

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 - TRATTA POLITECNICO - REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico**

PROGETTO DEFINITIVO		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>				INFRATRASPORTI.TO S.r.l.	
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA						
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	RTP: Studio Arch. Gritella & Associati Ing. Franco Galvagno Arte Restauro Conservazione di Arlotto Cristina Maria s.a.s. Arch. G. Gritella Ordine degli Architetti della Provincia di Torino n. 2199	URBANISTICO - MONUMENTO CARLO ALBERTO INTERVENTI DI TRASLAZIONE PROVVISORIA RELAZIONE INDAGINI TERMOGRAFICHE					
		ELABORATO	REV. int. est.	SCALA	DATA		
		MTL2T1A2DURBMCAR 008	0 0		13/11/2023		

AGGIORNAMENTI

Fig. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.	VISTO
0	EMISSIONE	10/10/23	CArlotto	GGritella	CArlotto	RCrova
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	13/11/23	CArlotto	GGritella	CArlotto	RCrova
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>6.1.3</td> <td>20</td> <td>MTL2T1A2D URBMCAR008</td> </tr> </table>					LOTTO 2	CARTELLA	6.1.3	20	MTL2T1A2D URBMCAR008	STAZIONE APPALTANTE		
LOTTO 2	CARTELLA	6.1.3	20	MTL2T1A2D URBMCAR008								
					DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio							
					RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi							



THIERRY RADELET

Indagini termografiche del monumento equestre a Carlo Alberto a Torino, Piazza Carlo Alberto



Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58, Torino - tel. 0115694875
P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com
www.laboratorio-radelet.com

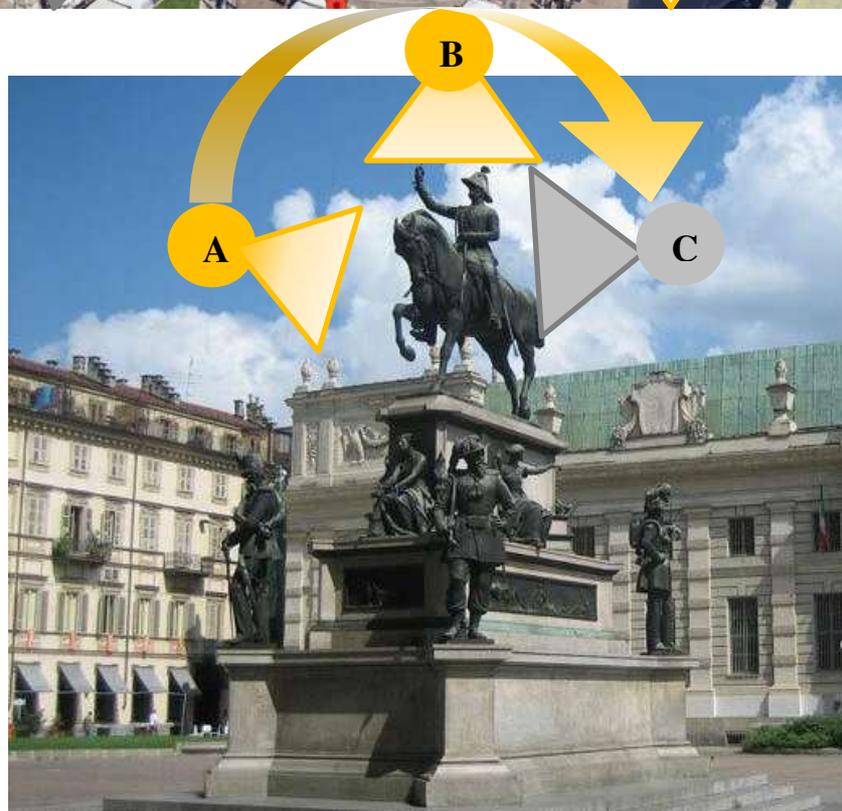
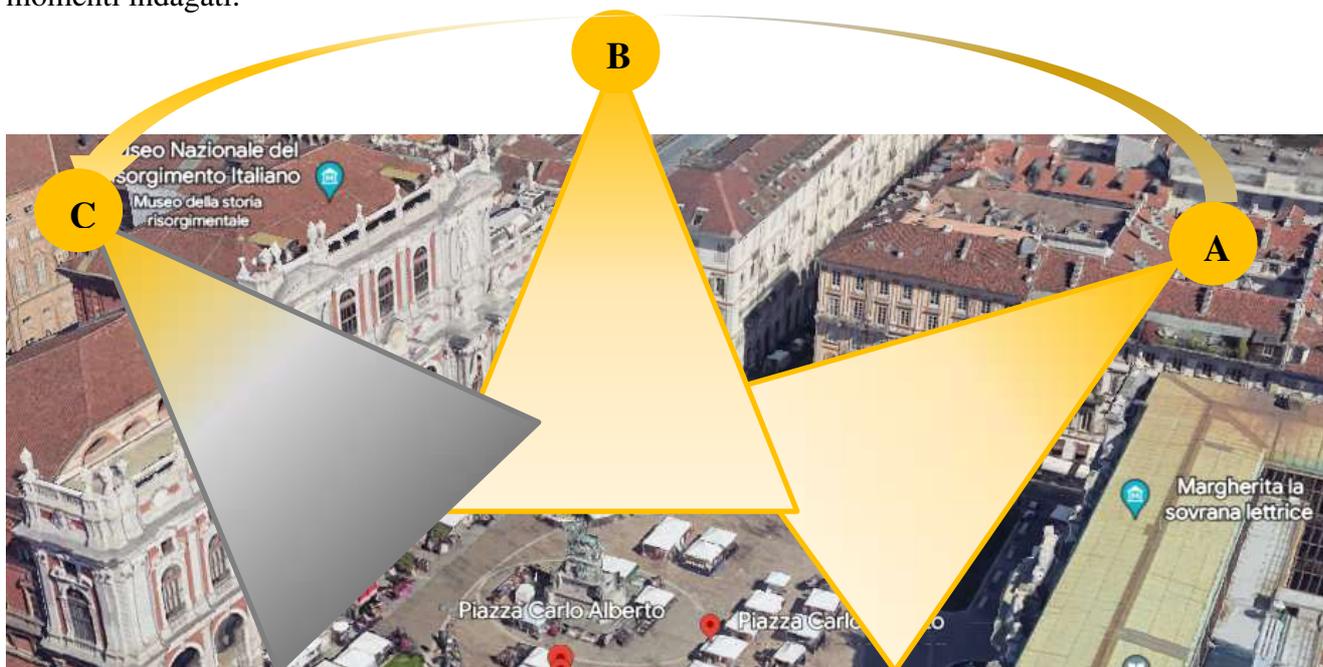
**Dati forniti dalla committenza*

Modalità di analisi

Il monumento è stato sottoposto a rilievi termografici il 3 agosto in tre diversi momenti della giornata per sfruttare l'irraggiamento solare come fonte di calore e l'ombra creata dal Museo del Risorgimento per la fase di raffreddamento:

- A) Alla mattina tra le 8 e le 9:30 (in fase di riscaldamento);
- B) A mezza giornata tra le 13:30 e 14:00 (massimo calore);
- C) A sera tra le 17:30 e le 18:30 (in fase di raffreddamento).

Si è quindi adottato un approccio dinamico, osservando l'evoluzione del comportamento termico nel tempo. Nelle immagini seguenti si riporta la posizione del sole rispetto al monumento nei tre diversi momenti indagati.



Laboratorio Thierry Radelet

Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967

e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

Strumentazione utilizzata

Le indagini sono state fatte all'altezza del monumento attraverso l'impiego di braccio elevatore.

I rilievi termografici sono stati realizzati mediante termocamera microbolometrica FLIR T530 - 42°, con sensore la cui risoluzione IR 320×240, risoluzione spaziale di 2,41 mrad/pixel e sensibilità di soli < 0.030°C. Mentre per la presentazione delle immagini si è utilizzata la risoluzione UltraMax® 640 × 280 pixel e la modalità MSX (Multi Spectral Dynamic Imaging), che permette di visualizzare immagini termiche in cui i contorni degli oggetti sono ottimizzati con dettagli dell'immagine visiva.

Le immagini sono state ottenute con emissività pari a 0.95 e vengono visualizzate in falsi colori.

Considerazioni iniziali

Tra gli aspetti da tenere in considerazione nella successiva interpretazione dei dati, si fa presente che:

- impiegando i raggi solari come fonte di calore ed essendo il monumento non movimentabile, esso non riceve il riscaldamento in maniera omogenea su tutti i lati. Alcune parti della superficie possono quindi non essere scaldate o ricevere calore solo per trasmissione proveniente dal lato opposto del monumento. Parti che risultano più calde o più fredde possono quindi essere dovute al diretto irraggiamento solare o a zona d'ombra;
- i monumenti bronzei ottocenteschi erano generalmente realizzati con assemblaggio di diverse parti, ogni pezzo può quindi avere spessori di bronzo differenti oltre che una composizione diversa della lega e questi aspetti possono variare la risposta termica finale. Ad esempio una maggiore percentuale di rame comporta una maggiore conducibilità del calore;
- le parti isolate possono inoltre avere un diverso comportamento termico in quanto la loro superficie è completamente circondata dall'aria e non hanno interazione con la parte principale del monumento;
- la possibile presenza all'interno del monumento di materiali interni differenti, come la presenza della terra di fusione o di vuoti, possono contribuire a complicare ulteriormente la lettura;
- colori diversi del bronzo, come la presenza di croste nere, potrebbe creare variazioni di assorbimento termico a parità di materiali e spessori;
- infine materiali diversi sul bronzo, come parti metalliche possono rispondere diversamente termicamente.

Date queste premesse, non avendo disponibili dati sulla composizione dei materiali che compongono il monumento e sul metodo costruttivo, si può solo ipotizzare tali dati sulla base del diverso comportamento termico.

Sarebbe necessaria, per confronto, una mappatura con i dati ottenuti sulla composizione della lega delle diverse parti del monumento mediante indagini in fluorescenza a raggi X oltre che indagini radiografiche per capire la presenza all'interno di vuoti, fratture, barre metalliche o di terra di fusione. Inoltre sarebbe utile un confronto con un esperto dei metodi costruttivi dei monumenti dell'epoca.

In mancanza di tali confronti i risultati non possono essere esaustivi, non è possibile ad esempio definire se il cavaliere è solo appoggiato o unito al cavallo.

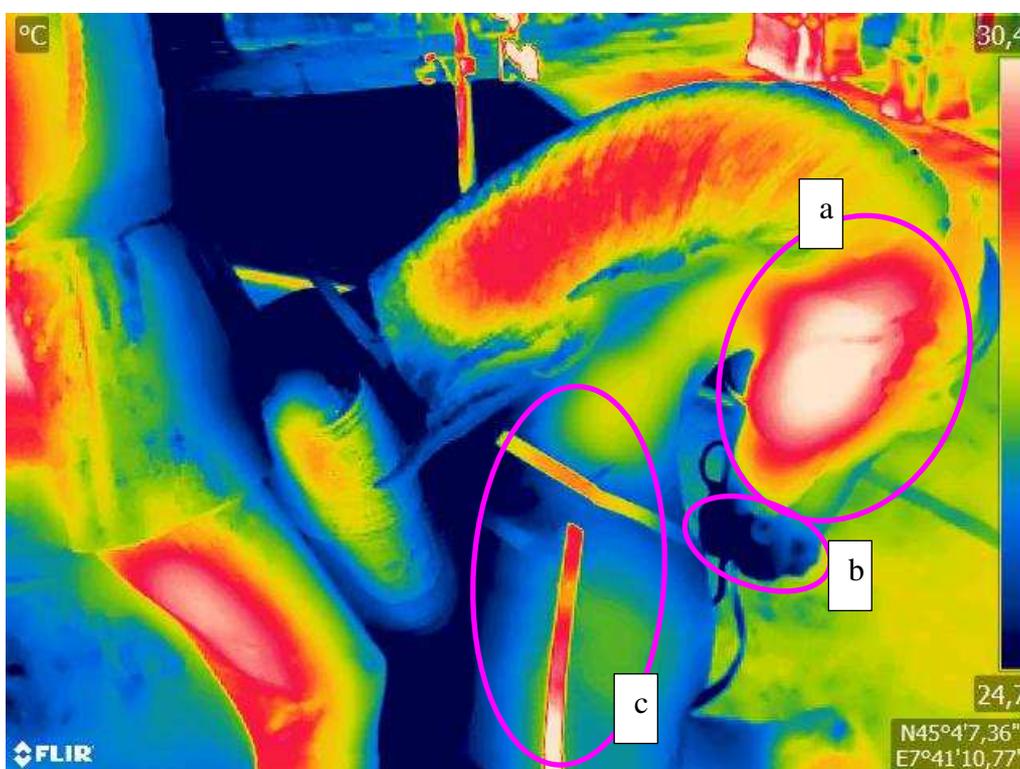
Le temperature rilevate sul monumento nell'arco temporale di una giornata di sole di inizio agosto sono state:

- minimo: 19,7°C (alla mattina – posizione sole A);
- massimo: 55 °C (a mezza giornata – posizione sole B).

Descrizione dei risultati

A - Mattina

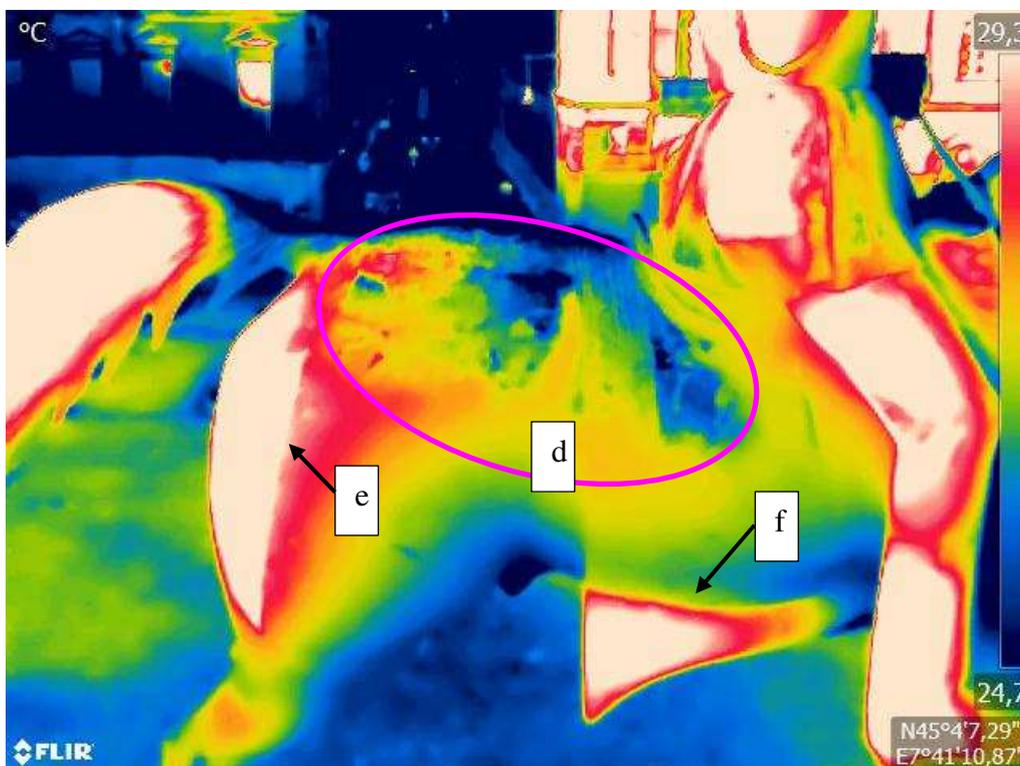
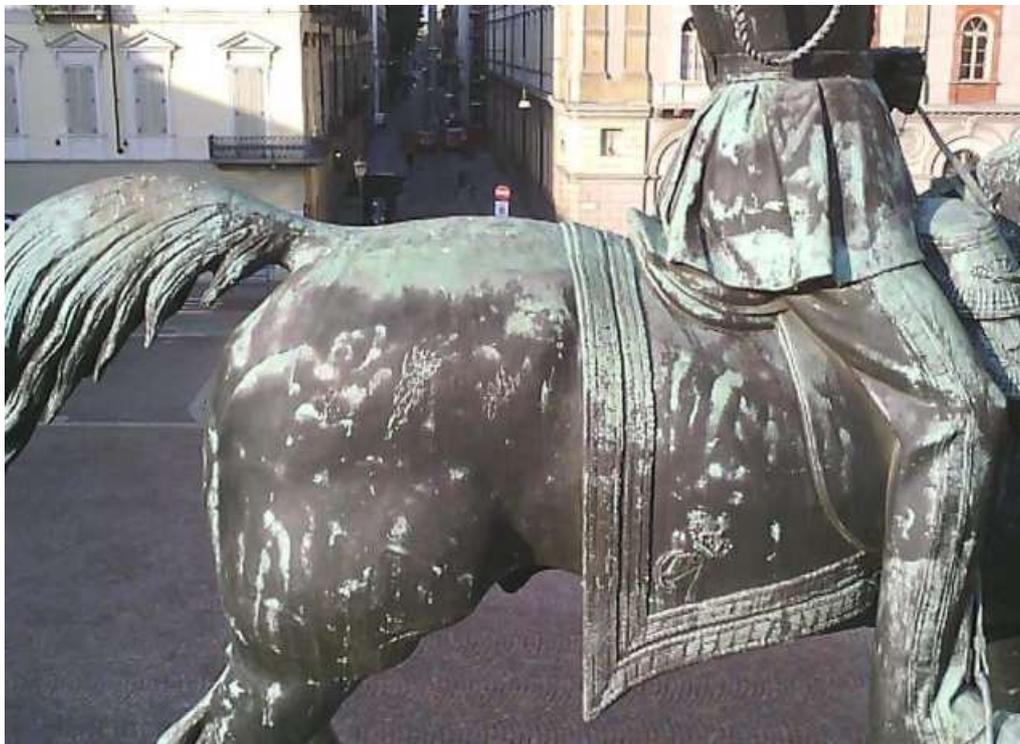
Il rilievo eseguito in questa fase aveva lo scopo di indagare la risposta termica del monumento in fase di riscaldamento. Si individuano ad esempio parti esposte direttamente a irraggiamento solare, più calde (a), e parti in ombra, più fredde (b). A parità di irraggiamento si individuano però delle differenze termiche dovute all'impiego di materiali diversi (c).



Posizione del sole A – lato esposto ad irraggiamento solare

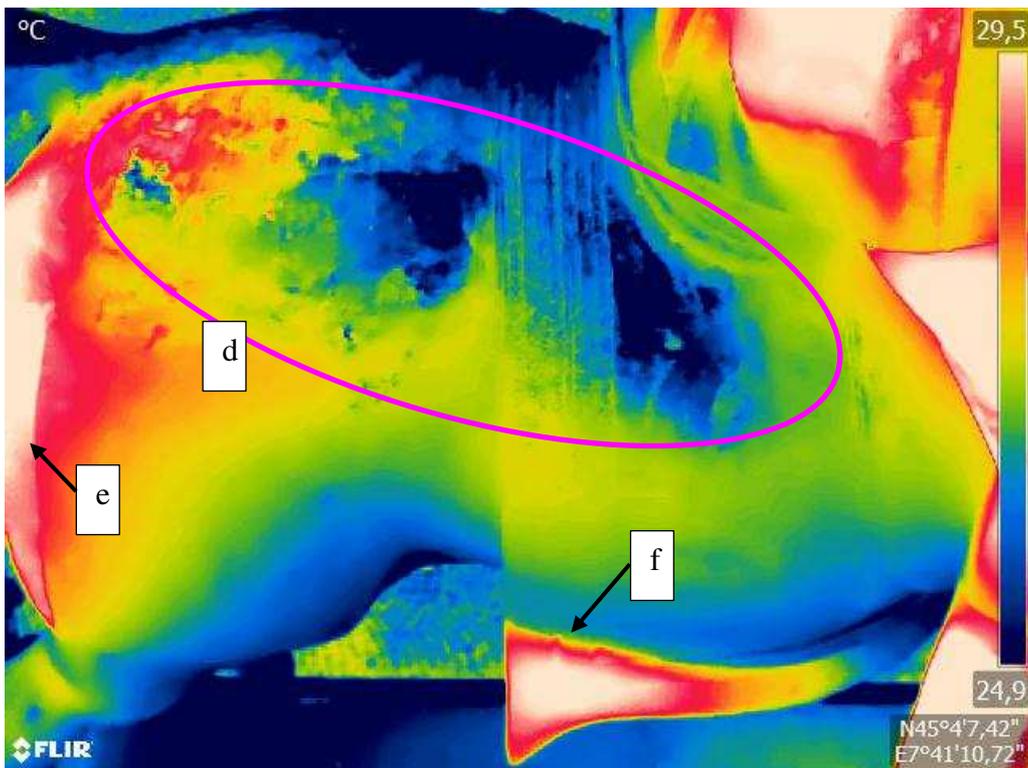
Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

Nella parte di groppa del cavallo si individuano delle diversità termiche a parità di esposizione ai raggi solari. Ciò potrebbe essere dovuto a diversità di spessore o di materiale (d). In corrispondenza della natica si individua inoltre una parte nettamente più calda, potrebbe trattarsi di una toppa inserita per un difetto di fusione (e). La parte di coperta sotto il ventre risulta inoltre scaldarsi più velocemente, questo potrebbe essere dovuto in parte al fatto che la superficie si scalda prima perché non è in contatto con il ventre e in parte, come osservabile distintamente in luce visibile, si tratta di un pezzo distinto giuntato al corpo principale (f).



Posizione del sole A – lato esposto ad irraggiamento solare

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com



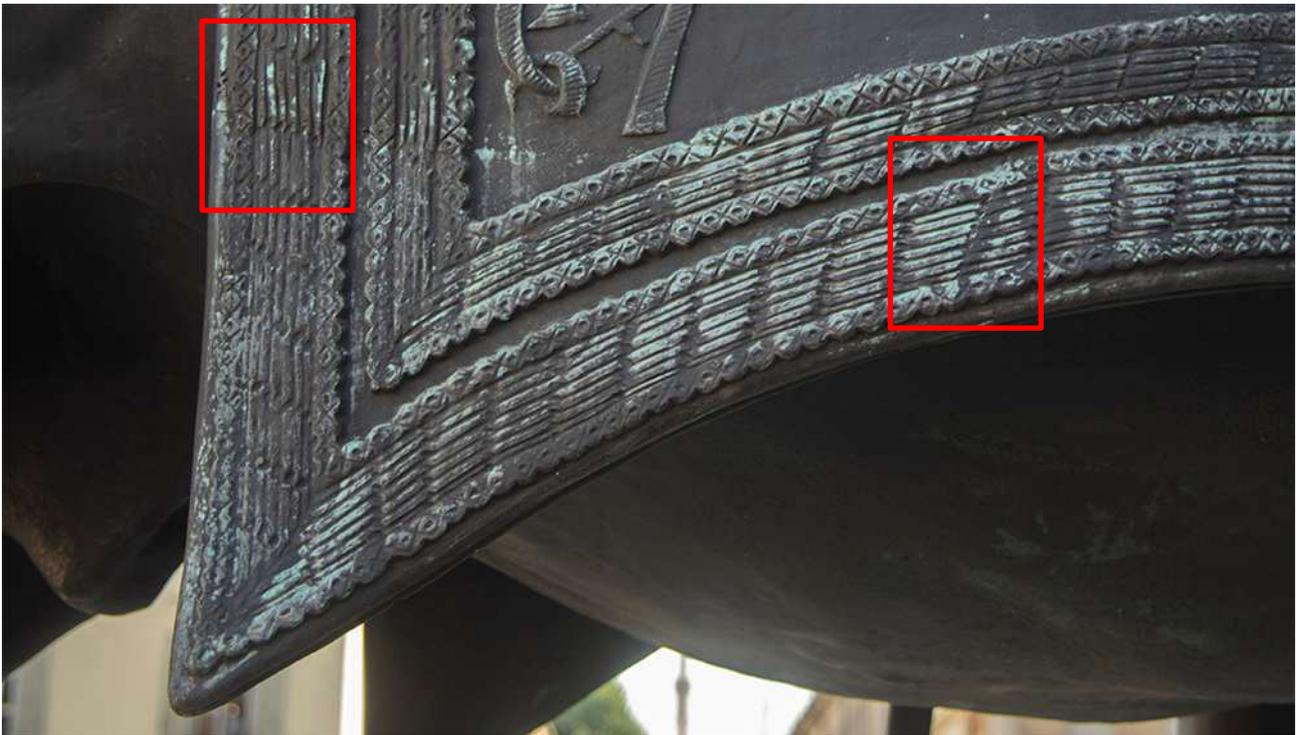
Posizione del sole A – lato esposto ad irraggiamento solare (dettaglio)

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com



Particolare in luce visibile

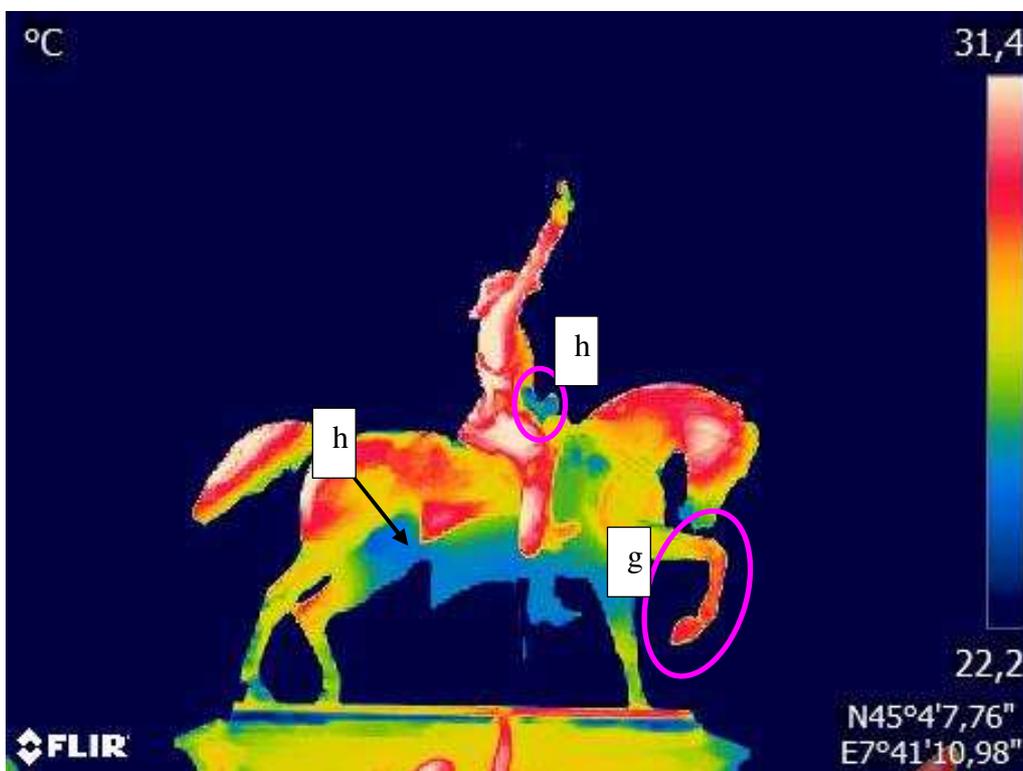
Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com



Particolare e dettagli della coperta in luce visibile

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

La zampa anteriore destra rimane più calda rispetto alle altre tre. Ciò potrebbe essere dovuto a vari fattori tra cui: che maggiore superficie risulta esposta ai raggi solari e che non avendo funzione strutturale può essere più leggera rispetto alle altre zampe (g). Il ventre e le altre parti in ombra, non prendendo mai il sole diretto, rimangono invece più fredde (h).



Posizione del sole A – lato esposto ad irraggiamento solare

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

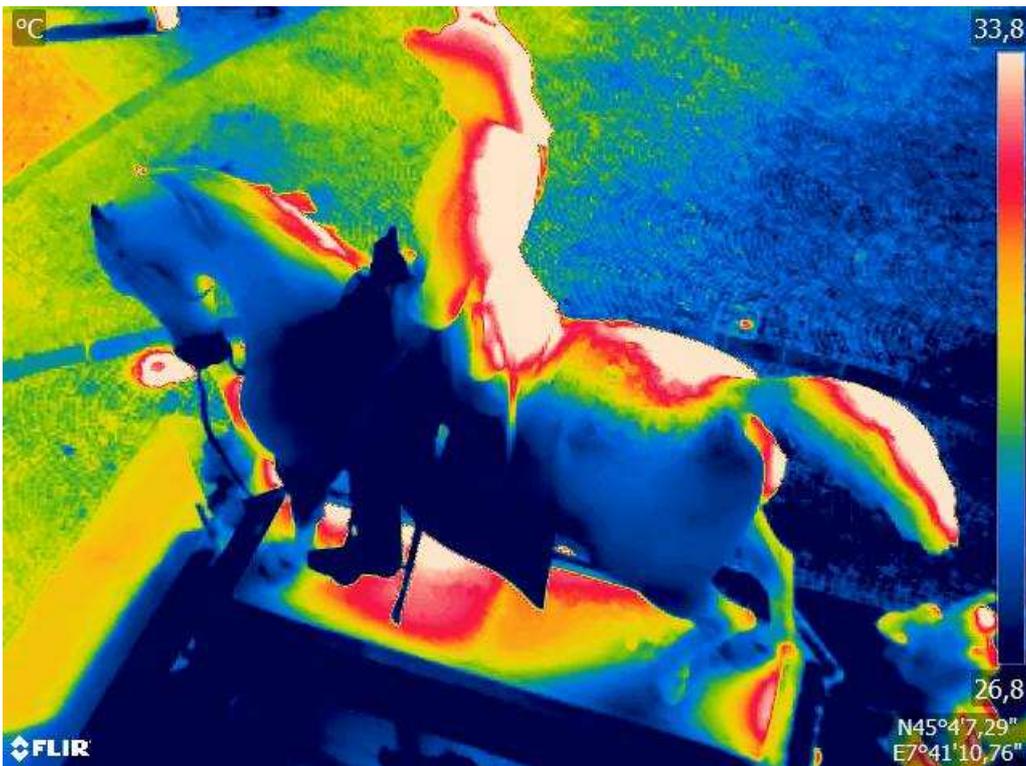
Le indagini termografiche sul cavaliere mostrano differenze termiche perlopiù tra il lato direttamente irraggiato dal sole e quello in ombra. L'elemento isolato, a forma di treccia, risulta scaldarsi più lentamente rispetto alle zone limitrofe, ciò potrebbe essere dovuto ad una diversa composizione della lega (i). Nella parte bassa della veste la differenza termica potrebbe essere dovuta ad un diverso colore del bronzo (j).



Posizione del sole A – lato esposto ad irraggiamento solare

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

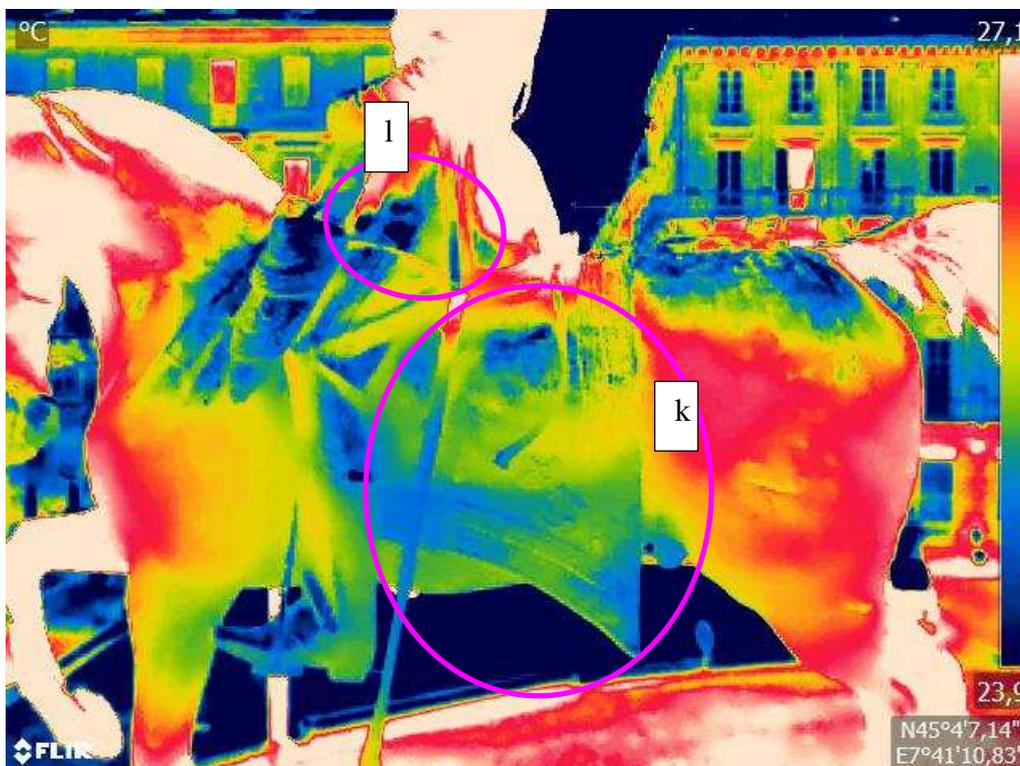
L'immagine termografica dall'alto mette in evidenza una netta differenza termica tra il lato del monumento esposto ad irraggiamento solare e il lato in ombra.



Posizione del sole A – lato non esposto ad irraggiamento solare

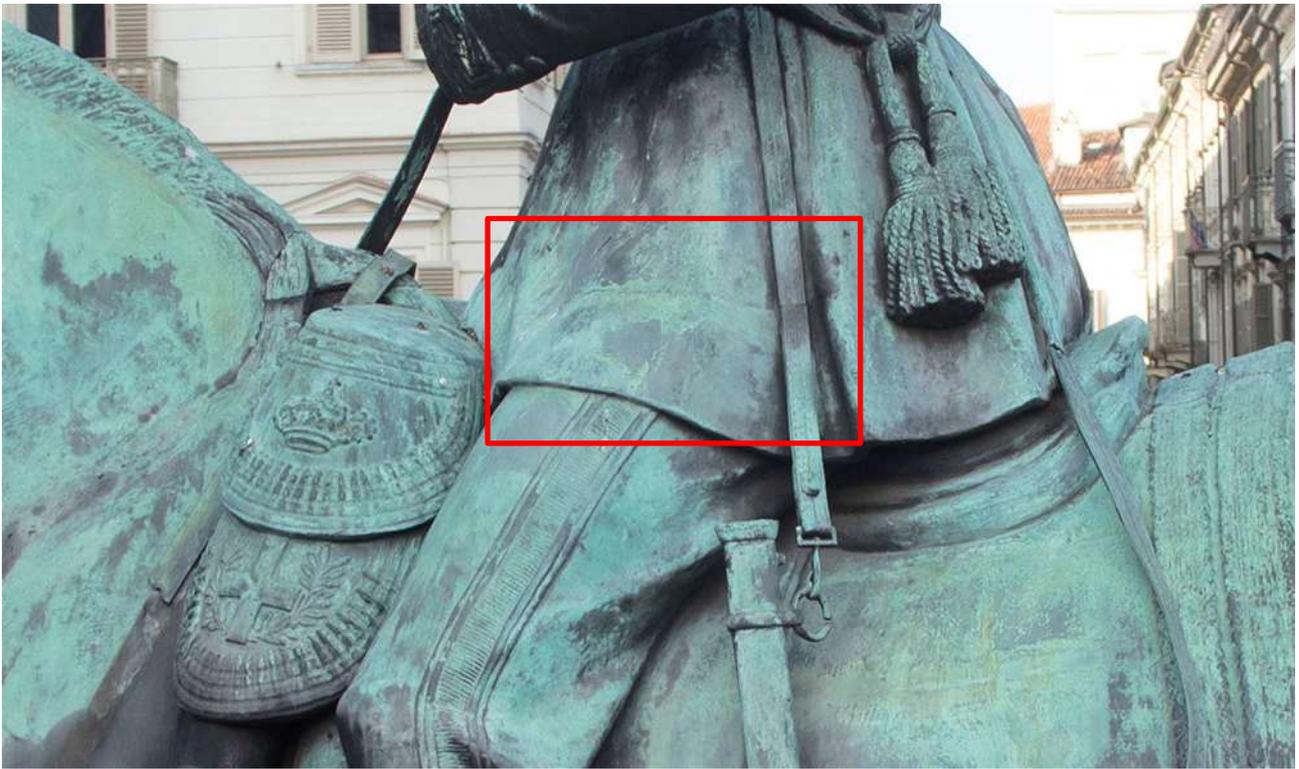
Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

Il lato in ombra del monumento mostra differenze termiche dovute perlopiù alla capacità di ricevere calore dal lato opposto del monumento. Nelle parti più grandi e più spesse di monumento (k) il calore si trasmette infatti più lentamente, rimanendo quindi più fredde. Inoltre le parti di bronzo più scure accumulano maggiormente il calore. La zona della casacca che rimane più fredda sembra invece corrispondere ad una zona distaccata e giuntata successivamente (l).



Posizione del sole A – lato non esposto ad irraggiamento solare

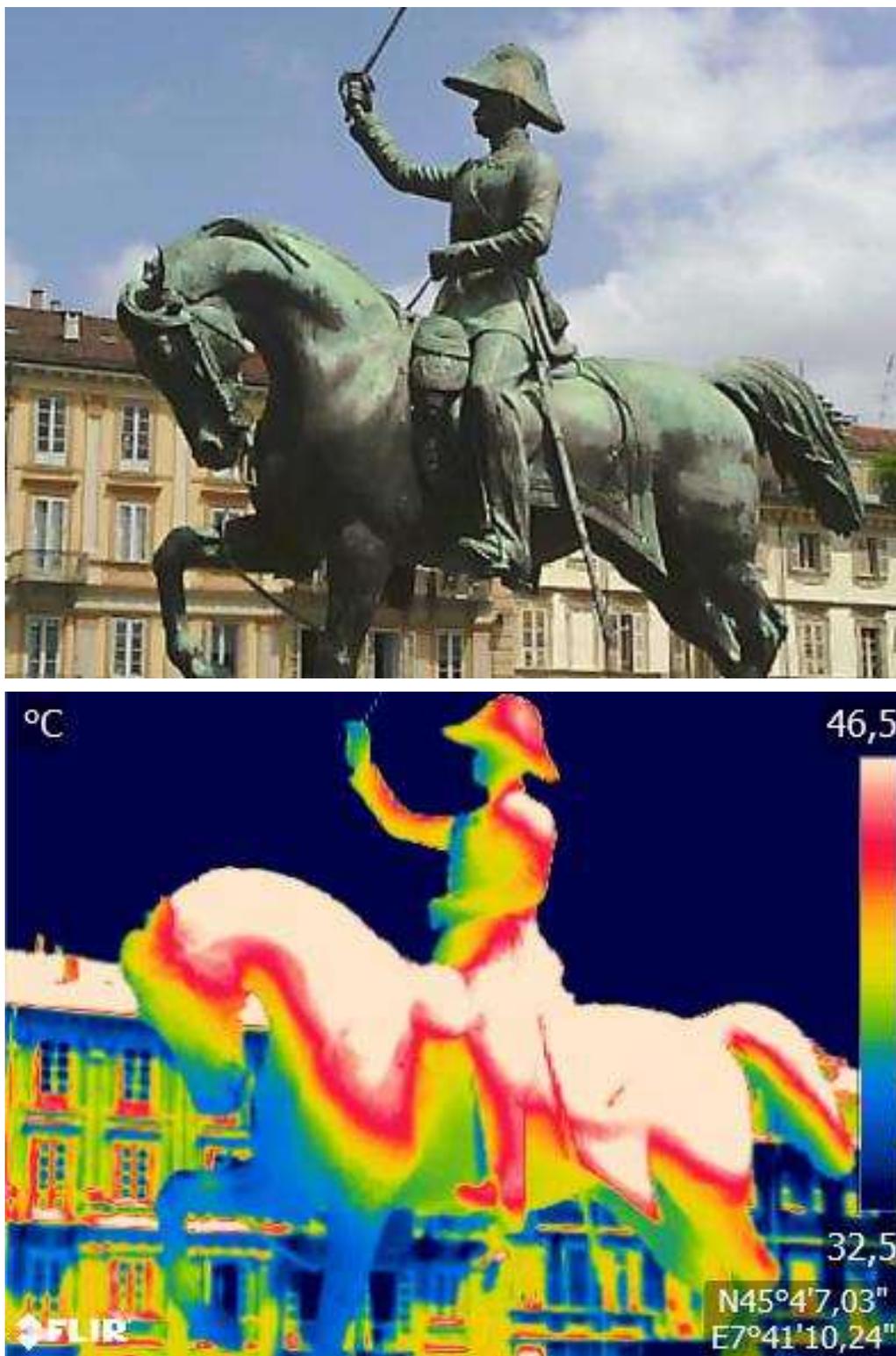
Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com



Particolare e dettaglio in luce visibile

B – Mezza giornata

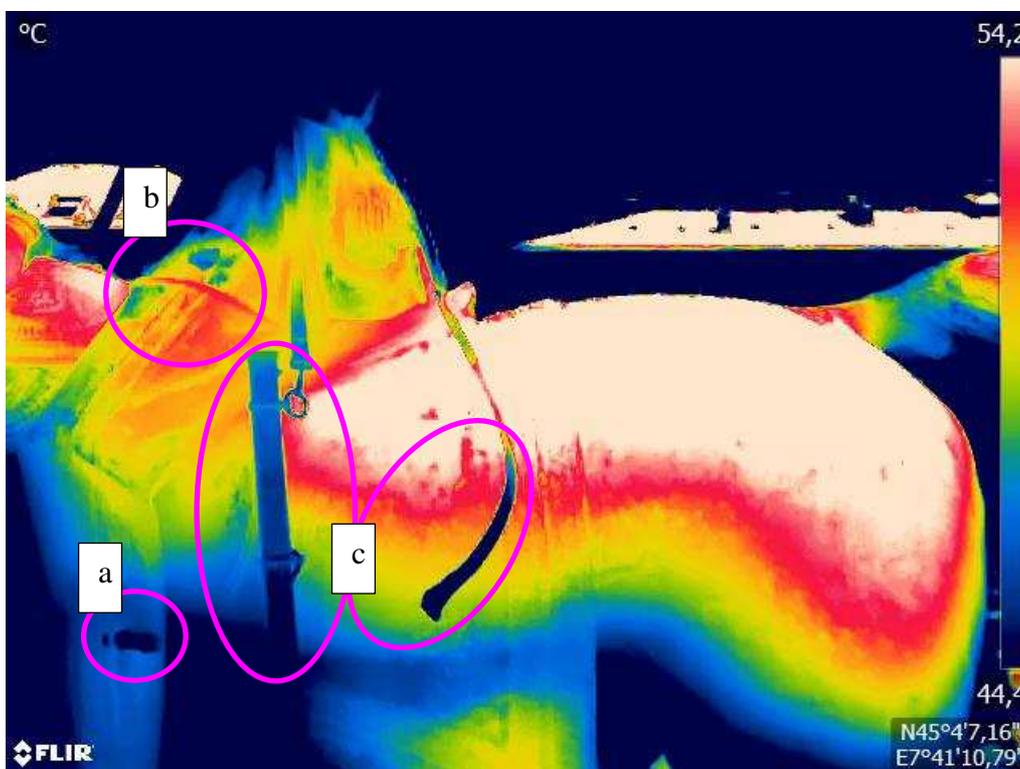
Il rilievo eseguito in questa fase aveva lo scopo di indagare la risposta termica del monumento nel momento più caldo della giornata. In questa fase i raggi solari sono in posizione verticale, scaldando quindi maggiormente le superfici superiori del monumento.



Posizione del sole B

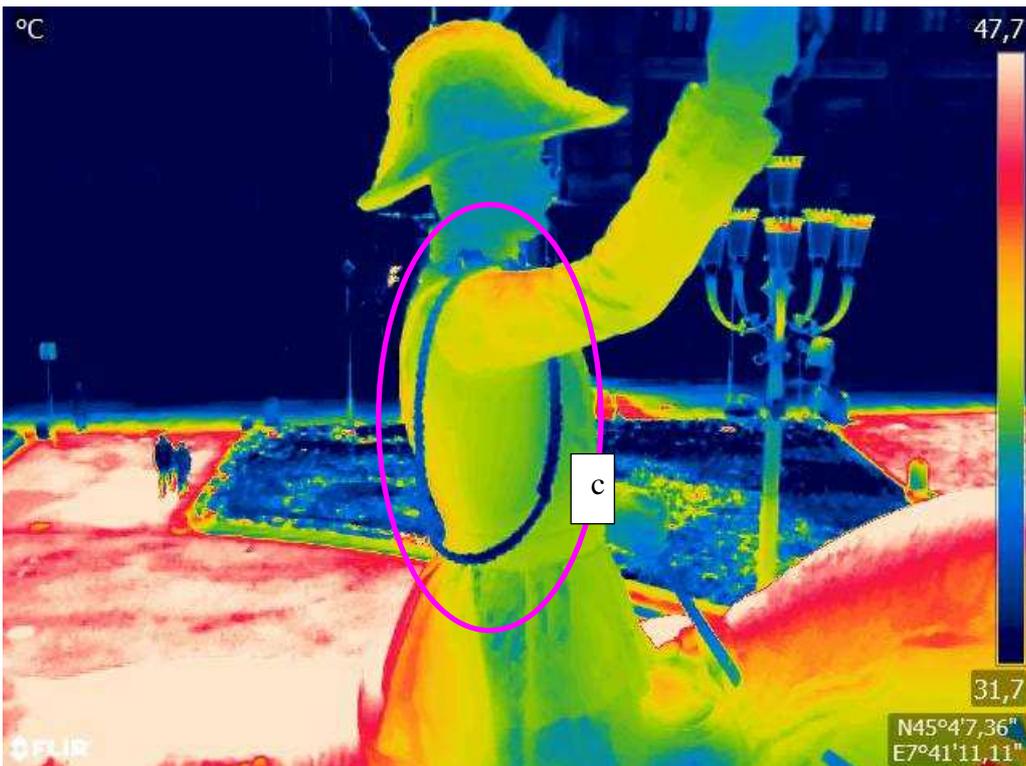
Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

Sulla gamba sinistra del cavaliere si riconosce un successivo intervento di restauro eseguito con materiale differente. Esso rimane infatti più freddo rispetto alla superficie limitrofa (a). Si individuano inoltre altre macchie con una differente risposta al riscaldamento rispetto alle zone limitrofe, occorrerebbero dei confronti per comprendere se possano essere dovuti a diverso materiale (b). Parti più sottili e distaccate risultano più fredde (c).



Posizione del sole B

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

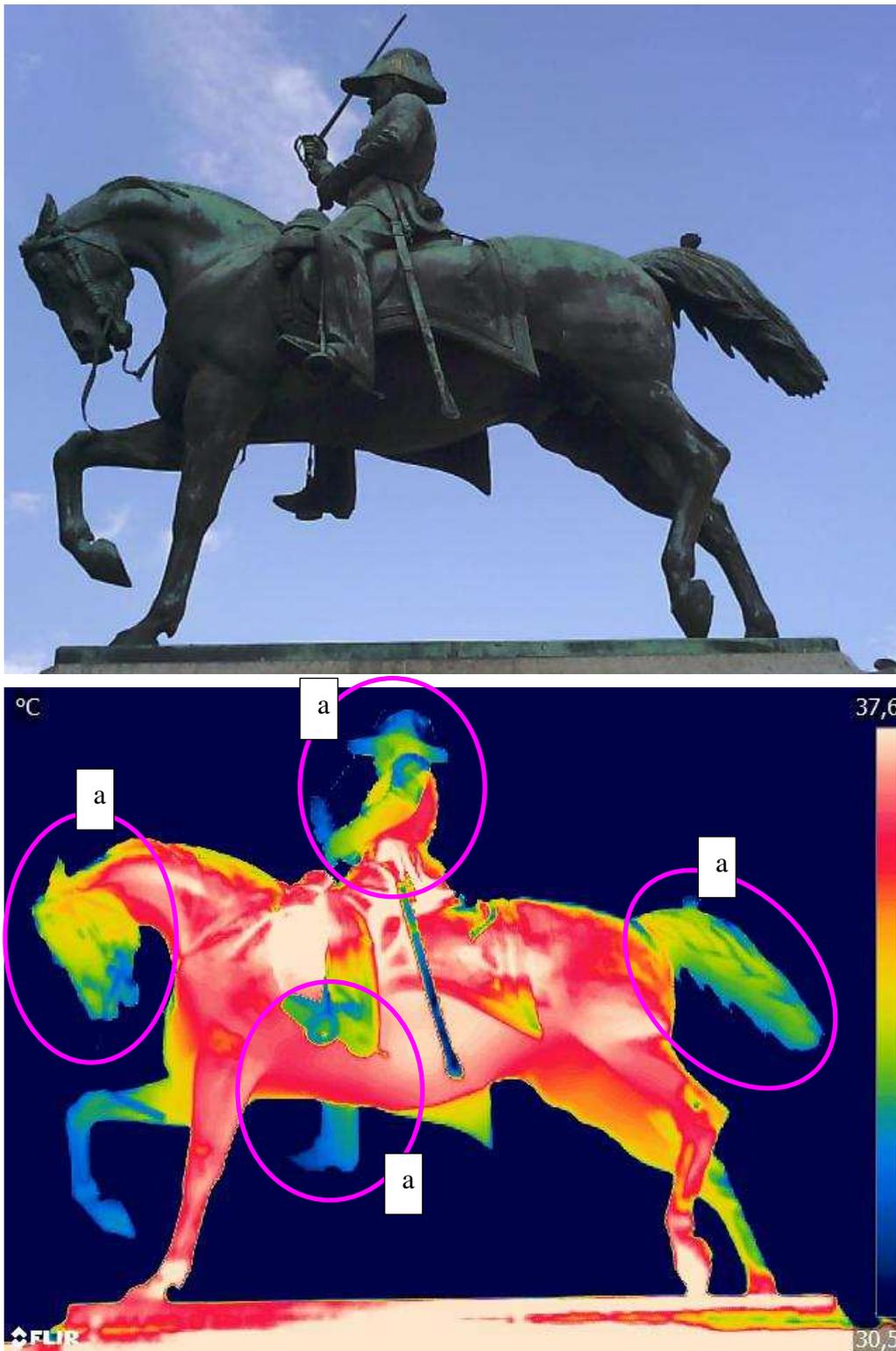


Posizione del sole B

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

C – Sera

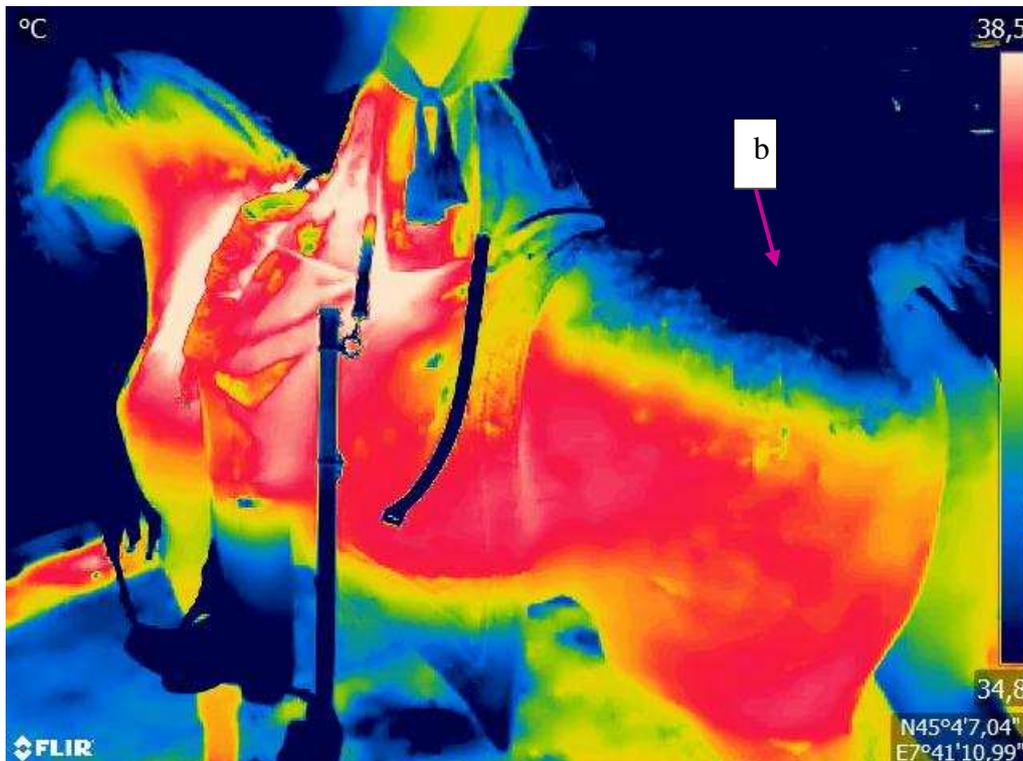
Il rilievo eseguito in questa fase aveva lo scopo di indagare la risposta termica del monumento in fase di raffreddamento. Il sole nelle ore precedenti a queste indagini ha scaldato il lato sinistro del monumento che in questa fase risulta quindi più caldo del lato destro. Durante il rilievo eseguito in questa fase, la testa e la coda del cavallo cominciano a raffreddarsi per prime, così come la testa, le braccia e i piedi del cavaliere (a).



Posizione del sole C

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

Anche la groppa del cavallo (b) risulta raffreddare prima della parte sinistra del corpo. Probabilmente ciò è dovuto al fatto che si trova maggiormente in prossimità con la parte di corpo che è andata prima in ombra.



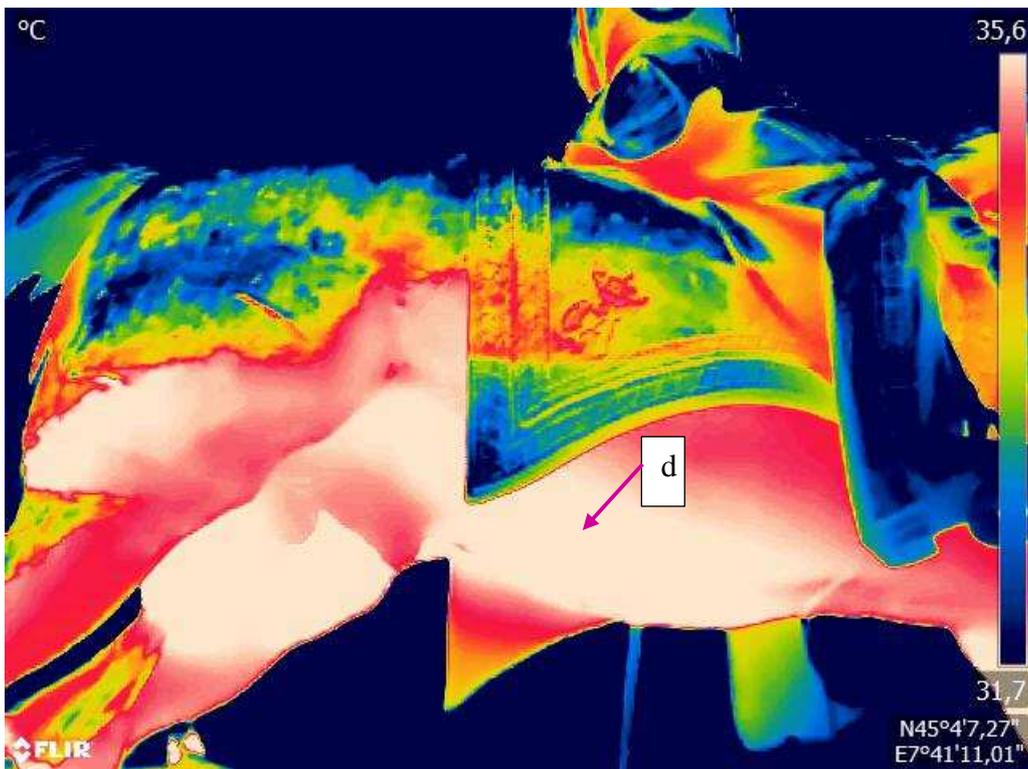
Posizione del sole C

Dal confronto tra le zampe anteriori si può notare che quella sollevata si raffredda prima (c). Ciò può essere in parte dovuto al fatto che sia andata per prima in ombra ma torna anche con l'ipotesi che sia più vuota rispetto alla zampa anteriore sinistra in quanto questa non ha funzione di sostegno. Inoltre il ventre (d), che non ha mai ricevuto irraggiamento diretto del sole, risulta mantenere più a lungo il calore. Ciò porterebbe ad ipotizzare la presenza all'interno di terra di fusione.



Posizione del sole C

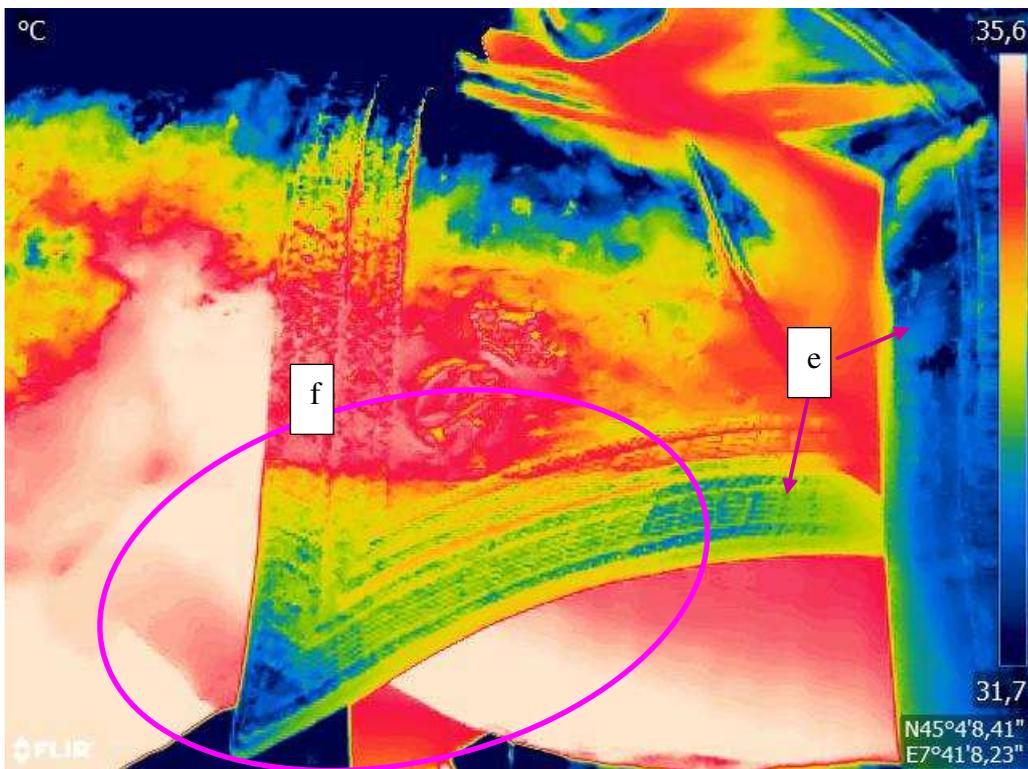
Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com



Posizione del sole C

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

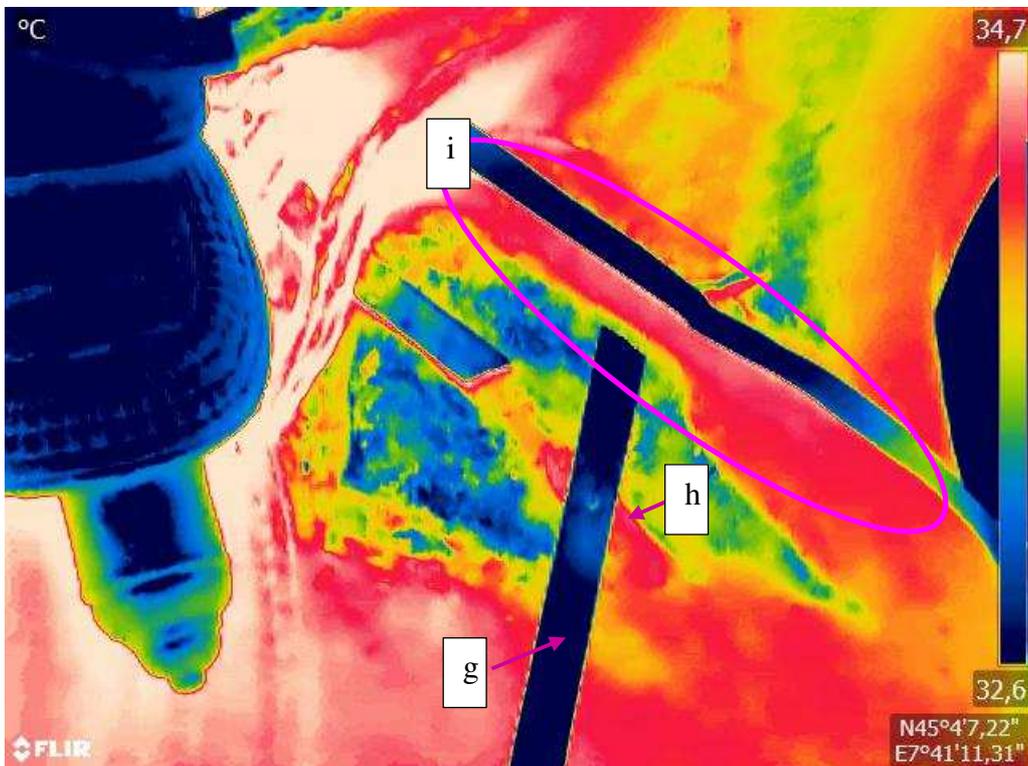
La parte bassa di coperta, essendo staccata dalla restante parte del corpo si raffredda più velocemente, così come la gamba del cavaliere (e), rispetto al corpo centrale del cavallo. La punta della coperta si distingue inoltre in maniera netta, ciò è invece riferibile ad una aggiunta durante la ricomposizione della fusione (f).



Posizione del sole C

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

Le indagini in questa fase hanno inoltre permesso di individuare le briglie metalliche più fredde al corpo in quanto realizzate in materiale differente (g) e una banda più calda laddove erano presenti briglie e ora non ci sono più (h). Potrebbe quindi essere dovuto alla presenza di un materiale diverso. Infine si individua una parte più calda tra il collo e il corpo del cavallo, potrebbe essere in questo caso riconducibile alla giuntura tra due parti di monumento realizzate separatamente (i).



Posizione del sole C

Laboratorio Thierry Radelet
Via Modena, 58-10153 Torino - tel. 0115694875 - P.IVA. 02970940967
e-mail: t.radelet@laboratorio-radelet.com

I dati riportati in questo scritto non sono da intendersi esaustivi ma permettono di fornire una guida alla lettura autonoma delle immagini termografiche fornite in allegato. I risultati ottenuti saranno poi da confrontare con le altre tecniche diagnostiche.

Torino, 26/09/2023

In fede

Thierry Radelet