



Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo

Lavori di restauro, integrazione e finitura delle superfici della
Cappella della Sindone di Torino

PROGETTO ESECUTIVO



Stazione Appaltante:
SEGRETARIATO REGIONALE DEL MIBACT PER IL PIEMONTE
Segretario Regionale: Dott. Benedetto Luigi COMPAGNONI

Alta Sorveglianza:
SOPRINTENDENZA BELLE ARTI E PAESAGGIO PER IL COMUNE E LA PROVINCIA DI TORINO
Soprintendente: Arch. Luisa PAPOTTI

Responsabile Unico del Procedimento:
Arch. Luca RINALDI – SOPRINTENDENTE SBAP LIGURIA

Progettista:
Arch. Marina FEROGGIO – SBAP TORINO

Collaboratori:
Arch. Daniela SALA – SBAP TORINO
Arch. Silvia VALMAGGI – SBAP TORINO

Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione:
Arch. Riccardo VITALE – SBAP TORINO

Relazione tecnico-descrittiva

Aprile 2015

INDICE

Inquadramento generale	
L'incendio del 1997	3
I lavori di messa in sicurezza	7
Il progetto preliminare	9
Gli apprestamenti strumentali e l'organizzazione del cantiere	9
Il cantiere della conoscenza e della sperimentazione	11
La schedatura dei frammenti.....	14
L'individuazione dell'elemento ordinatore del cantiere: il concio	14
La catalogazione dei conci e l'analisi del degrado	15
La progettazione e la realizzazione di un sistema informativo	16
La sperimentazione del consolidamento dei conci di marmo.....	16
I progetti, gli appalti e i lavori fino ad ora eseguiti	17
I lavori di restauro, integrazione volumetrica e trattamento superficiale dei conci di marmo Bigio e Nero che formano il paramento interno della Cappella della Sindone	20
Il restauro, l'integrazione e la realizzazione degli intonaci	32

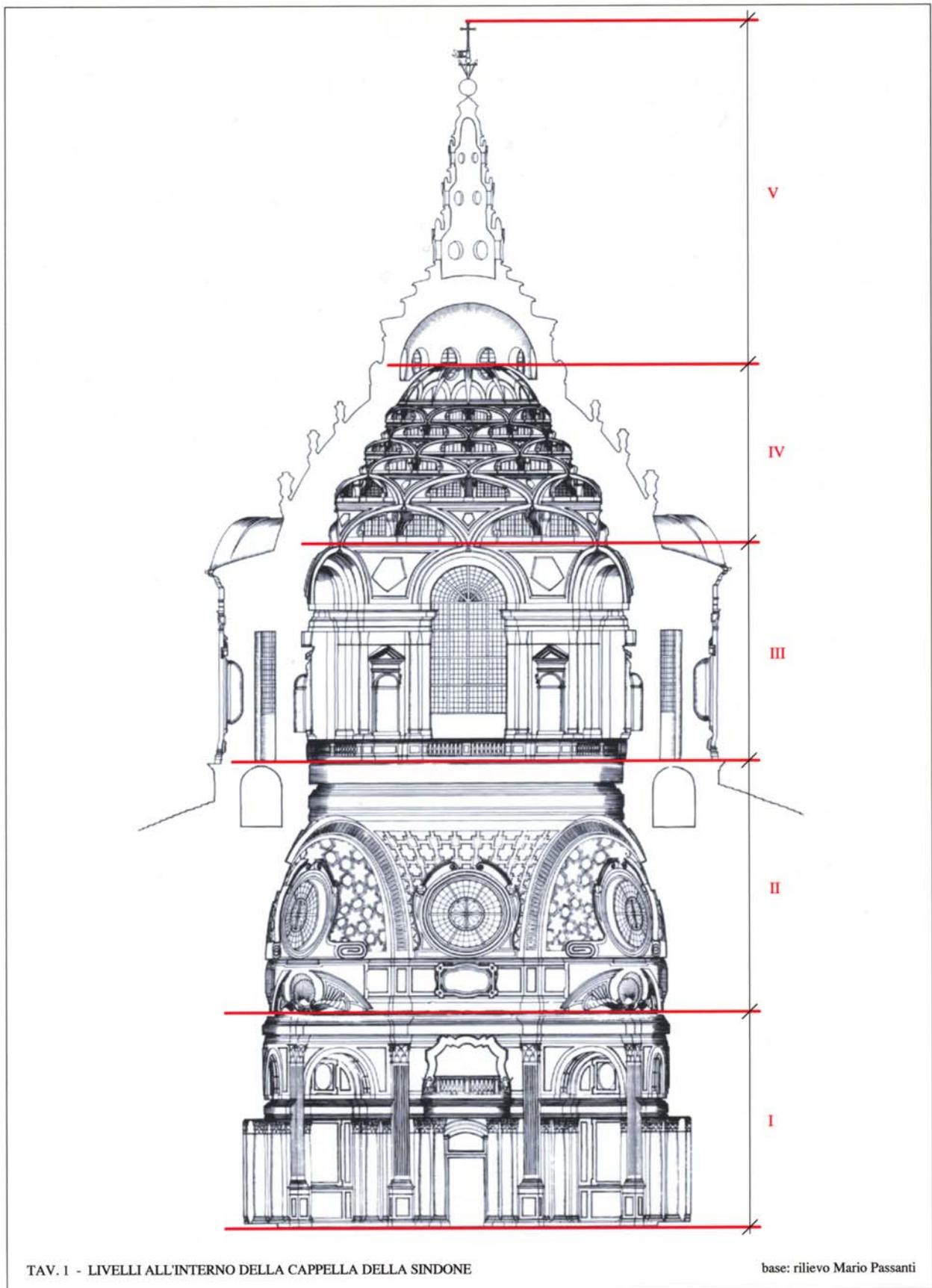


Figura 1 Livelli all'interno della Cappella della Sindone sulla base del rilievo di Mario Passanti

Inquadramento generale

L'incendio del 1997

Nella notte tra l'11 e il 12 aprile 1997 la Cappella della Sindone è stata interessata da un incendio di vaste proporzioni che ha danneggiato profondamente l'edificio rendendo necessario un intervento di restauro architettonico e strutturale lungo e impegnativo. Detto intervento è tuttora in corso ed è forse uno dei più complessi che nell'ambito di questa disciplina sia mai stato affrontato, anche in considerazione del fatto che la struttura resistente della Cappella fino ad allora non era ancora stata del tutto indagata e interpretata.



Figura 2 Vista del bacino tronco conico all'indomani dell'incendio

L'entità dei danni provocati dall'incendio è stata evidente fin da subito in tutta la sua drammaticità. Lo shock termico, provocato dal calore delle fiamme e dall'acqua di spegnimento, non solo ha causato la fratturazione in profondità dei conci di marmo costituenti il guscio interno dell'edificio, ma ha causato anche la rottura della cerchiatura metallica situata in corrispondenza dell'imposta degli archi dei sei finestroni del tamburo: il pericolo che si verificasse lo sbilanciamento verso l'esterno dei maschi murari del tamburo e l'implosione della cupola è stato concreto e prossimo al verificarsi.

All'indomani dell'incendio, a quota del piano di calpestio della Cappella, era presente uno strato di detriti alto fino a un metro, le impalcature utilizzate per i lavori di restauro, giunti quasi al termine, si erano adagiate, rammollite e contorte a causa delle temperature sviluppatesi. Molte colonne di marmo erano esplose, oltre l'80% della superficie marmorea della Cappella era andato irrimediabilmente perduto. I marmi Nero e Bigio di Frabosa Soprana (CN) avevano perso il loro colore originario e il calore ne aveva provocato la calcinazione per spessori anche rilevanti. Analoga sorte era toccata ai quattro monumenti funerari ottocenteschi realizzati in marmo bianco di Carrara, all'altare di Antonio Bertola del 1694 e al finestrone di separazione Duomo-Cappella realizzato da Carlo Randoni nel 1825.

L'incendio, oltre a provocare gravissimi danni all'apparato decorativo interno, pregiudicò gravemente l'efficienza statica della costruzione, soprattutto a causa di due fattori:

- l'entrata in crisi del sistema degli incatenamenti metallici, essenziali per la stabilità delle costruzioni guariniane, spezzatisi o allentatisi a causa del calore;
- la rilevante riduzione della capacità portante degli elementi marmorei, sia per la perdita di resistenza degli strati più superficiali sia, soprattutto, per l'instaurarsi di un sistema di fratture esteso all'intero spessore.

La conseguenza di tali fenomeni fu un'importante migrazione di sforzi dai conci in marmo alla muratura retrostante, con significative spinte verso l'esterno, dovute all'inefficienza degli incatenamenti. Tale migrazione fu resa evidente – fin dal secondo giorno successivo all'incendio – dalla registrazione di piccoli spostamenti dei piloni del tamburo, accompagnati dalla comparsa di importanti lesioni nella muratura della Cupola, in particolare in corrispondenza dei costoloni esterni, costretti ad assumere il ruolo di elementi portanti primari, per il quale non erano stati concepiti.



Figura 3 Vista dell'altare all'indomani dell'incendio



Figura 4 Vista del cestello all'indomani dell'incendio



Figura 5 Vista interna dal cestello all'indomani dell'incendio



Figura 6 Vista del loggiato all'indomani dell'incendio



Figura 7 Trabeazione tra II e III livello dopo l'incendio



Figura 8 Vista del bacino tronco all'indomani dell'incendio



Figura 9 Particolare di un occhio del bacino tronco dopo l'incendio



Figura 10 Vista della trabeazione del I livello dopo l'incendio



Figura 11 Vista del vestibolo NW al I livello dopo l'incendio



Figura 12 Vista dell'arco sghembo all'indomani dell'incendio



Figura 13 Vista dell'arco sghembo all'indomani dell'incendio



Figura 14 Vista del I livello dopo l'incendio



Figura 15 Vista dell'altare al I livello dopo l'incendio



Figura 16 Vista esterna del tamburo dopo l'incendio



Figura 17 Vista esterna del bacino tronco dopo l'incendio

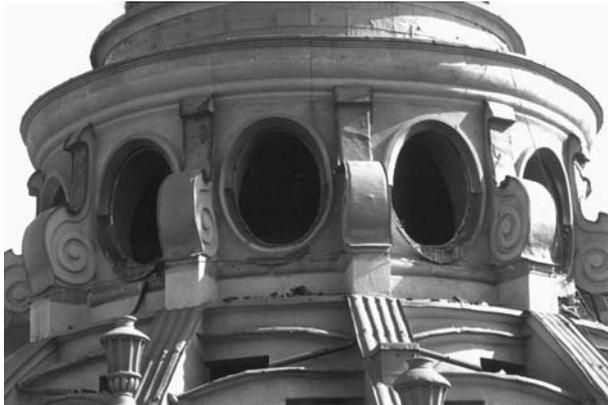


Figura 18 Vista esterna della cuspide dopo l'incendio

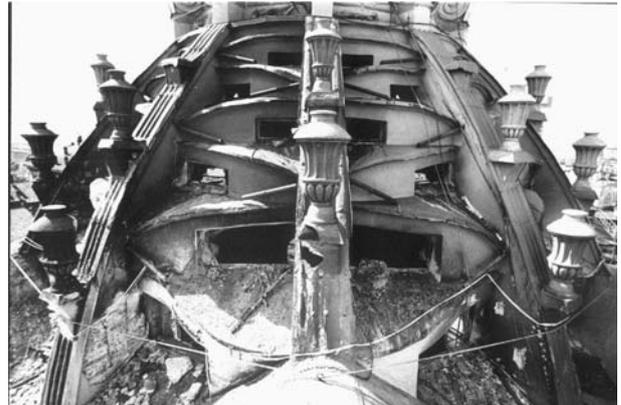


Figura 19 Vista esterna del cestello all'indomani dell'incendio



Figura 20 Vista esterna del tamburo all'indomani dell'incendio



Figura 21 Particolare di un arco dei finestroni del tamburo all'indomani dell'incendio

I lavori di messa in sicurezza

La fase dell'emergenza ebbe luogo dal 12 aprile 1997 al mese di marzo 1998: durante questo periodo venne affrontato, nell'ambito della Commissione prefettizia appositamente nominata, il problema della messa in sicurezza dell'edificio.

Compito della Soprintendenza fu quello di indirizzare l'operatività in modo tale da non compromettere ogni possibile successiva necessità o scelta di intervento.



Figura 22 Particolare della staffatura dei costoloni del cestello

I primi interventi strutturali vennero realizzati dai Vigili del Fuoco e riguardarono la cerchiatura esterna all'imposta della cupola, realizzata con quattro funi a trefoli poste in corrispondenza della sommità del tamburo, e la staffatura esterna dei costoloni maggiormente lesionati.

Una grossa preoccupazione era rivolta anche ai danni subiti dal sistema degli incatenamenti originari situati ai vari livelli di imposta degli archi intrecciati che compongono la cupola. Questi incatenamenti erano in gran parte inglobati nelle masse murarie e pertanto risultava difficoltoso verificare l'entità dei danni subiti. In ragione di ciò, si ritenne prudenzialmente necessario presidiare provvisoriamente la condizione di equilibrio della cupola con una coppia di incatenamenti posti esternamente.

La posa in opera nel giro di pochissimi giorni di queste opere provvisorie in grado di sopperire alla perdita di efficienza degli incatenamenti e di migliorare la resistenza a taglio dei costoloni (staffe metalliche) impedì che la costruzione collassasse in breve tempo, una volta esaurita la scarsa resistenza a trazione delle murature.

Terminata la messa in sicurezza dell'edificio, si poté procedere alla rimozione del ponteggio interno che era stato utilizzato per i restauri del 1993, ridotto dal fuoco a un ammasso di ferri fusi e aggrovigliati.

Il deposito di detriti alto fino a un metro venne indagato con tecniche di scavo archeologico e vennero recuperati e schedati tutti i frammenti di pietra e di bronzo caduti a terra espulsi dal paramento e dai monumenti.

Si provvide infine alla costruzione di un castello interno di presidio strutturale che, insieme allo scudo di puntellazione dell'arco sghembo e al sistema di monitoraggio, assicurò le necessarie garanzie di stabilità delle strutture.



Figura 23 Particolare della cerchiatura del tamburo



Figura 24 Particolare di uno degli incatenamenti del cestello



Figura 25 Vista del castello interno di presidio



Figura 26 Vista dello "scudo" tra Duomo e Cappella

Il progetto preliminare

La Soprintendenza dedicò lo scorcio dell'anno 1998 e il primo semestre del 1999 alla redazione del progetto preliminare che fu articolato in tre sezioni:

- la prima conteneva gli elementi fondamentali per la progettazione degli *appareamenti strumentali* indispensabili al cantiere (ponteggi interni ed esterni, macchinari per il sollevamento degli operatori e dei materiali, impianti tecnologici di illuminazione e sicurezza) e le operazioni necessarie per proseguire la lettura e la manutenzione del sistema di monitoraggio e dei dispositivi di sicurezza realizzati nella fase d'emergenza gestita dalla Commissione prefettizia;
- la seconda, definita *cantiere della conoscenza*, conteneva la descrizione dettagliata dei temi di ricerca da affrontare per la conoscenza dell'architettura guariniana e per la valutazione, qualitativa e quantitativa, dei danni prodotti dall'incendio;
- la terza esponeva le valutazioni di metodo circa i risultati che il restauro si proponeva di raggiungere, ossia la ricostruzione dell'immagine della Cappella così come Guarini l'aveva concepita, ricostruzione che avrebbe dovuto essere fondata sul riconoscimento, e quindi la conservazione o la riproposizione, ove inevitabile, degli elementi che Guarini aveva utilizzato per costruire quell'immagine.

Il progetto preliminare fu redatto dagli architetti Mirella Macera e Pasquale Malara e fu approvato dal Ministero il 28 ottobre 1999.

Gli apparecchiamenti strumentali e l'organizzazione del cantiere

Subito a seguire si procedette alla redazione del progetto degli apparecchiamenti strumentali che fu affidato al prof. ing. Paolo Napoli.

La progettazione dovette affrontare e risolvere il problema di rendere il cantiere della Cappella autonomo rispetto a Palazzo Reale, in modo da non impegnare il Palazzo stesso con le necessità di transito degli operatori e dei materiali del cantiere della Cappella, circostanza che avrebbe certamente limitato la fruizione degli appartamenti del primo piano nobile. Il problema venne risolto utilizzando, per accedere alla Cappella, una struttura metallica collocata in adiacenza al torrione ovest del Palazzo Reale per mezzo della quale si poteva raggiungere il terrazzo della Manica Nuova e quindi la Cappella attraverso una delle grandi aperture del bacino tronco-conico.



Figura 27 Panoramica del III livello

Il ponteggio interno venne realizzato interamente in metallo con piani di lavoro realizzati ad hoc per seguire il perimetro circolare della Cappella. Prima di montarlo si rese necessario mettere in sicurezza le pareti della Cappella, per cui venne fatto intervenire un rocciatore che rimosse i frammenti di pietra che risultavano in precario stato di equilibrio e minacciavano di cadere.

La realizzazione degli apparecchiamenti strumentali venne eseguita nell'arco temporale compreso tra il 2002 e il 2004.



Figura 28 Particolare del grigliato di accesso alla Cappella a quota +20,50 metri.

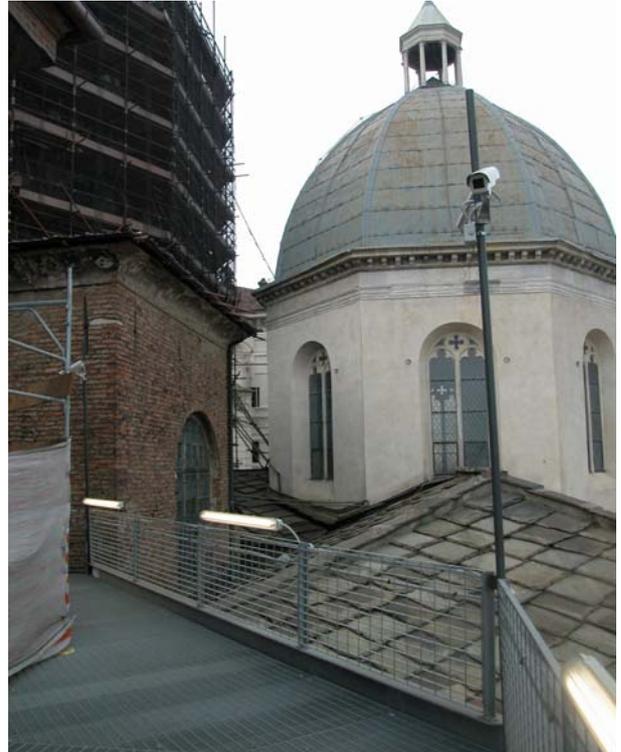


Figura 29 Particolare del grigliato di accesso alla Cappella a quota +20,50 metri.



Figura 30 Particolare del grigliato di accesso alla Cappella a quota +20,50 metri.



Figura 31 Accesso alla Cappella a quota +20,50 metri.

Il cantiere della conoscenza e della sperimentazione

Una delle prime attività avviate fu quella concernente la progettazione delle indagini finalizzate a indagare la concezione strutturale dell'edificio e a valutare i danni subiti dai materiali e dalle strutture a seguito dell'incendio.

Il progetto della conoscenza risultò in particolare condizionato da due fattori dirimenti: da una parte l'*urgenza* legata allo stato di estrema precarietà del bene all'indomani dell'incendio; dall'altra la *complessità* del problema da affrontare, dettata dalla particolarità dell'evento accaduto e dall'unicità del bene interessato dallo stesso, bene del quale all'epoca non si disponeva di interpretazioni definitive né con riguardo al sistema strutturale nel suo complesso né in relazione al ruolo rivestito dalle singole componenti e dai loro materiali costituenti.

Il progetto della conoscenza venne pertanto articolato in due momenti successivi che scandirono le diverse fasi diagnostiche:

- la *conoscenza immediata*, che doveva essere in grado di offrire poche risposte fondamentali in tempi rapidissimi, in quanto finalizzata da un lato al pronto intervento e alla messa in sicurezza e dall'altro a orientare un progetto più organico ed esauriente di analisi da condurre in tempi più lunghi;
- la *conoscenza sistematica*, da acquisire sulla base di un progetto diagnostico-conoscitivo vero e proprio, in grado di individuare e selezionare, in una realtà articolata e complessa, i dati necessari alle scelte di intervento.

Vennero stipulate due convenzioni con il Politecnico di Torino: la prima si proponeva di formulare un modello dinamico dell'edificio al fine di identificarne le caratteristiche meccaniche; la seconda aveva la finalità, da un lato, di individuare le tipologie d'indagine necessarie per acquisire una conoscenza esauriente degli elementi costruttivi, nonché per rilevare le porzioni in pietra e quelle in muratura e per valutarne le reciproche connessioni, dall'altro doveva determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali nelle zone rimaste integre e in quelle danneggiate dal fuoco.

Dalle osservazioni effettuate fin dai primi sopralluoghi condotti subito dopo l'incendio emersero una serie di situazioni strettamente correlate con la natura del marmo di Frabosa e l'azione del fuoco: i vari tipi di degrado macroscopici che si potevano riscontrare erano quasi tutti dovuti alla eterogeneità del marmo, alla presenza di venature calcitiche e argillose, mentre più complesso risultava il degrado della superficie lapidea divenuta biancastra. Quello che tuttavia non si poteva vedere era la condizione microstrutturale del materiale, al quale era poi legata la stabilità chimico-fisica della pietra.

La determinazione della natura intrinseca dei materiali costituenti le superfici interne della Cappella e la loro caratterizzazione chimico-fisica, a seguito dell'azione del fuoco, divennero pertanto elementi fondamentali non solo in relazione alle scelte di trattamento dei materiali stessi nell'ambito del successivo intervento di restauro, ma anche in relazione al loro ruolo nella compagine fisica e nella configurazione formale del monumento.

Ne derivò la necessità di sviluppare una fase analitico-conoscitiva quanto mai organica e orientata dalle osservazioni dirette e dai problemi individuati mediante le indagini preliminari, effettuate nei momenti immediatamente successivi all'incendio, ma - al contrario di queste - sviluppata secondo un preciso e articolato progetto di diagnostica, in grado di orientare le scelte di intervento successive.

Vennero realizzate molteplici indagini fondate sulle tecniche più diverse e sofisticate. I campionamenti effettuati furono numerosi ed equamente divisi per altezza e per settore della Cappella nel tentativo di descrivere, per quanto possibile, le diverse situazioni dei materiali costituenti il paramento lapideo e laterizio.

La notevole quantità di risultati analitici raggiunti fornì un quadro variegato e molto ricco di informazioni sulle caratteristiche e sullo stato di degrado in cui versavano i materiali della Cappella, che si può riassumere, in estrema sintesi, come segue.

I laterizi e le malte che formano la struttura della cupola sottostanti il paramento lapideo risultarono mediamente in sufficienti condizioni a testimonianza di un contenuto impatto dell'incendio su di essi. Differente fu l'esito delle indagini sul rivestimento lapideo in marmo di Frabosa nel quale si

riscontrarono situazioni di diversa gravità con una gradualità nello stato di degrado che venne valutata e classificata di conseguenza.

Dal confronto di tutti i dati ottenuti per il marmo venne quindi delineata una classificazione del degrado in rapporto ad alcuni tra i principali parametri che vennero assunti come limiti di riferimento: valutazioni cromatiche, osservazione in microscopia ottica del campione in sezione lucida trasversale, osservazione in microscopia elettronica abbinata alla microanalisi EDS, misura della porosità e stima della distribuzione dei pori secondo il loro raggio mediante porosimetro a mercurio. Venne tuttavia effettuata una scelta tra i dati a disposizione per favorire una classificazione che comunque non escludesse a posteriori l'inserimento di ulteriori parametri.

Si individuarono cinque differenti classi di degrado (cfr. Figura 32 che schematizza la classificazione con i parametri di riferimento individuati) ognuna delle quali presentava peculiarità e proprietà che, anche se distinte tra loro, non portavano comunque mai a una separazione netta, anzi in alcuni casi l'attribuzione a una classe piuttosto che a un'altra non era certa e si riscontravano caratteristiche simili tra campioni appartenenti a diversi livelli di degrado. In questi casi era la valutazione effettuata dall'operatore ad attribuire un peso alle diverse proprietà e ad assegnare al campione, di conseguenza, un livello piuttosto che un altro di degrado.

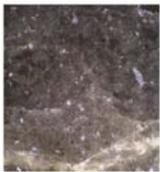
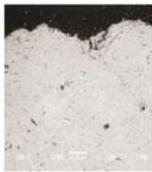
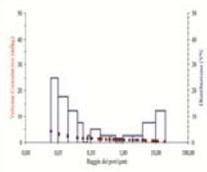
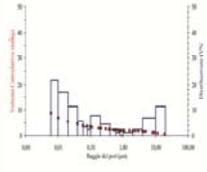
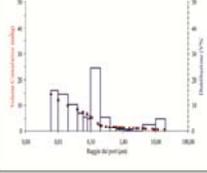
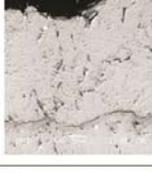
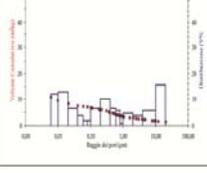
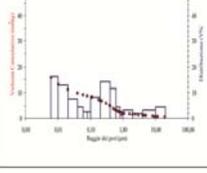
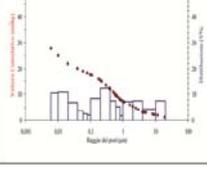
Classe di degrado (stato)	Caratteristiche visibili	Esempio di osservazione di sezione lucida trasversale	Esempio di osservazione in microscopia elettronica	Parametri porosimetrici	Grafico tipo di una analisi porosimetrica	note
0 (buono)	Non sono presenti fessurazioni anche in corrispondenza delle venature e delle soste argillose. La colorazione non appare alterata.			Volume Cumulativo: $4 \text{ mm}^3/\text{g} < x < 9 \text{ mm}^3/\text{g}$ Distribuzione dei pori: prevalenza dei pori aventi raggio tra $0,006$ e $0,02 \mu\text{m}$ e superiore ai $10 \mu\text{m}$.		I campioni di questa classe sono presenti quasi esclusivamente al I livello, nella parte inferiore della Cappella dove l'impatto dell'incendio è stato sicuramente inferiore
1 (discreto)	Comparsa di una leggera colorazione rossastra sulla superficie del campione dovuta all'inizio di fenomeni di ossidazione della frazione argillosa. Questo processo avviene prevalentemente nelle aree in cui durante l'incendio vi era ricchezza di ossigeno.			Volume Cumulativo: $\sim 9 \text{ mm}^3/\text{g}$ Distribuzione dei pori: prevalenza dei pori aventi raggio tra $0,006$ e $0,02 \mu\text{m}$ e superiore ai $10 \mu\text{m}$.		I campioni sono prevalentemente presenti al I livello con alcune eccezioni rappresentate da frammenti provenienti da aree protette o da elementi che grazie alla geometria architettonica hanno avuto un minore impatto dell'incendio
2 (scarso)	Comparsa di forte colorazione rossa e/o gialla lungo le formazioni stilolitiche anche a profondità maggiori (fino a 2-3 cm) imputabile a fenomeni di ossidazione diffusi ai danni della frazione argillosa e dei minerali con ferro. Non vi sono fessurazioni di notevole entità.			Volume Cumulativo: $14 \text{ mm}^3/\text{g} < x < 18 \text{ mm}^3/\text{g}$ Distribuzione dei pori: prevalenza dei pori aventi raggio tra $0,1$ e $0,6 \mu\text{m}$.		I campioni sono distribuiti a tutti i livelli della Cappella con una maggioranza al II livello
3 (critico)	Comparsa di fessurazioni anche notevoli lungo le venature con conseguente perdita di coesione del materiale lapideo lungo vie preferenziali. Si formano sollevamenti e distacchi. Il fenomeno può essere accompagnato da viraggi cromatici.			Volume Cumulativo: $14 \text{ mm}^3/\text{g} < x < 18 \text{ mm}^3/\text{g}$ Distribuzione dei pori: leggera prevalenza dei pori aventi raggio sopra i $10 \mu\text{m}$.		I campioni sono per lo più al III livello
4 (molto critico)	Si allontanano i fenocristalli di calcite dando vita alla comparsa di fessurazioni che attraversano l'intera matrice.			Volume Cumulativo: $14 \text{ mm}^3/\text{g} < x < 18 \text{ mm}^3/\text{g}$ Distribuzione dei pori: distribuzione varia		I campioni sono per lo più al III livello
5 (compromesso)	Comparsa di una colorazione bianca sulla superficie esterna della pietra imputabile per lo più all'allontanamento della frazione bituminosa. Si nota una vera e propria ragnatela di fessurazioni che attraversano la matrice lapidea.			Volume Cumulativo: $> 18 \text{ mm}^3/\text{g}$ Distribuzione dei pori: distribuzione varia		I campioni sono per lo più al III livello e sul tamburo

Figura 32 Individuazione classi di degrado

Dalle osservazioni condotte apparve evidente il legame diretto tra il livello di gravità del degrado e la quota di provenienza dei campioni, a conferma della presenza, durante l'incendio, di un gradiente di temperatura proporzionale all'altezza.

Le eccezioni a questa macroscopica indicazione furono imputabili da una parte alla geometria architettonica che in alcuni casi rappresentò una protezione mentre in altri espose maggiormente gli elementi, e dall'altra alle condizioni di combustione quali ad esempio la presenza più o meno abbondante di ossigeno o la vicinanza alle strutture e ai materiali delle impalcature.

Nelle zone infatti in cui era diverso l'apporto di ossigeno vennero registrati due distinti processi chimici caratterizzati da differenti viraggi cromatici: il primo si manifestò con la comparsa di una colorazione rossa, imputabile all'ossidazione dei minerali ferrosi presenti nella pietra, il secondo con la comparsa di una patina bianca omogenea dovuta all'allontanamento della frazione bituminosa che pigmenta il marmo (400-500 °C).

Correlando queste indicazioni con il relativamente contenuto ritrovamento di idrossido di calcio – confermato anche in occasione delle prime indagini effettuate subito dopo l'incendio – si poté concludere che solo in alcune zone furono superati i 900 °C (temperatura alla quale avviene la cottura del carbonato di calcio) e là dove questo accadde le trasformazioni più critiche risultarono confinate sulla parte esterna del marmo o in prossimità delle superfici di distacco.

Dalle osservazioni in microscopia ottica ed elettronica nei campioni con patina bianca si notò invece come quest'ultima fosse dovuta ai processi di degrado innescati dall'incendio nella pietra e meno dalla presenza di trattamenti e finiture superficiali. In particolare si osservò come le venature argillose continuassero senza soluzione di continuità dalla matrice alla patina confermando che si trattava di un materiale unico.

All'interno di questo quadro entrarono in gioco anche altri fattori estrinseci al marmo di Frabosa quali ad esempio la presenza di trattamenti superficiali di natura prettamente organica nella parte inferiore e mediana della Cappella e di natura anche inorganica nella parte superiore dove svolgevano soprattutto un ruolo di accompagnamento cromatico. Il marmo di Frabosa impiegato infatti non è omogeneo in tutta la Cappella e soprattutto non presenta le stesse qualità a tutti i livelli: nella parte bassa è ubicato quello di colore nero scuro più ricco in composti bituminosi e leggermente meno interessato dalla presenza di minerali argillosi, nella parte alta invece è stata impiegata una varietà grigio più chiara con una netta diminuzione del contenuto bituminoso e una frazione leggermente maggiore in minerali argillosi e intrusioni.

In conclusione dalla correlazione dei diversi parametri analitici e in particolare quelli di porosità, assorbimento d'acqua, misure ultrasoniche e sclerometriche furono tratte le seguenti valutazioni di carattere generale:

- le fratture che si sviluppavano lungo le venature e le discontinuità della pietra penetravano anche nelle aree interne compromettendo la coesione dei conci;
- anche nelle aree in cui non si rilevavano discontinuità evidenti, la matrice lapidea presentava una progressione dello stato di degrado dalla parte esterna verso quella interna, ma questo fenomeno tendenzialmente si esauriva nei primi centimetri;
- la decoesione critica (allontanamento intercristallino dei fenocristalli del marmo) si esauriva nella maggior parte dei casi analizzati (sia nelle aree a evidente fratturazione sia nelle altre) nei primi centimetri, a indicare che il materiale per quanto fratturato era costituito da "scaglie" ancora sufficientemente compatte. Questo aspetto avallava la scelta di ricorrere durante il restauro a operazioni di reincollaggio e consolidamento;
- il degrado del marmo di Frabosa risultava sicuramente differenziato a seconda della quota, della geometria dell'elemento, della qualità della pietra (nera o grigia);
- la decoesione più spinta (fessurazione intercristallina) che comprometteva del tutto la matrice lapidea era confinata per lo più nelle aree esterne del marmo
- l'aspetto principale del degrado era rappresentato dalle fessurazioni preferenziali lungo le venature e le scistosità della pietra che portavano a distacchi di materiale anche in profondità compromettendo la stabilità di molti elementi.

La schedatura dei frammenti

Un altro fronte di attività da parte della Soprintendenza a partire dal 2001 riguardò la schedatura dei frammenti raccolti nelle fasi immediatamente successive all'incendio. Previo svolgimento di gara informale tra restauratori esperti nel restauro della pietra venne affidato l'incarico di riaprire le 134 casse nelle quali erano stati riposti i materiali caduti a terra per avviare una complessa operazione di catalogazione dei frammenti del paramento lapideo che presentavano almeno una faccia modanata e quelli appartenenti ai monumenti, facilmente riconoscibili perché di marmo bianco. Furono identificati oltre 5.000 frammenti, che furono puliti e disposti su una serie di scaffalature secondo il livello della Cappella e la componente di provenienza.



Figura 33 Prefabbricato ex Prelettura Sindone con disposizione dei frammenti schedati

A seguire vennero organizzate ulteriori campagne di raccolta dei frammenti in precario stato di equilibrio presenti all'interno della Cappella sia per rispondere a esigenze strettamente correlate alla sicurezza degli addetti al cantiere, sia per proseguire il lavoro di catalogazione e identificazione dei frammenti incominciato nel 2001, teso a recuperare e riutilizzare quanto più materiale originale possibile.

L'individuazione dell'elemento ordinatore del cantiere: il concio

Fin dalle prime battute del cantiere della conoscenza risultò chiara l'esigenza di riferire la complessità dei dati a una unità di analisi che potesse rappresentare lo strumento di collegamento per tutte le fasi della ricerca.

La Cappella della Sindone è stata concepita da Guarino Guarini basandosi sulla tecnica della stereotomia, che prevedeva l'assemblaggio di elementi lapidei monolitici (conci in marmo Nero e in marmo Bigio provenienti dalle cave di Frabosa Soprana (CN)) ciascuno dei quali disegnato e realizzato per essere assemblato e assumere un ruolo nella compagine strutturale e formale dell'edificio.

Se dunque i conci rappresentavano l'elemento fondante della costruzione stereometrica della Cappella e proprio essi erano i principali "malati" della Cappella danneggiata dall'incendio, si ritenne opportuno attribuire a essi il ruolo di elemento ordinatore del cantiere della conoscenza e quindi del restauro.

Venne pertanto incaricato il prof. Giuseppe Dardanello di individuare tutti i conci costituenti il guscio interno della cappella.

Facendo riferimento al sistema degli ordini architettonici, vennero identificate 21 figure architettoniche (o elementi architettonici principali della composizione quali l'ordine maggiore, la lunetta, l'arco, il pennacchio, l'edicola, ecc.), 93 componenti che partecipano alla composizione delle figure architettoniche primarie (piedistalli, basi, trabeazioni, ecc.) ognuna con forma e disegno propri (talvolta anche comportamento strutturale) e 5454 conci di dimensioni e forme diverse che furono lavorati per essere assemblati e collocati in opera a costituire le componenti e quindi le figure principali della composizione disegnata da Guarini.

Questo studio permise di definire una unità di analisi che potesse rappresentare uno strumento di lettura correlata e sintetica dei dati raccolti dapprima nella fase del cantiere della conoscenza e successivamente durante l'esecuzione dei lavori.

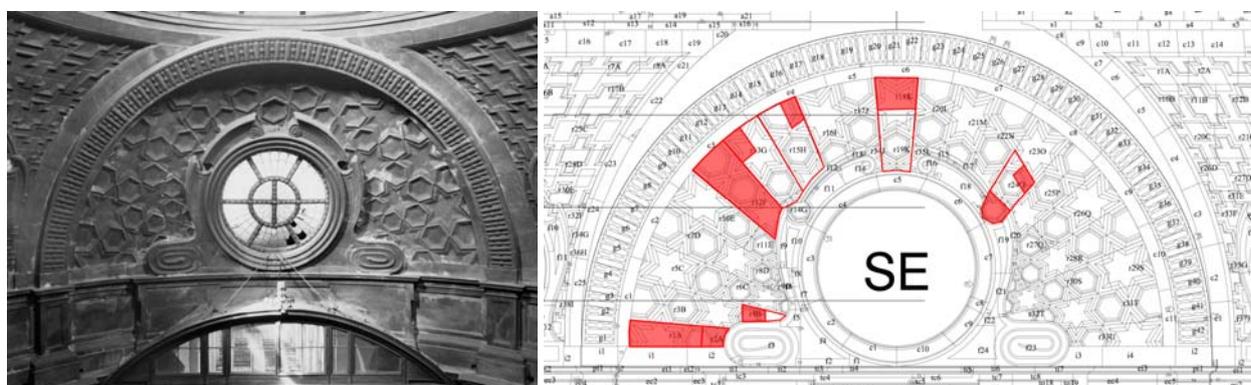


Figura 34 Bacino tronco-conico: identificazione dei conci

La catalogazione dei conci e l'analisi del degrado

Un altro tassello indispensabile al quadro della conoscenza era rappresentato dall'indagine diretta per rilevare lo stato di degrado dei conci. Congiuntamente alle analisi di laboratorio precedentemente descritte si procedette alla catalogazione completa di tutti i conci presenti all'interno della Cappella, al fine di individuarne, utilizzando l'abaco realizzato dal prof. Dardanello, la posizione spaziale, le caratteristiche geometriche, nonché i fenomeni di degrado rilevabili in prima analisi a occhio nudo.

Ogni concio venne pertanto contrassegnato da una sigla di riconoscimento e documentato sia graficamente che fotograficamente in maniera tale da potere, una volta terminata la mappatura, classificare e quantificare le superfici rimaste integre, quelle interessate da fenomeni di degrado/alterazione e quelle mancanti, oltre che individuare spazialmente i singoli conci all'interno della Cappella. L'indagine visiva e la mappatura costituirono la premessa sulla quale si andarono mano a mano a integrare le informazioni derivanti dalle analisi chimico-fisiche e strutturali condotte sui materiali per incrementare la conoscenza dello stato in cui versava il manufatto e ottenere un quadro il più possibile esaustivo dei danni subiti sia dalle superfici marmoree nel loro complesso che dai singoli conci.

Scheda Concio IISELr26Q	
Denominazione	
livello	II calotta tronca
settore	SE
elemento	L Lunetta
componente	r Raggi lunetta
numero	26
liv. ponteggio	7

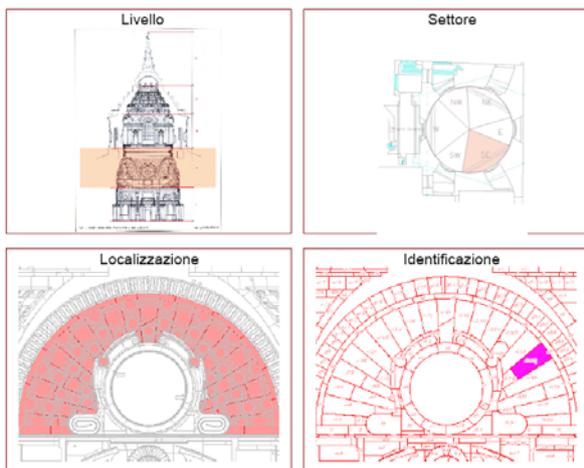


Figura 35 Esempio di una scheda concio

Dimensioni e materiali	
Facce a vista	
Facce a vista	VF
Dimensioni	
Lato	radiale destra 164.0 cm radiale sinistra 164.0 cm corda interna 63.0 cm corda esterna 86.0 cm
Aggetto relativo	cm
Superficie	0.0 cmq
Volume netto	0.0 cmc
Volume lordo	0.0 cmc
Aggetto rispetto al concio	
Materiali	
Materiale del concio	pietra
Elementi costruttivi	giunto in malta
Tasselli in pietra num.	0
Tasselli in pietra note	

Stato di conservazione	
Geometria	
Morfologia	mutua non ipotizzabile
Identificazione mancanza	multipla
Posizione mancanza	Int
Modanature mancanza	MOD - MODANATURE
Percentuale mancanza	65 %
Frammenti in deposito	
Analisi della superficie lavorata conservata	
Alterazione superficiale	perdita di levigatura microfessurazioni esfoliazione
Scagliatura superficiale	Identificazione Posizione scagl. sup. Modanature scagl. sup. Entità scagl.
	singola Int modanature lieve
Scagliatura profonda	Identificazione Entità scagl.
	1
Fessurazione	Identificazione Larghezza massima
	molteplice 0.2
Fratturazione	Identificazione Larghezza frattura
	0.0
Cromia	Cromia prevalente Tracce nerofumo
	ocra gialla
Residui lavorazione	Residui lavorazione
	tracce a pennello
Analisi della superficie di distacco della mancanza	
Alterazione superficiale	microfessurazioni
Scagliatura	Identificazione Continuità con sup. lavorate
	superficiale - multipla scagliatura superficiale

La progettazione e la realizzazione di un sistema informativo

La quantità di dati che si andavano nel frattempo raccogliendo fece maturare la consapevolezza della necessità di avere a disposizione un sistema informativo che permettesse di archiviare, consultare e aggiornare i dati, consentisse letture sintetiche comparate, rappresentasse, a conclusione dei lavori, uno strumento utile per il monitoraggio della struttura. Venne quindi affidato a una ditta di Milano l'incarico di progettare il sistema raccogliendo le istanze della Soprintendenza, mentre la realizzazione dello stesso venne appaltata, previo svolgimento di pubblico incanto, a una ditta di Torino.

Il sistema informativo mirava a configurarsi non solo come ambiente per la raccolta ordinata e interrelata di tutti i dati derivanti dal cantiere della conoscenza prima e dei lavori poi, ma anche come uno spazio di lavoro virtuale nel quale tutte le professionalità impegnate nella ricerca e nel cantiere potessero convergere confrontandosi e scambiandosi dati e valutazioni.

Nell'ambito del cantiere della conoscenza vennero infine condotte approfondite ricerche storico-archivistiche, eseguite mappature materiche e del degrado, eseguiti rilievi di precisione con analisi della compagine muraria per individuare la struttura resistente dell'edificio.

La sperimentazione del consolidamento dei conci di marmo

Conclusa la campagna di catalogazione dei conci si incominciò ad affrontare il tema del consolidamento del guscio marmoreo della Cappella, predisponendo una fase sperimentale che venne suddivisa in tre differenti sottofasi determinate dalla volontà di perfezionare passo dopo passo le tecniche e i materiali più idonei al caso, in modo da garantire la migliore riuscita dell'intervento di consolidamento.

Dall'analisi dei risultati della fase sperimentale si decise di utilizzare una tecnica di consolidamento basata sullo smontaggio di tutti i frammenti in precario stato di equilibrio e/o interessati da fratture nette e profonde presenti sul concio. Questa operazione doveva essere eseguita fino a raggiungere la parte sana del marmo dei conci, ponendosi tuttavia il limite di "smontare" non oltre il 30% del volume di ogni singolo concio, per non comprometterne la resistenza strutturale.

Successivamente si doveva procedere al consolidamento locale dei singoli frammenti del concio, alla pulizia della superficie residua del concio stesso e al successivo reincollaggio dei frammenti sino a ricostituire la morfologia del concio così come risultante dopo l'incendio.

I progetti, gli appalti e i lavori fino ad ora eseguiti

Quanto precedentemente sintetizzato ha costituito le basi su cui sono state fondate le progettazioni definitive ed esecutive per il restauro e la riabilitazione delle strutture della Cappella e i lavori a esse conseguenti.

Si ricordano, a mero titolo indicativo e non esaustivo, i seguenti bandi per servizi e lavori:

- gennaio 2005, bando di gara per l'affidamento a pubblico incanto dei servizi di ingegneria per la riabilitazione strutturale della Cappella della Sindone;
- gennaio 2007, bando di gara per l'affidamento dei lavori riguardanti tutte le opere e forniture, nonché i ponteggi e tutto quanto altro occorra per realizzare a perfetta regola d'arte gli interventi di consolidamento della parte basamentale della Cappella della Sindone;
- febbraio 2008, gara informale per i lavori necessari all'apertura del sito estrattivo nel comune di Frabosa Soprana (CN) per l'estrazione del marmo Nero necessario per le opere di riabilitazione strutturale della Cappella della Sindone;
- agosto 2008, bando di gara per l'affidamento dei lavori di riabilitazione delle strutture in elevazione della Cappella della Sindone;
- luglio 2009, bando di gara per i lavori di consolidamento dei conci di marmo che formano il paramento interno della Cappella della Sindone.

Definite dunque le modalità dell'intervento di consolidamento dei conci per i quali non si rendeva necessario procedere alla loro sostituzione venne predisposto il progetto di consolidamento degli stessi e condotto il relativo cantiere, al quale si affiancò a distanza di poco tempo il cantiere di riabilitazione delle strutture in elevazione della Cappella recentemente concluso.

Quest'ultimo ha attuato la sostituzione di oltre 1400 elementi di marmo gravemente danneggiati dall'incendio, su un totale di circa 5450, per i quali non è stato possibile prevederne il solo consolidamento. Essi sono stati sostituiti per restituire alla Cappella della Sindone la propria capacità portante; i rimanenti conci, già consolidati, dovranno essere integrati con malte appositamente formulate nell'ambito del presente appalto.

Nello specifico, i lavori per la riabilitazione delle strutture in elevazione della Cappella hanno riguardato:

- la rimozione e la successiva sostituzione o consolidamento delle colonne in marmo Nero dell'ordine minore e la sostituzione di tutte le lesene dell'ordine maggiore;
- i consolidamenti alla base delle lesene dei vestiboli;
- lo smontaggio e la sostituzione di tutti i conci dell'arco sghembo con il consolidamento dell'architrave di appoggio dello stesso;
- il consolidamento localizzato delle murature nelle zone di smontaggio dei conci lapidei;
- il consolidamento delle volte degli scaloni e dei vestiboli;
- lo smontaggio e la sostituzione parziale dei conci degli archi del bacino tronco;
- lo smontaggio e la sostituzione di tutti i conci degli occhi del bacino tronco;
- lo smontaggio e la sostituzione di gran parte dei conci del loggiato;
- il consolidamento delle murature del cunicolo alla base del loggiato e delle murature dei pilastri del loggiato;
- l'inserimento di nuove catene in corrispondenza dei finestroni e del cestello;
- il consolidamento e il ripristino dei costoloni e degli archi in muratura del cestello;
- l'inserimento di una nuova cerchiatura esterna alla base del tamburo;
- la ricucitura della lesione situata alla base del tamburo lungo tutta la circonferenza;
- il consolidamento degli archi di scarico dei costoloni nel cunicolo superiore del tamburo;

- lo smontaggio e la sostituzione di tutti i conci degli archi dei tre livelli inferiori del cestello e il consolidamento dei conci degli archi dei tre livelli superiori;
- il consolidamento di tutti i restanti conci del cestello (pennacchi, ecc.);
- il consolidamento degli archi in muratura dei finestrone;
- l'inserimento di una centina metallica di sostegno della stella;
- la rimozione delle staffature e degli incatenamenti provvisori esistenti.

I lavori di restauro, integrazione e finitura delle superfici della Cappella della Sindone di Torino

L'intervento di riabilitazione delle strutture in elevazione della Cappella della Sindone recentemente ultimato risulta essere l'ultimo tra quelli contemplati dall'originario progetto preliminare redatto nel 1999, che rinviava a una fase successiva di progettazione e cantierizzazione le operazioni di restauro e trattamento dell'apparato decorativo interno e delle superfici esterne.

Dette operazioni rivestono tuttavia un carattere fondamentale per portare a compimento il restauro della Cappella della Sindone.

Il presente appalto riguarda specificatamente i seguenti interventi, per la cui descrizione puntuale si rimanda ai contenuti del Titolo II del Capitolato Speciale d'Appalto:

- lavori di restauro, integrazione volumetrica e finitura superficiale dell'apparato decorativo lapideo interno necessari per ricostruire il volume e le forme di tutti quei conci lapidei originali che sono stati oggetto di consolidamento nei precedenti cantieri, non essendosene resa necessaria la sostituzione nell'ambito dei lavori di riabilitazione delle strutture in elevazione recentemente conclusi.
Il volume e le originarie morfologie dovranno essere realizzati attraverso l'impiego di malte appositamente formulate, che dovranno garantire risultati e caratteristiche conformi alla sperimentazione condotta dalla Soprintendenza nell'ambito di appositi cantieri pilota, come descritta dettagliatamente nel seguito della presente relazione. L'intervento dovrà inoltre prevedere l'applicazione di un trattamento superficiale di finitura atto a raccordare cromaticamente i differenti materiali costituenti le superfici lapidee della Cappella al termine dei lavori di restauro (conci lapidei originali, conci lapidei sostituiti, conci integrati e modellati con le malte);
- esecuzione degli intonaci esterni in corrispondenza dei costoloni, dei voltini e della muratura laterizia del cestello; intonacatura e riprofilatura degli intradossi, degli sguinci, delle spallette e delle cornici di tutti i serramenti esterni del cestello; pulitura, consolidamento e restauro dei lacerti di intonaco ancora presenti in corrispondenza degli intradossi degli archi dei sottolivelli da 2 a 6 del cestello ed esecuzione di nuovi intonaci su tutte le porzioni che ne risultano ormai sprovviste; rifacimento integrale degli intonaci in corrispondenza degli archi del sottolivello 1; pulitura, consolidamento, restauro e, ove necessario, stuccatura e integrazione degli intonaci presenti al I livello in corrispondenza dei due vestiboli e dei capitelli dei due scaloni di accesso al Duomo; tinteggiatura, velatura e protezione delle superfici intonacate oggetto di intervento.

I lavori di restauro, integrazione volumetrica e trattamento superficiale dei conci di marmo Bigio e Nero che formano il paramento interno della Cappella della Sindone

Nell'ambito del più generale cantiere della conoscenza e della sperimentazione condotto a supporto dei progetti di restauro della Cappella sono stati studiati e messi a punto, nel periodo compreso tra gennaio 2007 e gennaio 2009, i materiali, la metodologia e le tecniche più idonee alla realizzazione dei lavori di restauro, integrazione volumetrica e finitura superficiale dei conci lapidei della Cappella.

Si ripercorrono qui di seguito i momenti salienti e gli esiti della sperimentazione condotta, sulla cui scorta dovranno essere eseguiti gli interventi oggetto del presente appalto, come meglio descritti al Titolo II del Capitolato Speciale d'Appalto al quale si rimanda integralmente.

Nello specifico, le sperimentazioni sono state articolate in tre momenti successivi.

Una prima sperimentazione ha avuto quale obiettivo l'integrazione volumetrica di un concio appartenente alla trabeazione posta tra il secondo e il terzo livello della Cappella utilizzando malte a colaggio appositamente formulate. L'integrazione è avvenuta mediante restituzione da calco, con controforma eseguita in sito, della ricostruzione dell'elemento modanato realizzato in plastilina.

In questo primo caso è stato preso a riferimento un elemento architettonico decorativo che non presentava particolari difficoltà né dal punto di vista geometrico, né dal punto di vista dell'ubicazione che garantiva una posizione di lavoro agevole. Ciò ha pertanto consentito di concentrare l'attenzione sulla verifica delle modalità operative definite in fase progettuale.



Figura 36 Stato di fatto: il concio oggetto di sperimentazione, già consolidato, presentava consistenti mancanze e lacune.



Figura 37 Predisposizione dei fori per inserimento dell'armatura.



Figura 38 Predisposizione dell'armatura in acciaio inossidabile di diametro ≥ 4 mm.



Figura 39 Ricostruzione del profilo originario con la plastilina.



Figura 40 Ricostruzione del profilo originario con la plastilina.



Figura 41 Preparazione della controforma in gesso.



Figura 42 Preparazione della controforma in gesso con rimozione della plastilina e distacco del calco.



Figura 43 La controforma in gesso è stata rifinita in laboratorio per eliminare tutte le piccole imperfezioni.



Figura 44 Dopo l'applicazione di apposito distaccante, la controforma è stata ricollocata in opera in perfetta posizione facendo ricorso a guide e riferimenti appositamente predisposti.



Figura 45 Ricostruzione del profilo originario tramite colaggio della malta, prestando la massima attenzione alla distribuzione omogenea del materiale all'interno della controforma.



Figura 46 Ricostruzione del profilo tramite colaggio della malta appositamente formulata.



Figura 47 Rimozione della controforma e rifinitura della superficie per ovviare alle piccole imperfezioni presenti.



Figura 48 Trattamento superficiale del concio ricostruito con finalità di equilibratura cromatica e presentazione estetica delle superfici: reintegrazione pittorica del concio con pitture minerali ai silicati.



Figura 49 Trattamento superficiale del concio ricostruito con finalità di equilibratura cromatica e presentazione estetica delle superfici: reintegrazione pittorica del concio con pitture minerali ai silicati.

Confermata la validità del metodo, nell'ottobre del 2007, la sperimentazione è stata replicata in corrispondenza della zona della Cappella che presentava le maggiori criticità sia sotto il profilo della complessità delle forme dei conci da integrare, sia dal punto di vista logistico-operativo.

Sono quindi stati individuati due conci, uno appartenente alla lunetta del bacino tronco-conico realizzato in marmo Bigio e uno appartenente a uno degli archi delle nicchie dei monumenti posto al primo livello della Cappella realizzato interamente in marmo Nero.

In entrambi i casi la difficoltà maggiore era insita, oltre che nella geometria particolarmente complessa delle modanature dei conci da integrare, nella posizione particolarmente aggettante dei conci stessi, tale da richiedere la realizzazione di apposite strutture di sostegno e puntellamento atte a sorreggere le controforme e a contrastare le spinte generate dalla malta d'integrazione nella fase di getto.

Il lavoro di sperimentazione, in questa seconda fase, è stato inoltre indirizzato a verificare la possibilità di impiego di malte tixotropiche in tutte quelle situazioni in cui le percentuali di mancanza risultano contenute e, pertanto, non rendono necessario procedere secondo il metodo a colaggio.

Anche in questo caso è stata confermata la validità dei risultati ottenuti.

Sperimentazione sul concio appartenente alla lunetta del bacino tronco-conico: malta a colaggio



Figura 50 Stato di fatto: il concio prima della sperimentazione.



Figura 51 Predisposizione fori per inserimento dell'armatura.



Figura 52 Restituzione del profilo originario con la plastilina.



Figura 53 Preparazione della controforma in gesso.



Figura 54 Controforma in gesso ultimata e rifinita.



Figura 55 Finitura del concio dopo il colaggio della malta.



Figura 56 Restituzione del profilo originario con la plastilina.



Figura 57 Restituzione del profilo originario con la plastilina.



Figura 58 Applicazione di idoneo prodotto distaccante prima della ricollocazione in opera della controforma in gesso.



Figura 59 Ricollocazione della controforma prima della fase di colaggio della malta.



Figura 60 Rimozione della controforma e finitura della superficie.



Figura 61 Restituzione del profilo originario del concio a forma di stella con la plastilina.

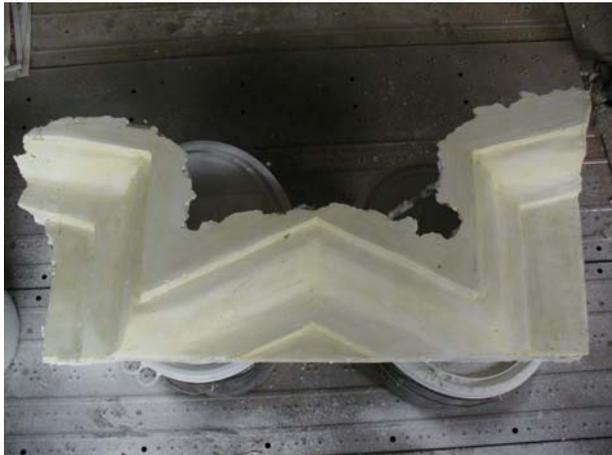


Figura 62 Controforma in gesso: per rendere più agevoli le operazioni di integrazione il calco che riproduce la forma del concio è stato diviso in due elementi.



Figura 63 Rimozione della controforma e finitura della superficie.

Sperimentazione sul concio appartenente a uno degli archi delle nicchie dei monumenti posto al primo livello della Cappella realizzato interamente in marmo Nero: malta a colaggio e malta tixotropica



Figura 64 Stato di fatto: il concio, consolidato, prima della sperimentazione di integrazione volumetrica.



Figura 65 Per l'integrazione volumetrica dei conci sono state sperimentate sia la tecnica con malta a colaggio sia la tecnica con malta tixotropica.



Figura 66 Restituzione del profilo originario con malta a colaggio.



Figura 67 Restituzione del profilo originario con malta tixotropica.

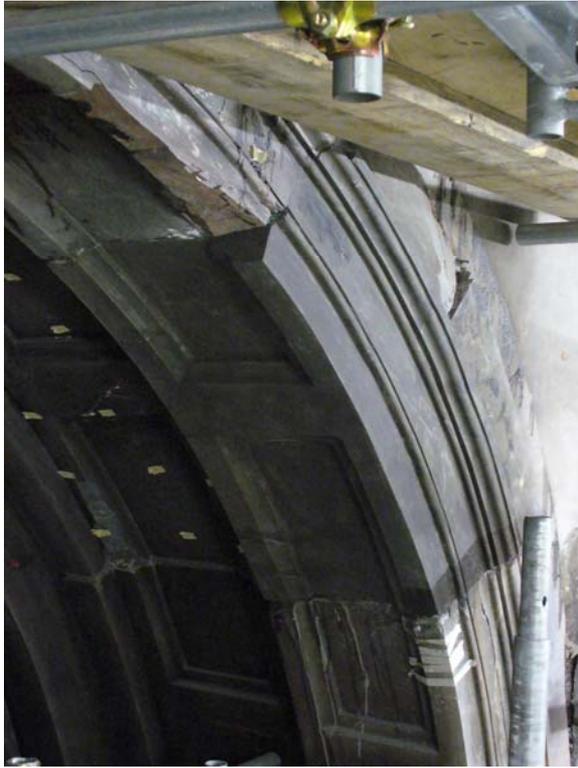


Figura 68 Concio al termine delle operazioni di integrazione volumetrica e prove di finitura superficiale con cera microcristallina.



Figura 69 Concio al termine delle operazioni di integrazione volumetrica e prove di finitura superficiale con cera microcristallina.

In ultimo, un'ulteriore considerazione ha portato a ritenere che le sperimentazioni limitate all'integrazione di singoli conci non fossero sufficientemente rappresentative della totalità delle situazioni e delle problematiche che si sarebbero dovute affrontare in fase di cantiere dove si sarebbe dovuti intervenire su aree molto estese e complesse. Si è pertanto deciso di effettuare una terza fase sperimentale interessando un'area che inglobasse più conci.

In quest'ultima fase è stato quindi esteso l'intervento di integrazione dei conci della lunetta del bacino tronco-conico oggetto della precedente sperimentazione, interessando i conci adiacenti a quelli già integrati nella seconda fase.

Questa terza e ultima fase sperimentale, oltre a confermare definitivamente la fattibilità dell'intervento sotto tutti i profili, ha permesso di evidenziare i nodi critici sui quali deve essere prestata la massima attenzione nel corso della fase realizzativa mettendo in atto tutte le necessarie cautele.

In particolare si evidenzia quanto segue:

- la geometria curva del bacino tronco-conico rende necessario effettuare preventivamente il rilievo tridimensionale e il controllo puntuale delle distorsioni originarie dei volumi degli elementi decorativi al fine di assicurare la loro corretta ricostruzione e la continuità delle forme dell'apparato decorativo. A tal fine occorre predisporre un rilievo di alta precisione dello stato di fatto integrato da una ricostruzione geometrica tridimensionale delle mancanze e il rilievo dei punti caratteristici delle modanature e dei loro piani di giacitura in modo da identificare i capisaldi cui riferirsi nella ricostruzione delle parti mancanti. All'atto pratico, questi piani di giacitura e questi punti caratteristici costituiranno i capisaldi rispetto ai quali effettuare il riposizionamento della controforma prima di procedere al colaggio della malta.

Occorre pertanto identificare in modo puntuale e rigoroso detti punti caratteristici e detti piani di giacitura e predisporre una campagna analitica di rilievo di precisione dei conci costituenti i diversi elementi e componenti della Cappella oggetto di integrazione;

- il peso proprio delle controforme, sommato all'ulteriore incremento di peso conseguente al riempimento delle stesse con la malta a colaggio, e la spinta generata dalla malta durante la fase di colaggio rendono necessaria la predisposizione di adeguate strutture provvisorie di sostegno e puntellazione. La stabilità delle controforme risulta infatti essere uno dei requisiti fondamentali per la corretta riuscita dei calchi poiché nel momento in cui la malta (di per sé estremamente fluida) viene a essere colata all'interno della controforma potrebbe disperdersi sia attraverso le superfici di contatto tra pietra e controforma sia attraverso le fessurazioni della pietra sia infine attraverso gli interstizi tra una controforma e l'altra. Inoltre lo spostamento delle controforme determinerebbe la mancata coincidenza e la mancata complanarità con le superfici limitrofe con la conseguente compromissione del risultato finale e con il rischio di essere causa di danneggiamento delle superfici originali durante la fase di rimozione dell'errata integrazione;
- è possibile che, dopo aver effettuato il disaggio delle controforme, vengano alla luce delle situazioni con dei vuoti nei punti in cui la malta non è riuscita a raggiungere tutti gli spazi delimitati dalla controforma. Ne deriva quindi la necessità di porre in atto adeguati controlli e verifiche affinché la malta colata colmi tutti gli interstizi tra la controforma e la superficie preesistente;
- la preparazione della controforma richiede la stesura, sulle facce interne, di adeguati distaccanti che facilitino lo scorrimento della malta nella fase di maggiore fluidità, evitando che la porosità stessa della superficie della controforma assorba e disidrati la malta causando sulla superficie bolle d'aria e irregolarità. L'adozione di questa cautela consente inoltre una più agevole rimozione della controforma una volta avvenuto l'indurimento della malta;
- le temperature e l'umidità ambientale possono influire negativamente sul comportamento dei materiali utilizzati, pertanto nel redigere l'aggiornamento del cronoprogramma dei lavori risulta necessario tenere in considerazione anche il periodo stagionale durante il quale si svolgeranno dette lavorazioni.



Figura 70 Ricostruzione volumetrica realizzata con plastilina modellata in situ in aderenza al supporto lapideo.



Figura 71 Controforme in scagliola realizzate direttamente sulla superficie reintegrata con la plastilina.



Figura 72 Ricollocazione delle controforme e predisposizione dei puntelli di sostegno prima di eseguire il colaggio della malta.



Figura 73 Ricollocazione delle controforme, sigillatura dei giunti tra i diversi elementi con la plastilina, puntellamento prima di procedere al colaggio della malta.



Figura 74 Rimozione delle controforme in scagliola dopo il colaggio della malta.

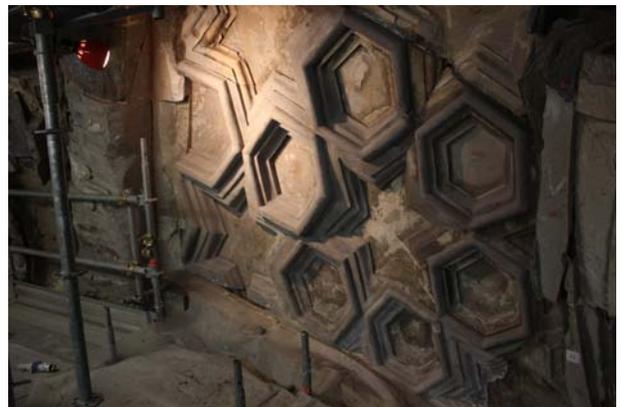


Figura 75 Superficie reintegrata con la malta a colaggio dopo la rimozione delle controforme in scagliola.



Figura 76 PUNTI CRITICI DA EVITARE: mancanza di una porzione del volume integrato dovuta all'interruzione del flusso della malta durante il colaggio, probabilmente a causa del rapprendimento della malta stessa, che ha di conseguenza ostruito il passaggio all'interno della controforma.



Figura 77 PUNTI CRITICI DA EVITARE: particolare della mancanza di una porzione del volume integrato dovuta all'interruzione del flusso della malta durante il colaggio, probabilmente a causa del rapprendimento della malta stessa, che ha di conseguenza ostruito il passaggio all'interno della controforma.



Figura 78 PUNTI CRITICI DA EVITARE: mancanza di una porzione del volume in malta, determinata dal fatto che durante il colaggio la malta non è riuscita a colmare tutti gli interstizi all'interno della controforma. Il difetto è dovuto a una inadeguata valutazione dei punti di colaggio in relazione alla capacità di penetrazione e distribuzione della malta stessa all'interno della controforma.



Figura 79 PUNTI CRITICI DA EVITARE: mancanza di complanarità tra l'integrazione in malta e il piano della superficie lapidea originale, determinata da una errata ricollocazione in opera della controforma o dallo spostamento della stessa durante la fase di colaggio.

Come anticipato, nell'ambito della sperimentazione, oltre alla definizione del metodo e della tecnica per la corretta integrazione dei conci lapidei, sono state messe a punto e testate le malte da impiegare a tale scopo.

In particolare sono stati individuati due tipi di malta, entrambi appositamente formulati e con caratteristiche analoghe a quelle del marmo di Frabosa.

A seconda dell'entità delle mancanze e delle lacune dei singoli conci, peraltro strettamente correlate alla loro ubicazione all'interno della Cappella, sono state formulate due tipi di malta da porre in opera:

- una malta fluidificata a colaggio per l'integrazione di mancanze e lacune di rilevanti dimensioni (pari o superiore al 10%);
- una malta tixotropica per l'integrazione di mancanze e lacune di entità ridotta (entro il 10%).

A conclusione della sperimentazione condotta, per eseguire l'intervento di integrazione dei conci mediante l'impiego di malta fluidificata a colaggio è stato individuato un metodo di applicazione articolato nelle seguenti fasi:

- predisposizione di idonea gabbia di armatura in acciaio inox (tondini diametro 4 mm o superiore e lunghezza tale da garantire una profondità di ancoraggio alla muratura retrostante in laterizio non inferiore a 15-20 cm) inserita praticando i fori nella pietra prestando particolare attenzione e cura al fine di non arrecare danni e di non indurre fessurazioni nella pietra che è già stata oggetto di consolidamento durante i precedenti cantieri;
- ricostruzione volumetrica dell'elemento mancante o lacunoso sulla scorta del rilievo e in analogia ad altri conci aventi medesime caratteristiche, mediante uso di plastilina la cui duttilità e plasmabilità consentono di modellare in opera le porzioni mancanti, adattandosi perfettamente alla superficie preesistente, definendo i volumi e i dettagli dell'elemento originale mancante;
- realizzazione del calco, previa approvazione da parte della D.L. della ricostruzione in plastilina, con controforma in gesso o in scagliola o altro materiale all'interno della quale effettuare il getto della malta, avendo cura di predisporre idonei riferimenti e guide per assicurare il corretto riposizionamento della controforma prima di procedere all'operazione di colaggio della malta fluidificata;
- rimozione della plastilina;

- rifinitura della controforma, stesura sulle superfici interne di idonei distaccanti e ricollocamento in opera della controforma stessa;
- colaggio della malta nella controforma;
- rimozione cauta della controforma ad avvenuto indurimento della malta;
- rifinitura del getto solidificato e perfettamente aderente alla pietra originale, mediante rimozione di eventuali imperfezioni (eliminazione di piccole irregolarità, integrazione di piccole lacune), levigatura con carta seppia della superficie del getto e lavorazione a gradina sulle porzioni superiori dei conci delle trabeazioni in analogia ai conci lapidei originali;
- trattamento superficiale del concio con finalità di equilibratura cromatica e presentazione estetica delle superfici.

Per eseguire l'intervento di integrazione dei conci mediante l'impiego di malta tixotropica il metodo di applicazione è stato invece articolato nelle seguenti fasi:

- stuccatura, microstuccatura e ricostruzione volumetrica di modesta entità dell'elemento lacunoso per analogia ad altri conci con medesime caratteristiche, per strati sovrapposti modellando in opera le mancanze, adattandosi perfettamente alla preesistenza e ripristinando i volumi e i dettagli dell'elemento originale mancante;
- rifinitura dell'integrazione perfettamente aderente alla pietra originale, mediante rimozione di eventuali imperfezioni e accurata lisciatura e levigatura delle superfici;
- trattamento superficiale del concio con finalità di presentazione estetica e raccordo cromatico.

Così come meglio descritto al Titolo II del Capitolato Speciale d'Appalto al quale si rimanda per l'intera trattazione puntuale di tutti gli interventi oggetto del presente appalto, l'operazione di integrazione volumetrica dei conci dovrà essere preceduta da una attenta e accurata preparazione di tutti i supporti lapidei consistente, in estrema sintesi, in:

- rimozione di tutti gli elementi incongrui presenti in situ (tasselli metallici di precedenti ancoraggi, residui di plastilina, ecc);
- accurata pulitura dell'intera superficie lapidea della Cappella con rimozione di tutti i depositi superficiali presenti (residui dell'incendio, residui di precedenti lavorazioni, colature di resina, ecc.), avendo cura di non compromettere eventuali patine originali presenti;
- abbassamento di precedenti stucature inidonee per materiale, granulometria, colorazione e/o incongruamente eseguite;
- applicazione di impacchi solventi per rimuovere o attenuare i fenomeni di alterazione e recuperare quanto più possibile le cromie originali;
- eventuale consolidamento corticale con silicato di etile in corrispondenza delle superfici lapidee originali alterate dall'incendio;
- stuccatura e microstuccatura di crepe e fessurazioni con eventuale ricostruzione di piccole porzioni mancanti con malta di calce naturale di idonea granulometria eventualmente pigmentata con terre naturali o polvere di marmo.

Dovranno inoltre essere individuati, di concerto e su indicazioni della D.L., i frammenti lapidei da ricollocare in opera, previa presa in carico e trasporto delle casse entro cui sono conservati dai magazzini di Moncalieri al cantiere. I frammenti riutilizzabili dovranno quindi essere sottoposti a trattamento di pulitura, consolidamento, riadesione e impernatura ai conci di appartenenza.

Prima di procedere alle fasi di presentazione estetica, dovrà essere eseguita la stuccatura dei giunti presenti tra tutti i conci e tra i conci e il paramento lapideo retrostante, in analogia ai giunti originali

ancora in situ e a quanto testimoniato dalla documentazione fotografica disponibile, utilizzando malte di adeguate cromia e granulometria, previa adeguata campionatura da sottoporre all'approvazione della D.L.

A completamento dell'intervento di integrazione volumetrica dei conci dovrà infine essere applicato un trattamento di finitura superficiale a base di silicati di potassio e/o di cere microcristalline pigmentate, diversificate in funzione dei supporti e a seconda della zona di intervento, atto a equilibrare e a raccordare cromaticamente i differenti materiali che risulteranno presenti all'interno della Cappella a restauro ultimato (conci lapidei originali, conci lapidei sostituiti, conci integrati e modellati con la malta).

Il restauro, l'integrazione e la realizzazione degli intonaci

Durante il cantiere di riabilitazione delle strutture in elevazione sono stati rimossi tutti gli intonaci presenti lateralmente sui 12 costoloni esterni situati a livello del cestello della Cappella onde realizzare gli interventi di consolidamento strutturale degli stessi e l'inserimento dei dispositivi di ancoraggio delle nuove catene del cestello.

E' previsto nell'ambito del presente progetto di intonacare nuovamente le superfici laterali di tutti i costoloni avendo cura di rispettare i piani finiti originari ancora rinvenibili in situ.

Analogamente sono previste la reintonacatura di tutti i voltini e della muratura laterizia esterna del cestello e la riprofilatura e intonacatura degli intradossi, degli sguinci, delle spallette e delle cornici di tutti i serramenti esterni del cestello sempre nel rispetto dei livelli finiti originari, ove ancora rinvenibili in situ, comprensive di applicazione di biocida ove necessario e incluse le necessarie operazioni a cucì e scuci della muratura in mattoni e la rimozione, in corrispondenza dei davanzali del cestello, dei laterizi posti provvisoriamente a costituire impedimento all'ingresso delle acque piovane all'interno della Cappella.

In corrispondenza degli intradossi degli archi dei sottolivelli da 2 a 6 del cestello sono previsti la pulitura, comprensiva di applicazione di biocida ove necessario, il consolidamento e il restauro dei lacerti di intonaco ancora presenti e l'esecuzione di nuovi intonaci su tutte le porzioni che ne risultano ormai sprovviste, mentre in corrispondenza degli archi del sottolivello 1 è previsto il rifacimento integrale degli intonaci, previo il risanamento del supporto comprensivo di applicazione di biocida ove necessario.

In ultimo, al I livello in corrispondenza dei due vestiboli e dei capitelli dei due scaloni di accesso al Duomo sono previsti la pulitura, il consolidamento, il restauro e, ove necessario, la stuccatura e l'integrazione degli intonaci presenti.

Tutti gli intonaci di nuova realizzazione e di integrazione dovranno essere realizzati con malta a base di calce idraulica naturale predisponendo tutti i saggi che si renderanno necessari per determinare la composizione della malta più idonea per cromia e granulometria.

Tutti gli intonaci (di nuova realizzazione, d'integrazione e oggetto di restauro) dovranno infine essere oggetto di un trattamento di tinteggiatura e velatura con silicati di potassio adeguatamente pigmentati, riproponendo le cromie individuate dai saggi stratigrafici, e protezione finale mediante applicazione di prodotti a base di silossani stesi a pennello e/o a spruzzo.



Figura 80 Vista degli intonaci della guglia.



Figura 81 Vista della guglia, dei costoloni, dei voltini laterizi, degli sguinci, delle cornici e delle spallette dei vani di alloggiamento dei serramenti del cestello.



Figura 82 Vista dei costoloni, dei voltini laterizi, degli sguinci, delle cornici e delle spallette dei vani di alloggiamento dei serramenti del cestello.



Figura 83 Vista degli intradossi, intonacati o da intonacare, degli archi del cestello.



Figura 84 Vista degli intonaci da restaurare nel vestibolo NW.



Figura 85 Vista degli intonaci da restaurare nel vestibolo SW.



Figura 86 Vista degli intonaci dei capitelli da restaurare nello scalone NW di discesa al Duomo.



Figura 87 Vista degli intonaci dei capitelli da restaurare nello scalone SW di discesa al Duomo.