 1 cm.

La larghezza delle spalle (distanza fra i punti A ed A\* detti akromion, figura 7), può essere valutata in base alle seguenti considerazioni: sul modello numerico antropomorfo risulta una larghezza pari a 51,0 ± 0,5 cm; da una serie di misurazioni su maschi adulti è risultato che il segmento AD nei maschi adulti è il (35% ± 2%) del segmento AA'. Si ottiene quindi AD = 18,0 ± 1,5 cm.

Le posizioni angolari q e q' degli arti sono legate alla posizione cartesiana (x<sub>A</sub>, y<sub>A</sub>) del punto A secondo il sistema di equazioni cinematiche:

$$\begin{cases} x_A = BC \cos q + AB \cos q' \\ y_A = BC \sin q + AB \sin q' \end{cases}$$



Le coordinate del punto A che appartenente alle rette s ed n (figura 7 b,c), sono note con incertezza non trascurabile: in particolare lungo la retta s (figura 7 b) l'incertezza è di 4 cm, mentre lungo la retta n (figura 7 c) l'incertezza è di 3 cm.

I possibili valori angolari si ottengono inserendo nel sistema di equazioni cinematiche i valori limite delle corrispondenti coordinate cartesiane del punto A valutate rispetto al riferimento nel punto C. Le coordinate della mano sinistra sono riportate in tabella 3, mentre i valori degli angoli dell'avambraccio sono riportati in tabella 4.

In base a questi risultati si ottengono i profili limite possibili per l'immagine corporea frontale dalla ST (figura 8); gli angoli  $\phi$  delle spalle risultano:  $\phi_1=10 \pm 1^\circ$  (destra);  $\phi_2=12 \pm 1^\circ$  (sinistra).

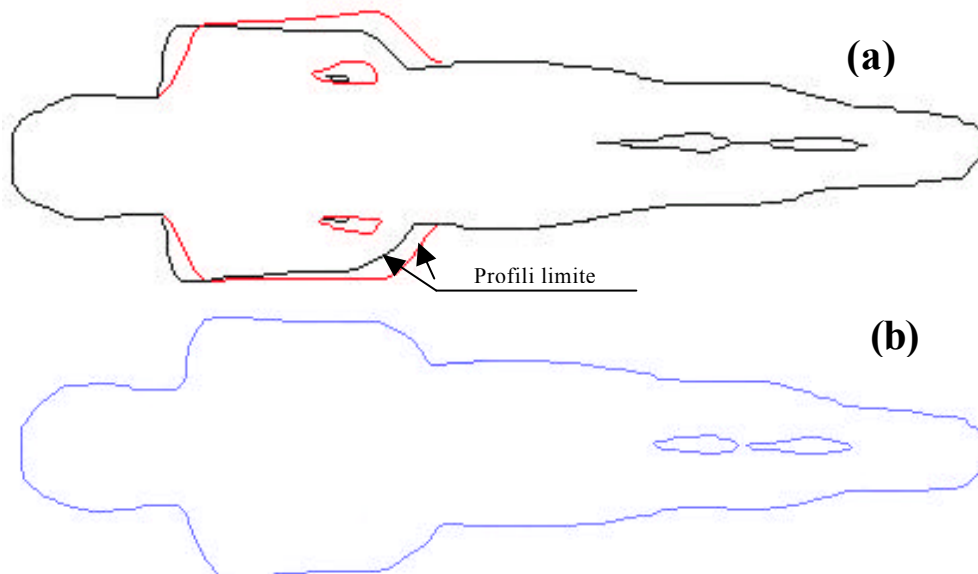


Figura 8: a) profili limite dell'immagine frontale dell'UST in base ai valori riportati nelle tabelle 3 e 4; b) profilo più probabile.

	$x_A$ [cm]	$y_A$ [cm]
Punto A	17.0	50.0
Punto A'	18.5	54.1
Punto A''	17.5	48.5
Punto A'''	18.0	52.0

Tabella 3: Valori delle coordinate cartesiane limite del punto A della spalla sinistra in funzione delle incertezze considerate.

	Sinistro	Sinistro	Destro	Destro
	q [°]	q' [°]	q [°]	q' [°]
A	$35 \pm 2$	$97 \pm 3$	$42 \pm 2$	$92 \pm 3$
A'	$48 \pm 2$	$88 \pm 3$	$50 \pm 2$	$85 \pm 3$
A''	$43 \pm 2$	$91 \pm 3$	$51 \pm 2$	$89 \pm 3$
A'''	$39 \pm 2$	$90 \pm 3$	$45 \pm 2$	$90 \pm 3$
A medio	41	91	47	89

Tabella 4: Valori limite e medio degli angoli q e q' per gli arti superiori in funzione delle posizioni limite del punto A (in riferimento alla figura 7 b,c).

## -7) Sovrapposizione del telo e ricostruzione delle parti mancanti dell'immagine corporea

I teli numerici frontale e dorsale sono stati posti sopra e sotto il manichino antropomorfo, posizionato in conformità alle informazioni ottenute dall'immagine corporea della ST.

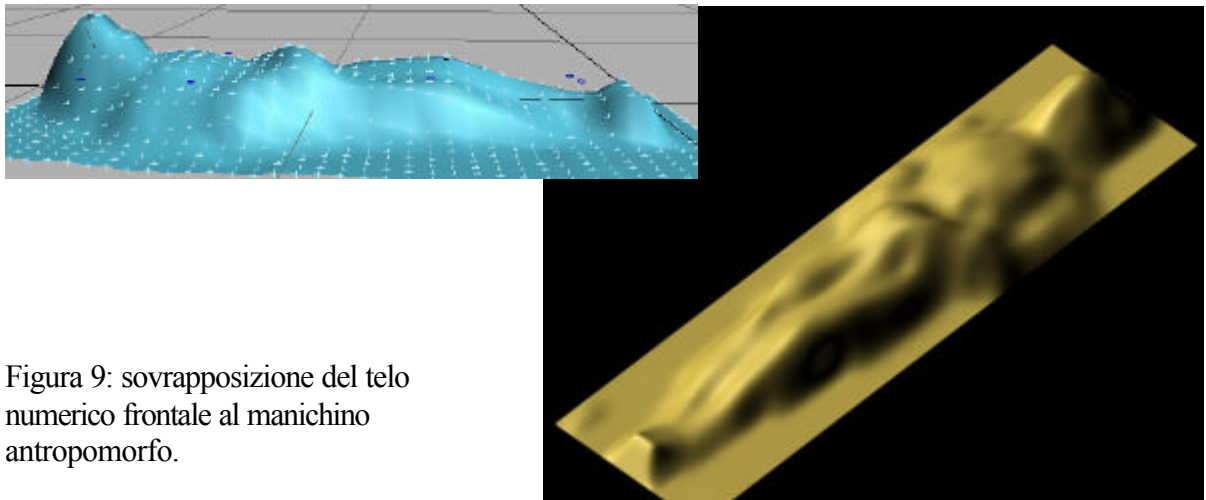


Figura 9: sovrapposizione del telo numerico frontale al manichino antropomorfo.

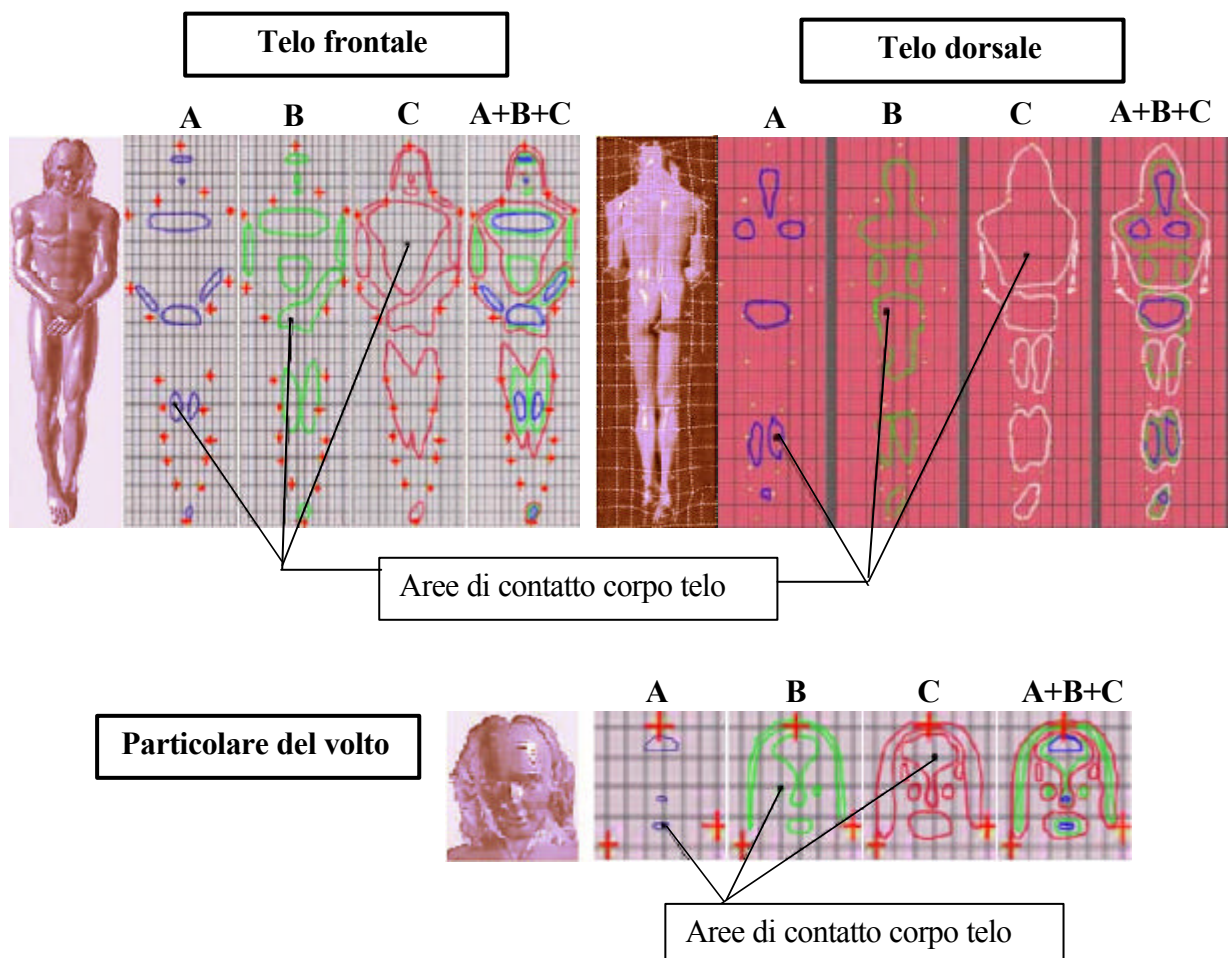


Figura 10: aree di contatto fra telo e manichino nell'ipotesi di telo elastoplastico che si adagia parzialmente sul manichino antropomorfo.

In riferimento al fatto che la ST potesse essere umida perché impregnata di sostanze antiputrefattive, il telo numerico è stato considerato in diverse condizioni:

- A: telo poco adagiato sul corpo e quasi completamente teso con un abbassamento elastoplastico di non più di 2 cm (telo frontale) o 1 cm (telo dorsale) rispetto alla posizione del telo perfettamente teso;
- B: telo adagiato con abbassamento inferiore a 4 cm (telo frontale) o 2 cm (telo dorsale);
- C: telo assai adagiato con abbassamento inferiore a 6 cm (telo frontale) o 3 cm (telo dorsale).

Le aree di contatto fra telo e manichino, evidenziate in figura 10, corrisponderebbero all'immagine corporea che si otterrebbe per un solo fenomeno di contatto telo-corpo.

Diversi autori sostengono<sup>[11]</sup> che l'immagine corporea potrebbe essersi formata a causa di un fenomeno di contatto fra il telo ed il corpo; risultati sperimentali di un telo di lino imbevuto di aloe e mirra appoggiati su un corpo sporco di sudore e sangue dimostrano che si formano macchie più scure in corrispondenza del contatto che, per alcuni aspetti sono confrontabili con quelle dell'immagine corporea della ST.

I risultati di figura 10 dimostrano però che anche nel caso estremo (C), l'immagine ottenuta da contatto diretto non è confrontabile con quella della ST perché in quest'ultima esistono aree di immagine dove il contatto telo-corpo non può avvenire: fra queste per esempio la zona compresa fra naso e guance e quella circostante la zona delle mani.

## **-8) Discussione risultati e confronti**

Dalla sovrapposizione dei teli numerici sul manichino si è osservato che l'immagine corporea frontale e dorsale della ST presenta una distorsione dovuta all'avvolgimento del telo sul corpo; in particolare, anche nel caso di proiezione ortogonale<sup>[7]</sup> in riferimento alla figura 11 si nota che l'avvolgimento del lenzuolo intorno al corpo, causa una distorsione dell'ordine del 10 % in più rispetto alle corrispondenti dimensioni proiettate su un piano.

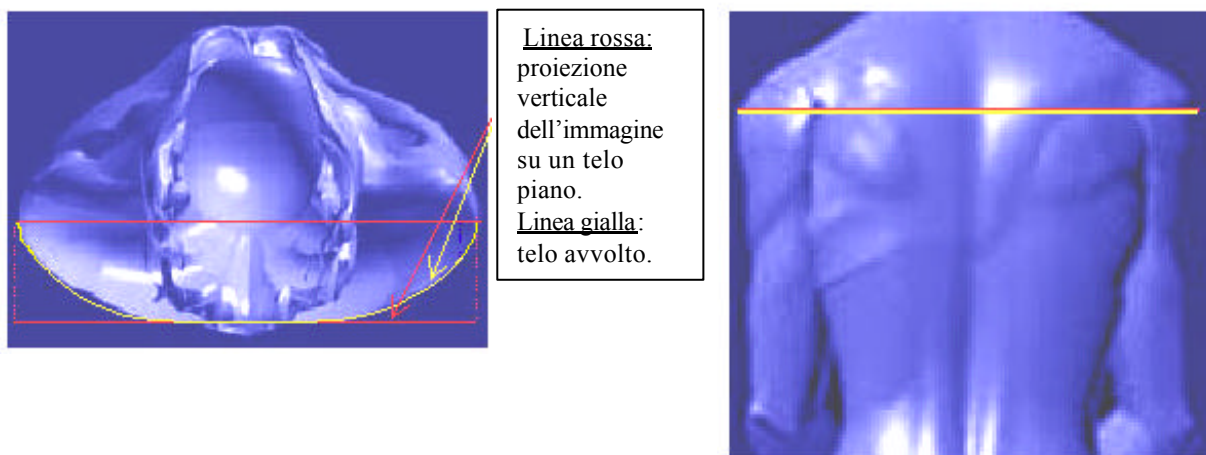


Figura 11: tronco del manichino antropomorfo visto dall'alto e dalla schiena: la corrispondente immagine impressa in un telo avvolto (in giallo) è più ampia a causa dell'effetto di avvolgimento.

Dato che anche l'immagine dorsale della ST presenta la distorsione correlata al parziale avvolgimento del lenzuolo, è improbabile che il corpo dell'UST sia stato appoggiato su un letto piano, bensì su un letto ricurvo, a trogolo (figura 12,b).

Questa ipotesi è in accordo con la possibilità che l'UST sia stato appoggiato su un letto piano ricoperto di fiori, dato che sulla ST sono stati trovati diversi pollini e resti di fiori che fioriscono in

Palestina nel periodo pasquale<sup>[12]</sup> oppure che sia stato appoggiato su un letto piano ricoperto di natron (sale nero composto di carbonato di calcio, sodio, potassio e magnesio, usato in Palestina per le sepolture) dato che tracce di questo sale sono state trovate sulla ST<sup>[13]</sup>.

L'ipotesi del letto di fiori o di natron è inoltre avvalorata dall'analisi dei chiaroscuri dell'immagine corporea dorsale della ST.

In figura 13 si osserva che la massima distanza fra telo e corpo nell'immagine frontale si verifica in corrispondenza segmento (A); i segmenti (B) e (C) corrispondono a posizioni dell'immagine dorsale dove viene avvalorata l'ipotesi di letto curvato e/o soffice perché, con la testa china in avanti e le ginocchia piegate non è facile ipotizzare la presenza di immagine in tali zone (a meno che non si ricorra all'ipotesi poco attendibile di un lenzuolo completamente avvolto attorno al corpo).

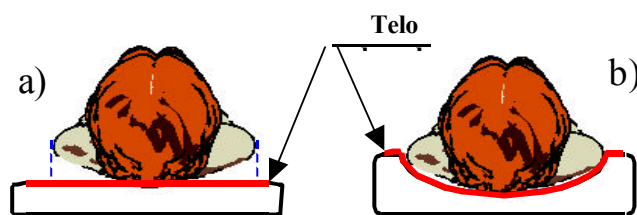


Figura 12: dall'analisi dell'immagine dorsale, risulta più probabile che l'UST sia stato appoggiato su un letto curvo (b) e non piano (a).

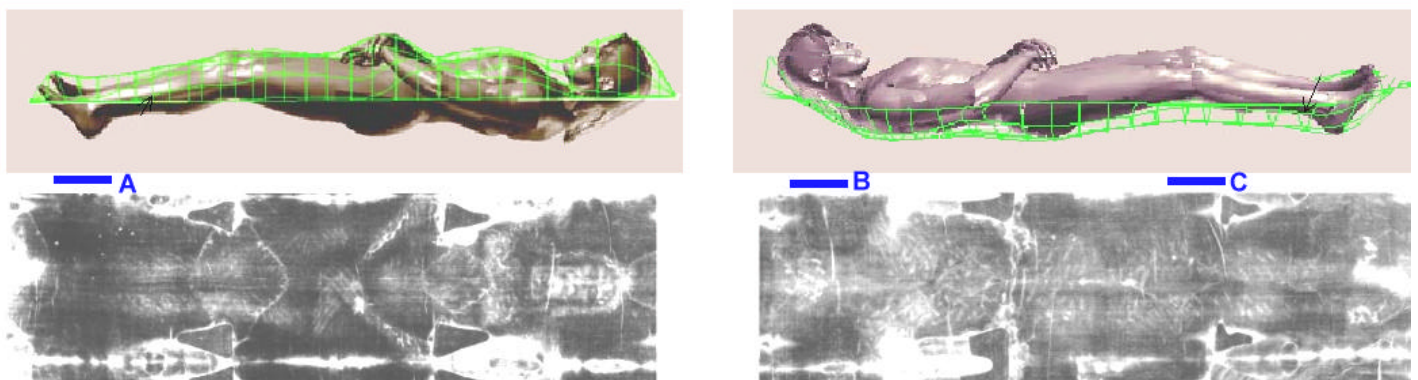


Figura 13: manichino antropomorfo avvolto col telo numerico e confronto con la rispettiva immagine corporea della ST.

Dal confronto fra telo numerico frontale e dorsale, manichino antropomorfo e ST è risultata la loro mutua compatibilità considerando un'incertezza di  $\pm 2$  cm.

Si sono ottenute inoltre le seguenti informazioni:

- l'UST è caratterizzato da indici antropometrici verosimili e quindi è avvalorata l'ipotesi che l'immagine generata sulla ST sia stata causata dall'avvolgimento di un uomo;
- la statura dell'UST è risultata di  $175 \pm 2$  cm;
- le lunghezze degli arti sono: Omero:  $35 \pm 0,5$  cm; Radio:  $26 \pm 0,5$  cm; Femore:  $49 \pm 0,5$  cm; Tibia:  $40,5 \pm 0,5$  cm;
- in riferimento alla figura 6, l'UST è caratterizzato dai seguenti angoli caratteristici:  $\alpha = 30 \pm 4^\circ$ ;  $\varphi_1 = 10 \pm 1^\circ$ ;  $\varphi_2 = 12 \pm 1^\circ$ ;  $\beta_1 = 8,5 \pm 2^\circ$ ;  $\beta_2 = 10,5 \pm 2^\circ$ ;  $\gamma_1 = 11 \pm 2^\circ$ ;  $\gamma_2 = 13 \pm 2^\circ$ ;  $\delta_1 = 34 \pm 2^\circ$ ;  $\delta_2 = 30 \pm 2^\circ$  essendo gli indici 1 e 2 rispettivamente riferiti agli arti destri e sinistri
- in riferimento alla figura 7, gli angoli più probabili del braccio ed avambraccio destri sono  $q = 47^\circ$ ,  $q' = 89^\circ$ ; quelli del braccio sinistro  $q = 41^\circ$ ,  $q' = 91^\circ$ .

## **-9) Conclusioni**

E' stato costruito un manichino numerico antropomorfo ed è stato avvolto da due teli numerici corrispondenti alle immagini frontale e dorsale della ST.

Le immagini frontale, lunga 1,95, e dorsale, lunga 2,02 m, sono risultate quindi compatibili con l'avvolgimento di un corpo umano, considerando un'incertezza di  $\pm 2$  cm.

Il manichino, costruito in base ai punti antropometrici predefiniti del lenzuolo, è stato movimentato al computer entro i limiti ammessi dai normali movimenti degli arti.

Tramite analisi cinematica è stata inoltre determinata la posizione più probabile delle braccia che non sono completamente visibili nel lenzuolo a causa dei danni subiti durante l'incendio del 1532.

In base a questa analisi è stato possibile determinare le caratteristiche fisiche dell'uomo avvolto dalla ST ed in particolare è risultato un uomo alto  $175 \pm 2$  cm posto in posizione conforme a quella di un crocifisso con i piedi distesi in avanti (di  $34^\circ$  e  $30^\circ \pm 2^\circ$ ), le gambe parzialmente piegate (angolo delle ginocchia di  $19,5^\circ$   $23,5^\circ \pm 3^\circ$ ) e la testa ricurva in avanti (di  $30^\circ \pm 4^\circ$ ).

Dall'analisi dell'impronta dorsale, è stato inoltre evidenziato che l'UST è stato appoggiato non direttamente su un letto non piano, ma su un letto a trogolo, o su un letto piano contenente materiale soffice quale ad esempio spezie (natron) o fiori.

## **Bibliografia**

- [1] Simionato A.: "Caratteristiche tridimensionali dell'Uomo della Sindone: analisi cinematica con manichino numerico e confronti sperimentali", tesi di laurea, relatore Fanti G., Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Padova, A.A. 98/99.
- [2] Faraon S.: " Correlazione distanze telo-Uomo della Sindone di Torino per la ricostruzione tridimensionale dell'immagine corporea contenuta nella Sindone di Torino", tesi di laurea, relatore Fanti G., Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Padova, A.A. 98/99.
- [3] G. Fanti, E. Marinelli: Cento prove sulla Sindone: un giudizio probabilistico sull'autenticità. Ed. Messaggero di S. Antonio, II edizione aprile 2000, ISBN 88-250-0900-3.
- [4] E. Jumper, A.D. Adler, J. P. Jackson, S.F. Pellicori, J.H. Heller, J.R. Druzik: "A Comprehensive Examination of the Various Stains and Images on the Shroud of Turin", Archaeological Chemistry III, No.205, 1984, pag.447-476.
- [5] J. Jackson et al., Correlation of image intensity on the Turin Shroud with the 3-D structure of a human body shape, Applied Optics, vol. 23, n. 14, 15 luglio 1984, pp. 2244-2270.
- [6] J. P. Jackson, Does the Shroud of Turin show us the Resurrection?, Biblia y Fe, 1998.
- [7] J. P. Jackson, Is the image on the Shroud due to a process heretofore unknown to modern science?, Shroud Spectrum International n.34, marzo 1990, pp. 3-29.
- [8] G. Ricci, Statura dell'Uomo della Sindone, Ed. Porziuncola, Assisi 1967.
- [9] P. Baima Bollone: "Sindone la prova", ed. Mondadori, 1998
- [10] E. Marinelli: "Un'immagine impossibile", ed. San Paolo, suppl. Famiglia Cristiana 1998.
- [11] J. Volckringer, The Holy Shroud : Science confronts the imprints, The Runciman Press, Manly, Australia 1991.
- [12] A. Danin, Pressed flowers, Eretz Magazine, novembre-dicembre 1997.
- [13] G. Riggi, Rapporto Sindone 1978/1987, 3M Edizioni, Milano 1988.
- [14] S.F. Pellicori, Spectral properties of the Shroud of Turin, Applied Optics, vol. 19, n. 12, 15 June 1980.
- [15] J. H. Heller – A. D. Adler, A chemical investigation of the Shroud of Turin, Can. Soc. Forens. Sci. J., vol. 14, n. 3, 1981, pp. 81-103.
- [16] A. D. Adler, Aspetti fisico-chimici delle immagini sindoniche, in: Sindone, cento anni di ricerca, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 1998, pp. 165-184.