

ARTICOLO INTERNO

N° 3

**Il controllo delle temperature nel restauro delle opere d'arte:
metodiche e innovazioni tecniche**

Mario Verdelli, Nadia Presenti, Marco Goretti



Toscana Restauro Arte

Il controllo delle temperature nel restauro delle opere d'arte: metodiche ed innovazioni tecniche

Marco Goretti, Nadia Presenti, Mario Verdelli

Marco Goretti

Laureato nel 1979 in Ingegneria Nucleare presso l'Università di Pisa, ottiene numerosi incarichi dal Centro di Ricerca delle Comunità Europee di Ispra e dall'ENEA; effettua studi sulla sicurezza, affidabilità e compatibilità ambientale di componenti ed impianti. Come consulente industriale, si occupa di problematiche inerenti i controlli di qualità dei processi produttivi e le tecniche di controllo statistico.

Nadia Presenti

Dal 1988 al 1991 frequenta il Corso regionale di formazione professionale della Regione Toscana, in Cortona, per la conservazione dei Beni Culturali; negli ultimi due anni del corso si specializza nella conservazione e nel restauro dei dipinti su tela e su tavola, sotto la direzione del Dr. Marco Ciatti e degli insegnanti dell'OPD. Dal 1991 lavora come professionista per Musei comunali, Enti Ecclesiastici e collezionisti privati. Collabora con la Soprintendenza ai Beni A.A.A.S. di Arezzo.

Mario Verdelli

Specializzato nelle nuove tecnologie della conservazione dei dipinti, in particolare nelle tecniche del «sotto-vuoto», svolge attività di ricerca e di consulenza per Enti pubblici e privati. Collabora, con altri restauratori, con la Soprintendenza ai Beni A.A.A.S. di Arezzo.

Introduzione

Durante gli ultimi anni è entrato nella pratica corrente degli studi di restauro l'utilizzo di prodotti a base di resine sintetiche, quali il Plexisol, il Beva, il Mowilith ecc., particolarmente sensibili al calore, che per essere attivati correttamente necessitano di temperature ben determinate; mentre temperature eccessive possono provocare gravi danni ai leganti dei pigmenti nei dipinti ad olio.

Gli apparecchi in commercio non sembrano garantire la precisione richiesta dalle più recenti metodiche di lavoro; in particolare i ferri riscaldati, estesamente utilizzati nelle attività di restauro, non sono progettati e realizzati per soddisfare queste specifiche esigenze e questo indipendentemente dal costo e dalla configurazione degli apparecchi; le tolleranze sui valori di temperatura impostati o indicati dagli strumenti vanno ben al di là dei limiti previsti da un corretto operare.

L'intento della presente ricerca è stato quello di studiare, con metodo scientifico ed in maniera sistematica, il comportamento degli strumenti eroganti calore durante le operazioni di conservazione e restauro delle opere d'arte, verificando le effettive temperature raggiunte dai materiali sottoposti al flusso di calore, nelle diverse condizioni operative.

Nell'ambito di questo studio è stato altresì sviluppato e realizzato un originale progetto di apparecchiatura¹ per il controllo ed il mantenimento della temperatura, con tolleranze di lavoro estremamente ridotte.²

Il controllo della temperatura

È stato affrontato, relativamente ai ferri riscaldati, il problema del controllo della temperatura, prendendo in considerazione le tipiche attività di uno studio di restauro. È sembrato particolarmente significativo capire il reale comportamento dei ferri comunemente in uso, attraverso simulazioni e prove specifiche, individuando i «punti deboli» e progettando eventuali soluzioni alternative.

Le indagini sono state condotte in maniera sistematica ed estesa, scartando quei risultati che apparivano incerti e non riproducibili; la strumentazione utilizzata per le misure è stata opportunamente calibrata prima di essere adoperata, e mantenuta sotto controllo durante il periodo di utilizzo. Sono state effettuate prove di simulazione di rintelaggi, utilizzando una tela di lino greggio, in modo da simulare la superficie di un dipinto; sulla superficie del tessuto è stata applicata, come strumento di controllo, una sensibilissima sonda a forma di piastra (cm 4 x cm 4) costruita appositamente e collegata ad un sistema computerizzato di registrazione dei dati.

Come apparecchi sottoposti a test di verifica, sono stati scelti alcuni comuni ferri riscaldati di diverse marche (nuovi e sottoposti a verifica preliminare), al fine di una analisi comparata. Per le prove i ferri sono stati regolati con il termostato in corrispondenza della prima «tacca», che visivamente corrisponde ad un «pallino nero» o alla scritta «sintetico», che rappresenta la situazione comune di utilizzo a bassa temperatura.

Marca	Temperatura media misurata [°C]	Temperatura massima raggiunta (*) [°C]	Temperatura minima raggiunta (**) [°C]	Escursione termica [°C]
Rowenta 1000 W	85	90	65	25
Mouline 1600 W	90	95	65	30
Olimpic 1000 W	95	105	70	35

(*) Spia del termostato spenta; la temperatura massima viene raggiunta, per effetto dell'inerzia termica, alcuni secondi dopo lo spegnimento della spia stessa; questo effetto viene mitigato dallo scambio di calore con la tela.
(**) Temperatura alla quale la spia del termostato si accende nuovamente e consente l'erogazione di energia (dopo il primo ciclo di riscaldamento).

Tabella 1 – Temperature misurate durante la prova comparata di tre ferri riscaldati

Tabella 1

Dopo l'accensione dei ferri, si è atteso lo spegnimento della spia di segnalazione «temperatura raggiunta», si è quindi proceduto alla simulazione, con movimenti circolari, di una foderatura di un dipinto collocato a faccia verso l'alto; i risultati ottenuti sono sintetizzati nella Tabella 1.

Come è facilmente osservabile, l'elevata temperatura massima raggiunta (seconda colonna) e l'escursione termica misurata (ultima colonna) rappresentano una situazione di estrema pericolosità per il dipinto oggetto del restauro.

È stato quindi verificato il sistema di alimentazione dei ferri riscaldati, detto «o tutto o niente», che consiste nell'erogare alla piastra tutta la potenza disponibile, per poi interromperla ciclicamente; quando la temperatura sale ed il termostato esclude l'alimentazione, la piastra del ferro continua ad aumentare la propria temperatura per effetto dell'elevata inerzia termica, raggiungendo valori ben al di sopra di quelli richiesti con l'impostazione del termostato; durante le prove, con ferri non operanti (od operando in situazioni di basso scambio termico con la tela), sono stati misurati superamenti che vanno dai 10 °C ai 18 °C.

Nei grafici seguenti sono stati rappresentati alcuni dei risultati ottenuti durante le prove a vuoto (cioè con ferro non operante, appoggiato su apposito supporto, scambiante calore solo con l'atmosfera); le corrispondenti prove su tela, come già indicato in precedenza, risultano influenzate da molti parametri, ed i risultati sono più complessi, anche se l'andamento delle curve segue sostanzialmente quello delle prove a vuoto illustrate nei grafici 1 e 2.

Da tutte le prove effettuate è evidente che operando con i normali ferri riscaldati si mette a repentaglio la mobilità stessa del colore, per non parlare di tele sensibili al calore, che sicuramente si onduleranno; inoltre come già precedentemente accennato, le reali escursioni termiche non sono compatibili con le modalità di impiego delle nuove generazioni di prodotti chimici.

D'altra parte come possiamo rilevare dal grafico 2 non è possibile utilizzare i ferri riscaldati a bassa temperatura (40-45 °C) in quanto per le escursioni termiche elevate (la temperatura oscilla tra i 30 °C e i 55 °C circa), si opererebbe per lunghi periodi di tempo alla temperatura ambiente, rendendo inutili le operazioni di restauro.

Grafico 1 – Prova di due ferri non operanti (a vuoto), selezionati su «rayon/nylon». Le prove sono state effettuate alla temperatura ambiente di circa 20 °C

Grafico 2 – Prova di un ferro Olympic 1000 W, a vuoto, selezionato su diverse temperature (40 °C, 60 °C, 80 °C, 100 °C). Le prove sono state effettuate alla temperatura ambiente di circa 20 °C

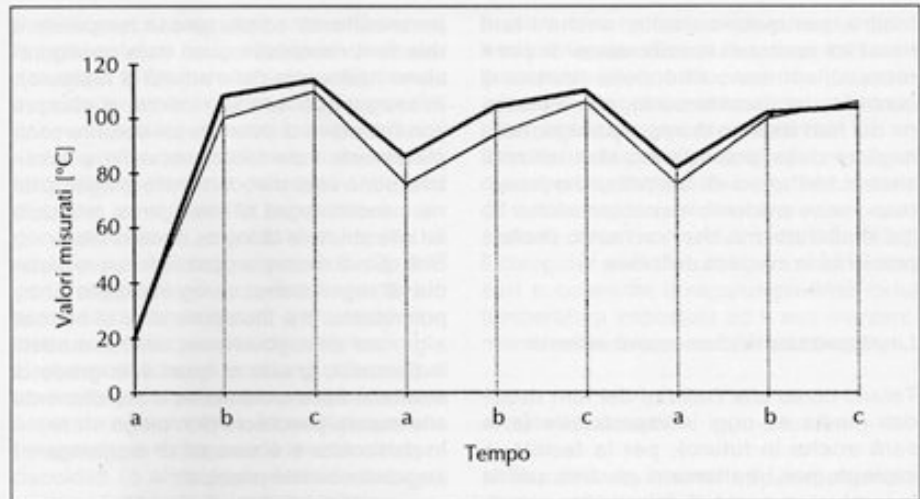


Grafico 1

— Ferro riscaldato ROWENTA 1000 W
 - - - Ferro riscaldato OLIMPIC 1000 W

a-b = ciclo di riscaldamento
 b-c = aumento di temperatura dovuto all'inerzia termica
 c-a = raffreddamento

Nota: i termostati sono stati impostati, su entrambi i ferri, su «rayon/nylon»; è evidente il comportamento sostanzialmente analogo dei termostati bimetallici.

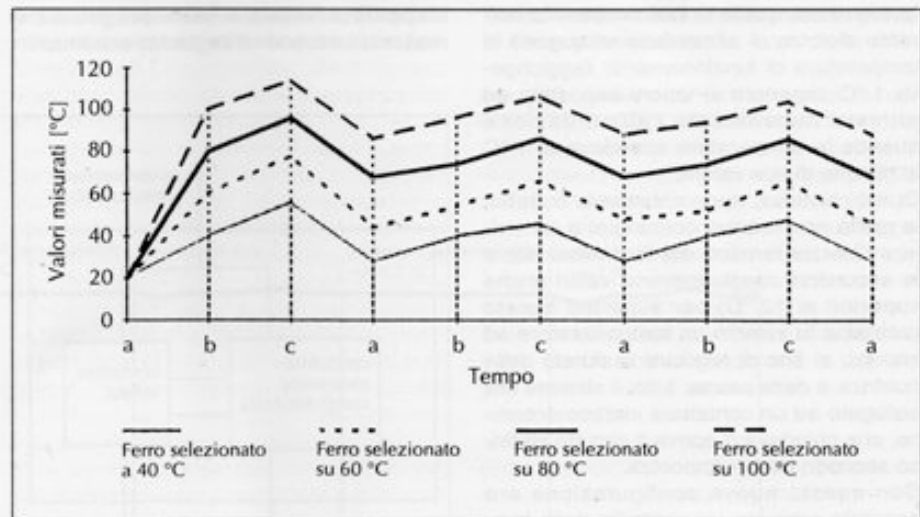


Grafico 2

a-b = ciclo di riscaldamento
 b-c = aumento di temperatura dovuto all'inerzia termica
 c-a = raffreddamento

Nota: per tutte le temperature selezionate, le escursioni termiche sono risultate pressoché uguali.

Inoltre, per quanto risulta, anche i ferri riscaldati realizzati specificatamente per il restauro, non sono altro, nella struttura di controllo del riscaldamento, che imitazione dei ferri da stiro di uso casalingo; nella migliore delle ipotesi, sono stati utilizzati sistemi elettronici di controllo, che hanno reso meno evidenti le problematiche fin qui analizzate, ma che non hanno risolto il problema in maniera definitiva.

La progettazione di un nuovo sistema

Tenuto conto che l'utilizzo dei ferri riscaldati risulta ad oggi indispensabile (e lo sarà anche in futuro), per la facilità di impiego, per i trattamenti parziali, per la foderatura a pasta di tele molto grandi, nonostante la disponibilità di tecnologie quali la tavola calda, si è ritenuto utile proseguire le ricerche cercando di progettare sistemi alternativi per la soluzione delle problematiche del controllo della temperatura.

È stato costruito un primo apparecchio dotato di sonde e di termostato elettronico con temperatura programmabile, la cui funzione era quella di interrompere la corrente elettrica di alimentazione quando la temperatura di funzionamento raggiungeva 1 °C superiore al valore impostato ed attivare nuovamente l'alimentazione quando la temperatura scendeva di 1 °C al di sotto di tale valore.

Questo sistema, apparentemente corretto, in realtà non riusciva comunque a controllare l'inerzia termica dei ferri riscaldati, e le escursioni raggiungevano valori anche superiori ai 12 °C; per superare questo problema fu inserito un temporizzatore ad impulsi, al fine di regolare la durata della potenza e delle pause; tutto il sistema era collegato ad un contattore elettromeccanico, che chiudeva o apriva il circuito elettrico secondo i tempi impostati.

Con questa nuova configurazione era possibile ottenere un controllo della temperatura decisamente buono; purtroppo, per ogni tipo di lavoro e per ogni temperatura impostata, era necessaria una regolazione manuale sempre diversa; inoltre risultava piuttosto difficile pilotare contem-

poraneamente ed alla stessa temperatura due ferri riscaldati uguali (tale configurazione risulta utile nelle attività di restauro). Proseguendo con la ricerca, e sempre con l'obiettivo di ottenere un sistema completamente automatico, versatile e flessibile, sono stati introdotti nella progettazione, concetti legati all'intelligenza artificiale ed alle strutture di logica decisionale.

Si è quindi messo a punto un nuovo sistema di regolazione, completamente computerizzato, che incorpora oltre ai normali algoritmi di regolazione, anche modelli matematici, grazie ai quali è in grado di adattarsi autonomamente e rapidamente alle mutate condizioni di impiego.

In particolare si è cercato di raggiungere i seguenti obiettivi principali:

- mantenimento della temperatura impostata entro uno stretto intervallo, in tutte le condizioni operative
- mantenimento delle stesse caratteristiche di funzionamento per un ampio intervallo di temperature
- facilità di utilizzo
- possibilità di pilotare contemporaneamente forme differenti di ferri riscaldati, termocauteri, tavole calde.

L'apparecchiatura è stata progettata e realizzata secondo il seguente schema:

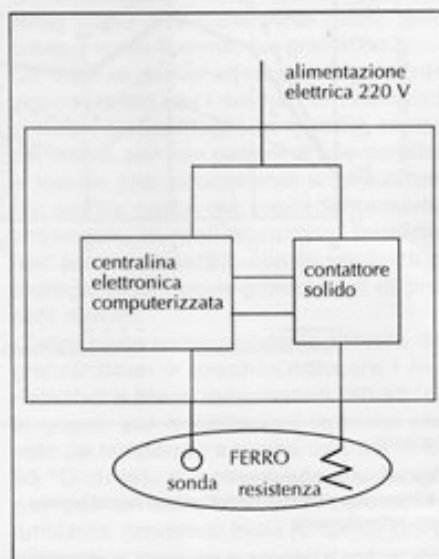


Grafico 3 – Prova funzionale dell'apparecchiatura nelle diverse condizioni operative, alla temperatura ambiente di circa 20 °C. Temperatura impostata: 65 °C

Il microprocessore presente all'interno, rappresenta un vero e proprio computer asservito all'apparecchio; configurando opportunamente i parametri di controllo, possono essere ottenuti comportamenti «intelligenti»: durante il transitorio successivo all'accensione, i dati relativi ai flussi di calore ed ai valori di temperatura vengono processati, e tradotti in impulsi di energia variabili nel tempo. Con ciò vengono raggiunti gli importanti obiettivi in precedenza sintetizzati, attraverso una totale automatizzazione del sistema.

L'apparecchiatura è dotata di due unità di controllo e propulsione, completamente separate ed autonome, le quali rilevano la temperatura delle sonde poste nei ferri riscaldati (o altro apparecchio analogo), misurandone la potenza assorbita.

Il collegamento a due contattori elettronici allo stato solido, fornisce la potenza alle resistenze dei ferri riscaldati con impulsi elettrici e pause, la cui frequenza viene variata con segnali elettronici dalla centralina computerizzata.

Ogni unità di controllo è dotata di una tastiera per l'impostazione della temperatura, di un display per la visualizzazione della temperatura impostata e di quella misurata; un tasto attiva una funzione par-

ticolare che rende completamente automatica l'auto sintonizzazione di tutti i parametri di controllo, che d'altra parte possono sempre essere impostati manualmente con apposito comando.

Una volta impostata la temperatura sui due apparecchi, ed azionata la funzione di auto sintonizzazione, entro un breve periodo di tempo (mediamente 5-6 minuti) il computer elabora tutti i parametri necessari e consente il raggiungimento della temperatura impostata ed il suo mantenimento nelle diverse condizioni operative.

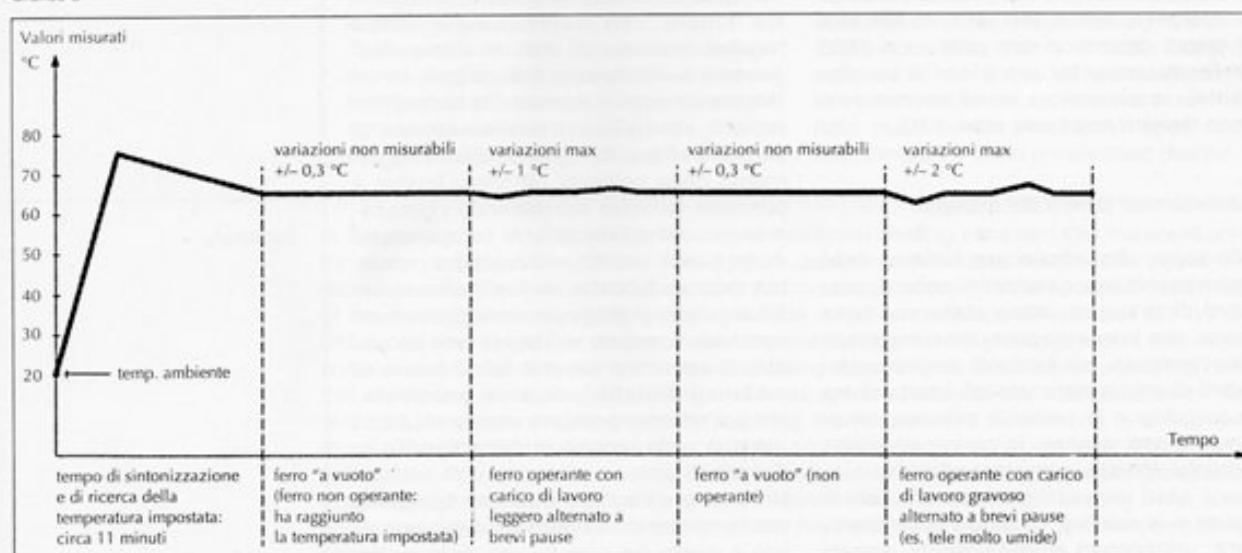
Alcune applicazioni

Utilizzando la nuova apparecchiatura messa a punto, sono state fatte prove su:

- campioni di tele di lino greggio;
- campioni di tele di lino greggio molto umide;
- campioni di tele sintetiche;
- dipinti nelle diverse condizioni di restauro, come fermature e foderature con resine sintetiche, fermature con colletta, foderature a pasta.

Tra i diversi risultati ottenuti, viene riportato il seguente grafico:

Grafico 3



I risultati delle prove sono identici a tutte le temperature selezionate, da 40 °C a 90 °C (prove effettuate con intervalli di 5 °C, con ferri riscaldati di potenza pari a 1000 W); tali risultati hanno indicato una oscillazione estremamente ridotta della temperatura intorno al valore impostato, in tutte le condizioni di funzionamento.

- Con ferro non operante le variazioni massime misurate sono comprese entro $\pm 0,3$ °C.
- Con ferro operante su: campioni di tele sintetiche, campioni di tele di lino greggio, dipinti nelle operazioni di fermatura della preparazione e del colore e foderature effettuate con resine sintetiche; le variazioni massime misurate sono comprese entro ± 1 °C.
- Con ferro operante su: campioni di tele di lino greggio molto umide, dipinti nelle operazioni di fermatura della preparazione e del colore con colletta e foderature a pasta; le variazioni massime misurate sono comprese entro ± 2 °C.

Utilizzando, nelle stesse condizioni, dei termocauteri di potenza variante tra i 20 W ed i 200 W, sono stati ottenuti risultati con oscillazioni della temperatura ancora più contenute.

Sono state fatte prove in tutte le condizioni operative, anche con un ferro speciale di grandi dimensioni con potenza di 1600 W (praticamente una piccola tavola-calda), le escursioni termiche misurate sono rimaste contenute entro 1 °C.

Assorbimenti termici dei materiali

Allo scopo di perfezionare l'utilizzo delle apparecchiature riscaldanti nelle operazioni di restauro, sono state condotte prove, che in questo contesto si è ritenuto utile divulgare, per il calcolo degli assorbimenti di calore dei materiali interposti tra la sorgente e la pellicola pittorica; sfruttando questi risultati, le resine sintetiche vengono attivate in maniera ottimale.

Sono stati misurati gli assorbimenti di calore e le relative variazioni di temperatura, utilizzando singolarmente diversi

materiali di protezione (melinex, carta giapponese, carta velina, ecc.) e diversi tipi di tele; tra gli altri risultati, si è ritenuto utile registrare le variazioni di temperatura sulla tela, rispetto ai valori nominali impostati sull'apparecchio (v. Tabella 2).

Le dimensioni delle superfici dei campioni in prova sono di 2500 cm², mentre la dimensione della zona sottoposta a riscaldamento è di 600 cm², simulando per circa 3 minuti, attraverso movimenti circolari, una tipica attività di restauro.

Tali valori mostrano che, contrariamente a quanto comunemente ritenuto, la caduta di temperatura è piuttosto contenuta, e tende a ridursi ulteriormente (fino al 50%) prolungando il tempo di esposizione dei manufatti al calore.

Conclusioni

In prospettiva la possibilità di avere a disposizione ferri riscaldati a temperatura costante e rigorosamente programmabile può modificare anche il modo di operare sui dipinti, ad esempio evitando il tipico movimento rapido e circolare del ferro, effettuato per prevenire il rischio di «bruciare» la pellicola pittorica. Si può operare con tutta tranquillità su porzioni di superficie minore, con movimenti più lenti e regolari, assicurando così un lavoro omogeneo e qualitativamente superiore.

Regolando opportunamente la temperatura, si è constatato la totale assenza di pericoli per quanto riguarda il danneggiamento della pellicola pittorica; inoltre è possibile lavorare mantenendo rigorosamente controllate anche temperature molto basse (40 °C), risolvendo il problema delle ondulazioni su tele molto sensibili al calore; si tenga presente che queste conclusioni restano valide per tutte le condizioni operative (diversi tipi di tela e di materiali protettivi, diverse geometrie, ecc.), in quanto possono essere sfruttati i valori di salto termico in parte riportati in Tabella 2.

Un ulteriore risultato ottenuto operando con la temperatura rigorosamente controllata è quello del corretto uso delle resine



MATERIALI	VARIAZIONE DI TEMPERATURA IN °C CON RISCALDAMENTO A:		
	40 °C	60 °C	80 °C
Melinex (1 foglio)	0	0	0
Carta velina (2 fogli)	0	-1	-1
Tessuto di lino greggio (sottile e compatto) armatura tela al cm. pari a 19 in ordito e 25 in trama	-1	-2	-2
Tessuto di lino greggio (medio e compatto) armatura tela al cm. pari a 15 in ordito e 14 in trama	-1	-3	-3
Tessuto di lino greggio (medio e compatto) armatura tela al cm. pari a 10 in ordito e 13 in trama	-2	-3	-4
Tessuto di lino greggio (spesso e compatto) armatura tela al cm. pari a 7 in ordito e 10 in trama	-2	-4	-5
Tessuto di poliestere (sottile) armatura tela al cm. pari a 27 in ordito e 34 in trama	-1	-1	-2
Tessuto di poliestere (medio) armatura tela al cm. pari a 13 in ordito e 25 in trama	-1	-2	-3
Tessuto di poliestere (spesso) armatura tela al cm. pari a 17 in ordito e 11 in trama	-1	-2	-3
Campione di tela dipinta ad olio, preparazione a gesso e colla, medio spessore	-2	-3	-4

Tabella 2

Tabella 2 – Assorbimenti termici di alcuni materiali usati nel restauro sottoposti a temperature di 40-60-80 °C

sintetiche, che al di fuori della temperatura indicata dal fornitore, non danno una completa garanzia di corretto comportamento nel tempo.

Tutti questi risultati non sono assolutamente raggiungibili attraverso l'utilizzo dei ferri tradizionali, come è stato ampiamente dimostrato dalle prove effettuate; inoltre con attrezzature del tipo di quella illustrata

nella presente ricerca, è possibile adottare apparecchiature speciali in sostituzione della tavola calda, per la realizzazione di fermature della preparazione in sotto-vuoto, con Plexisol, e di foderature in sotto-vuoto con Beva; tali sperimentazioni sono tuttora in corso, ma riteniamo di poter pubblicare in tempi brevi i primi risultati, che già da ora si prospettano positivi.

Abstract In the restoration of oil paintings, the use of traditional heating irons remains indispensable for many activities. The use of this type of apparatus continues despite the advent in recent years of the hot table and vacuum techniques. However, the bimetallic thermostats of the heating irons presently in use produce large temperature differences (25-35°C) which can lead to uneven results or even serious damage to the painting. A new automatic computerized control system for use with heating apparatus has been developed. This control which can be applied to tacking and heating irons, permits the maintenance of the selected temperature while markedly reducing the temperature fluctuations ($\pm 2^\circ\text{C}$ maximum). The possibility of applying a constant and programmable temperature to the painted surface throughout the treatment allows the restorer to operate with greater tranquility. In addition, it permits lower working temperatures than with traditional heating irons, with consequent advantages when working with heat-sensitive surfaces and thermoplastic resins.

<p>NOTE</p> <p>¹ L'apparecchiatura descritta nel presente articolo è coperta da brevetto industriale.</p> <p>² I trasferimenti di energia connessi con differenze di temperatura tra i corpi, e al loro interno, vengono distinti, secondo le modalità con cui avvengono, in irraggiamento, convezione, conduzione.</p> <p>Durante le operazioni di restauro come la fermatura della preparazione e del colore, la foderatura ecc., i trasferimenti di calore possono essere schematizzati</p>	<p>in due fasi: prima tra piastra metallica e superficie del dipinto, poi all'interno dello spessore del dipinto. Il calcolo delle grandezze fisiche in gioco, particolarmente difficile già in condizioni stazionarie, risulta praticamente impossibile nei casi come il nostro, in cui la velocità del ferro azionato manualmente, le irregolarità delle superfici, la anisotropia dei materiali rendono non risolvibili matematicamente le equazioni generali della fisica (es. equazione di Poisson e Fourier).</p>	<p>Inoltre, come verrà evidenziato nelle pagine seguenti, il dato di partenza, e cioè la temperatura esterna della piastra, è risultato, nei ferri commerciali utilizzati, non affidabile, sia come valore assoluto, che come intervallo di variazione (ovviamente in relazione alle problematiche del restauro).</p> <p>Appare evidente che per affrontare (e risolvere) il problema della valutazione della temperatura all'interno dello spessore di un dipinto durante le suddette operazioni di restauro è necessario:</p>	<p>a) poter disporre di un apparecchio a temperatura controllata, costante e sufficientemente bassa, che possa essere mantenuto fermo per un periodo di tempo sufficientemente lungo, evitando i tradizionali movimenti di «stiratura». Soluzioni accettabili possono essere le tavole calde, oppure apparecchi come il prototipo descritto nelle pagine seguenti;</p> <p>b) poter disporre di una serie di dati sperimentali relativi alla distribuzione di temperatura all'interno.</p>
--	---	---	---