



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER LE OPERE PUBBLICHE
PER IL LAZIO, L'ABRUZZO E LA SARDEGNA
SEDE CENTRALE DI ROMA



IL RUP
Arch. Antonio Napolitano

IL PROGETTISTA
prof. arch. Paolo Rocchi
Via Guido Banti n.7 - 00191
COLLABORATORI
arch. Renato Salvemini
Coordinatore della progettazione
arch. Caterina Galletti
Coordinatore progetto di restauro

CONSULENZE SPECIALISTICHE
dott.ssa Marina Maugeri
Interventi di restauro e risanamento conservativo
ing. Alessandro Casciari
Progettazione strutturale
dott. geol. Donatella Pingitore
Indagini geognostiche e relazione geologica
prof. arch. Carlo Bianchini
Sapienza Università di Roma
Rilievo laser scanner e verifiche geometriche

CHIESA DEI SS. BIAGIO E CARLO AI CATINARI

MINISTERO DELL'INTERNO (FEC) PROGETTAZIONE DEFINITIVA - ESECUTIVA E DI
COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE DEI LAVORI DI
COMPLETAMENTO DI RISANAMENTO CONSERVATIVO E DI CONSOLIDAMENTO GENERALE
DELLA CHIESA DI SS. BIAGIO E CARLO AI CATINARI IN ROMA

IL DIRETTORE DEI LAVORI

L'IMPRESA

N.	REVISIONE	DATA
00		17/12/2018
01		19/03/2019
02		
03		

<input type="checkbox"/>	PROGETTO PRELIMINARE	<input checked="" type="checkbox"/>	PROGETTO DEFINITIVO	<input checked="" type="checkbox"/>	PROGETTO ESECUTIVO			
	STATO DEI LUOGHI		<input checked="" type="checkbox"/>	PROGETTO				
<input type="checkbox"/>	RILIEVO	<input type="checkbox"/>	ARCHITETTURA	<input checked="" type="checkbox"/>	STRUTTURE	<input checked="" type="checkbox"/>	RESTAURO	
ELABORATO	ELABORATO	DESCRIZIONE DELL'ELABORATO				FORMATO		
RELAZIONE	RTG	RELAZIONE TECNICA GENERALE				A4		
	P.D. P.E.	PROG.	E.R.	RES, STR.	R.T.G.	01	01	DATA 19/03/2019

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
- PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER LE OPERE PUBBLICHE
PER IL LAZIO, L'ABRUZZO E LA SARDEGNA -

MINISTERO DELL'INTERNO (FEC)
LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL RISANAMENTO CONSERVATIVO E CONSOLIDAMENTO
GENERALE DELLA CHIESA DI SS. BIAGIO E CARLO AI CATINARI IN ROMA.

CUP: D84G1000090001- CIG: 7008943ABA

Affidamento- di incarico di progettazione definitiva - esecutiva e del piano di
coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione

Relazione Tecnica Generale

prof. arch. Paolo Rocchi

Indice:

1	Premessa	6
2	Fasi storiche	7
3	Campagna diagnostica	11
3.1	Anno 2006 (indagini propedeutiche alla progettazione preliminare)	11
3.2	Anni 2012-2013 (monitoraggio propedeutico alla progettazione esecutiva dei lavori sulla cupola e sul lanternino)	12
3.3	Anno 2013 (indagini compiute durante i lavori su cupola e lanternino)	13
3.4	Anno 2018 (campagna diagnostica in fase di progettazione)	16
3.5	Anno 2018 (monitoraggio dinamico delle strutture)	18
4	Analisi geologica	19
4.1	Indagini eseguite	19
4.2	Caratteristiche geomorfologiche dell'area	19
4.3	<i>conclusioni</i>	21
5	Stato di fatto	22
5.1	Analisi del quadro dei dissesti	22
5.2	Interventi di consolidamento recenti	24
5.3	Analisi dei materiali e delle forme di degrado	26
5.4	Rilievo mediante laser scanner 3d	26
6	Progetto di consolidamento	29
6.1	Premessa e indirizzi metodologici	29
6.2	Il progetto di consolidamento	31
7	Manutenzione e manutenibilità della Chiesa	35
7.1	Premessa	35
7.2	Manutenibilità	36
7.3	Manutenzione	37
8	Restauro	39

1 Premessa

La presente relazione riguarda il progetto esecutivo delle opere di consolidamento e risanamento conservativo della Chiesa dei SS. Biagio e Carlo ai Catinari, parte del convento dei frati barnabiti, di proprietà del Fondo Edilizia di Culto del Ministero dell'Interno. Siredige al fine di illustrare il progetto definitivo - esecutivo dei lavori di completamento del risanamento conservativo e consolidamento generale della Chiesa di SS. Biagio e Carlo ai Catinari in Roma, che si pone come obiettivo la definizione di interventi in grado di affrontare complessivamente le problematiche strutturali e di sicurezza all'interno del monumento, nell'ambito della disponibilità economica messa a disposizione dall'Ente Appaltante, (Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche per il Lazio, l'Abruzzo e la Sardegna).

La progettazione prende le mosse dall'attento controllo geometrico dell'intero organismo edilizio (in particolare della forma della cupola), anche attraverso strumenti di rilievo laser scanner, e dall'accurata campagna diagnostica. Le indagini conoscitive hanno avuto inizio nel 2006, in fase di progettazione preliminare; le stesse sono state poi implementate durante i lavori, appaltati nel 2013, per gli interventi che hanno interessato il lanternino e l'intradosso della cupola.

In particolare, la prima campagna di indagini, condotta nel 2006 e propedeutica alla definizione preliminare degli interventi, ha compreso:

- **carotaggi nelle strutture di fondazione e nel terreno** per la conoscenza della quota di imposta e della tipologia costruttiva delle fondamenta;
- **esplorazione a campione verticale mediante Georadar**, finalizzata alla conoscenza dell'organizzazione e della consistenza muraria degli elementi di sostegno della cupola;
- **indagini per ricavare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali** costituenti le strutture di sostegno della cupola;
- **installazione di un sistema di monitoraggio** (della durata di 1 anno), al fine di verificare la stabilità delle lesioni nelle due cappelle di ingresso e verificare l'influenza sulle strutture della Chiesa di vibrazioni indotte da azioni dinamiche, quali il traffico veicolare e tranviario.

Come detto, una secondo gruppo di indagini è stato compiuto nel 2013 dall'Impresa esecutrice dei lavori relativi a cupola e lanternino (la Ditta Lattanzi S.r.L di Roma) ed ha compreso:

- **il riconoscimento dello stato di conservazione e la caratterizzazione dal punto di vista meccanico-elastico** delle strutture dei quattro piloni, degli arconi, dei pennacchi, del tamburo e della cupola della Chiesa, comprendente martinetti piatti singoli e doppi, carotaggi, indagini videoendoscopiche, indagini soniche, georadar e pacometro, tomografie e termogrammi;
- **un aggiornamento del quadro fessurativo**, mediante montaggio del ponteggio all'interno della crociera e fino al cupolino;
- **installazione di un sistema di monitoraggio** delle fessure presenti a livello dei pennacchi, del tamburo e della cupola, della durata di sei mesi.

L'esigenza di una ulteriore campagna diagnostica di approfondimento si è palesata già a seguito degli eventi sismici del 2016, che hanno reso necessario un sopralluogo di verifica, da parte dei Vigili del Fuoco, sullo stato di conservazione della Chiesa. Da questi, è emersa la necessità di vietare l'accesso al pubblico, in via precauzionale, a causa della caduta dall'alto di piccoli frammenti di materiale trattenuti da una sottile rete di plastica posta alla base del tamburo. Si è ritenuto, pertanto necessario, a partire dalla dettagliata campagna diagnostica già realizzata, proseguire le attività di indagine intraprese nella precedente fase di progettazione, nella prospettiva di minimizzare ed ottimizzare la taratura degli interventi da progettare, in modo tale da evitare interventi standardizzati, impropri o ridondanti ed completare il consolidamento della Chiesa, rendendola di nuovo fruibile in condizioni di sicurezza.

In particolare, si sono svolte le seguenti attività, finalizzate all'integrazione della fase conoscitiva:

- **esecuzione di rilievo generale dell'edificio con impiego di strumento laser scanner 3d**, geometricamente più accurato rispetto a quello eseguito prevalentemente con mezzi tradizionali durante la fase preliminare (2006). La necessità di ottenere dati più precisi in relazione alla configurazione della cupola, peraltro aveva spinto già all'epoca ad adoperare questo mezzo tecnico per rilevarla, cosa che consente, oggi, di porre in relazione i suoi dati dimensionali e morfologici del 2006 con quelli odierni e individuare, di conseguenza, eventuali modifiche nella sagoma riconducibili a movimenti indotti su di essa dalle strutture sottostanti;
- **campagna di indagini integrativa**, al fine di concludere la fase conoscitiva delle strutture e procedere nella definizione degli interventi di consolidamento, comprendente: esecuzione di passaggi con georadar sul pavimento della chiesa, di rilevazioni termografiche dell'interno dell'aula, di ispezioni con endoscopio delle strutture in elevato e degli orizzontamenti, installazione di sensori accelerometrici;
- aggiornamento del quadro fessurativo "a vista" e sulla scorta delle indagini dedicate, al fine di evidenziare eventuali fenomeni innescati dagli eventi sismici;
- ricognizione dell'apparato decorativo finalizzato alla valutazione, da parte di un restauratore abilitato, degli interventi di consolidamento e restauro da eseguirsi su di esso al fine di garantire adeguate condizioni di adesione e di sicurezza;

In merito a quest'ultimo punto, occorre segnalare che tale ricognizione, originariamente prevista su tutto l'apparato decorativo ed in special modo delle volte della navata, del presbiterio e del transetto, è stata eseguita solo in alcune zone, rese raggiungibili grazie al montaggio, all'interno della chiesa, di opere provvisorie di limitate dimensioni; tale riduzione dell'area indagata, dovuta all'impossibilità di accedere con un mezzo meccanico (elettrolift) all'interno della chiesa – le approfondite ed attente analisi eseguite sulla pavimentazione della Chiesa (georadar ed elettromagnetometriche) hanno infatti escluso tale possibilità – e all'assoluta non ammissibilità, dal punto di vista economico, di procedere all'installazione di un ponteggio che coprisse tutta l'area al solo fine di eseguire le indagini, non ha tuttavia consentito di avere un quadro esaustivo delle condizioni degli elementi decorativi, che dovrà quindi essere tassativamente ottenuto in fase di cantiere; solo in tale fase, quindi, sarà possibile coordinare puntualmente attività di indagine e interventi – peraltro definiti come tipologia grazie alle ispezioni parziali condotte – raggiungendo un idoneo livello di salvaguardia e tutela del Monumento e dei suoi fruitori.

2 Fasi storiche

Per brevità, in questa sede, si riporta una cronologia della vicenda costruttiva dell'edificio, al fine di collocare nella giusta prospettiva gli interventi previsti di consolidamento; si rimanda alla relazione Storica (*cf. elab. RS*) ogni altro approfondimento di dettaglio.

CRONOLOGIA DELLE FASI COSTRUTTIVE

FASE 1		
DATAZIONE	AVVENIMENTO	FONTE
1612, 26 febbraio	Posa della prima pietra	VALLE 1742, ms. in ASGB
1612	Inizio degli scavi per le fondazioni dei piloni della cupola	VALLE 1742, ms. in ASGB
1613	Inizio degli scavi per le fondazioni dei muri laterali.	VALLE 1742, ms. in ASGB

1618	Fine dei lavori di una parte della fabbrica – corpo cruciforme e murature perimetrali; sono state realizzate anche le coperture voltate e la cupola.	VALLE 1742, ms. in ASGB
1620, 11 giugno	Fine dei lavori alla lanterna, viene collocata la palla e la croce di bronzo sulla cupola della chiesa.	VALLE 1742, ms. in ASGB
1626	Al completamento della chiesa mancano ancora la facciata, l'abside e la sacrestia.	VALLE 1742, ms. in ASGB

FASE 2		
DATAZIONE	AVVENIMENTO	FONTE
1627	Inizio dei lavori di realizzazione della facciata (progetto di Giovan Battista Soria). Opere interne: decorazione della volta a botte con cassettoni in oro e lo stemma araldico del cardinale, affreschi dei pennacchi sferici della cupola (Domenichino), decorazione del lanternino (Gian Giacomo Sementi), altare della cappella di Sant'Anna.	VALLE 1742, ms. in ASGB
1635	Fine dei lavori alla facciata.	VALLE 1742, ms. in ASGB
1637	Realizzazione dell'altare maggiore (progetto attribuito a Martino Longhi).	CACCIARI 1861, ms. in ASGB

FASE 3		
DATAZIONE	AVVENIMENTO	FONTE
1638	Scavo delle fondazioni dell'abside	CACCIARI 1861, ms. in ASGB
1648	Fine dei lavori alla tribuna (progetto di Rosato Rosati), alla sacrestia e all'abside della chiesa.	VALLE 1742, ms. in ASGB

CRONOLOGIA INTERVENTI DI RESTAURO E DI CONSOLIDAMENTO

DATAZIONE	AVVENIMENTO	FONTE
1638	Irrobustimento dei piloni della cupola, giudicati da "peritissimi architetti" troppo esili per sostenerne il peso; nel tamburo furono inseriti due cerchi di ferro. Forse nello stesso intervento sono state poste le cerchiature superiori sotto i capitelli delle colonne del lanternino.	VALLE 1742, ms. in ASGB
1669	Opere di rinforzo statico della cupola (chiusura di otto delle dodici finestre dell'attico).	DELFINI 1985
1743	Lavori di consolidamento alla precedente catena, viene modificato il sistema dell'armatura dei tetti per scaricare il loro peso su punti più adeguati.	CACCIARI 1861, ms. in ASGB
1818	Restauro degli affreschi della cupola. Aggiunta di un rosone decorativo nell'intradosso della calotta.	CACCIARI 1861, ms. in ASGB
1837	Restauro degli affreschi dei pennacchi della cupola.	ASR, Tit. IV, b. 255, fasc. 2723
1849, 9 luglio	A seguito dei gravi danni riportati alla chiesa e al collegio di San Carlo durante la Repubblica	VALLE 1742, ms. in ASGB

	Romana, iniziano i lavori di restauro del secondo piano del collegio	
1849 , 6 agosto	Inizio del restauro della cappella Cavallerini	VALLE 1742, ms. in ASGB
1857 , 22 agosto	Inizio intervento di restauri della chiesa (progetto di Virginio Vespignani, assistito dal Barnabita Luigi Cacciari). Interventi sulla cupola: rifacimento dell'affresco del lanternino realizzato da Gian Giacomo Semenza, decorazione con scanalature dei pilastri della cupola; sostituzione dei finestrini della cupola con vetri bianchi. Rifacimento della doratura della trabeazione, pulitura delle pitture dell'abside. Realizzazione di incrostazioni marmoree – vere e finte – su pilastri e pareti. Chiusura di due porte di accesso al retro-coro e apertura di un unico passaggio dietro l'alter maggiore. Rifacimento del pavimento, in lastre di marmo bianco e grigio	CACCIARI 1861, ms. in ASGB
1859	Nuovo restauro degli affreschi del Domenichino ad opera di Luigi Scalzi	ASR, Ministero del Commercio e LL. PP., sez. V, Tit. V, b. 369
1915 , gennaio	Restauro degli stucchi ad opera dall'associazione "Artigiani della società del Fondo per il Culto"	ASGB, <i>Atti della casa</i> , 1915
1918 , 29 luglio	Restauro degli stucchi nella cappella di Santa Cecilia	ACS, AA.BB., Div. I (1908-1924), b. 868
1933 , febbraio	Lavori di restauro nella chiesa: risarcitura delle lesioni e rinnovamento dello smalto di rinfiacco di volte ed archi	ASR, <i>Genio Civile</i> , b. 131, anno 1933
1934 , 30 giugno	Rifacimento integrale del tetto, scalzatura delle lesioni profonde con muratura di qualunque genere e con ripresa delle murature con malte di cemento e laterizi, risarcitura completa di vecchie stuccature a mastice e nuova stuccatura a mastice di biacca di Genova.	ASR, <i>Genio Civile</i> , b. 131, anno 1934
1962 , 18 luglio	Lavori di restauro degli affreschi, stucchi e ornati e statue della cappella di Santa Cecilia.	ASR, <i>Genio Civile</i> , b. 131, anno 1962
1966 , 21 giugno	Lavori di consolidamento parziale dei prospetti esterni della chiesa.	
1983	Restauro dei lanternini delle cappelle di S. Antonio, S. Paolo e Maria SS. dell'Addolorata.	ASR, <i>Genio Civile</i> , b. 131, anno 1983
1995	Inizio lavori di consolidamento strutturale di volte e murature perimetrali, il restauro delle coperture	
2004	Restauro conservativo della facciata diretto da Luciano Garella.	
2013	Lavori di consolidamento della cupola e del lanternino: consolidamento del lanternino risarcitura lesioni nel tamburo e all'intradosso della cupola	

	<p>messa in sicurezza degli arconi della crociera, mediante inserimento di quattro selle in acciaio con lo scopo di impedire lo slittamento reciproco dei lembi delle profonde lesioni rilevate in chiave</p> <p>inserimento di una coppia di tiranti in acciaio inox ancorata alle pareti laterali esterne, ad attraversare trasversalmente l'edificio;</p> <p>messa in sicurezza dell'apparato decorativo del tamburo e della cupola mediante interventi di consolidamento e riadesione al supporto.</p> <p>posizionamento di una rete in materiale plastico al di sotto del sistema voltato che copre la navata, transetti ed abside, a scongiurare eventuali danni a cose e/o persone derivanti da distacco di frammenti facente parte della ricca decorazione a stucco delle volte stesse.</p>	
--	---	--

3 Campagna diagnostica

La fase conoscitiva, come accennato, è stata condotta a più riprese, a partire da quelle condotte in occasione dell'impostazione del progetto preliminare fino alle più recenti indagini per l'affinamento progettuale definitivo ed esecutivo. L'insieme di prove compiute sulle strutture della Chiesa, quindi, può quindi essere organizzato per tipologia di prova, zona di indagine ed anno di esecuzione, come si farà nei paragrafi che seguono.

3.1 Anno 2006 (indagini propedeutiche alla progettazione preliminare)

- Livello chiesa:
 - n° 2 prove di carico sulle murature con martinetti piatti singoli;
 - n° 2 prove di carico sulle murature con martinetti piatti doppi;
 - n° 4 indagini endoscopiche nelle murature;
 - n° 4 prove soniche.
- Livello sottotetto:
 - n° 4 prove di carico sulle murature con martinetti piatti singoli;
 - n° 1 prove di carico sulle murature con martinetti piatti doppi;
 - n° 9 indagini endoscopiche nelle murature;
 - n° 4 prove soniche.

Sintesi dei risultati:

si è riscontrato che, a livello della chiesa, i pilastri sono costituiti da una muratura di mattoni laterizi pieni, di discreta consistenza, mentre, a livello sottotetto, il podio del tamburo risulta costituito da una muratura con foderi di circa 18 cm di mattoni laterizi pieni ed un nucleo in conci non squadri di tufo, anch'essa di discreta consistenza.

Tutte le prove di carico con martinetti piatti effettuate sulle murature, sia a livello chiesa che a livello sottotetto, hanno evidenziato un buon coefficiente di sicurezza (> 3).

3.1.1 Esplorazione georadar

- Livello interrato:
 - n° 1 scansioni sulla parte basamentale del pilastro;
- Livello chiesa:
 - n° 1. scansioni sul medesimo pilastro;
- Livello sottotetto:
 - n° 1 scansioni della base del tamburo.

Sintesi dei risultati:

Pur con i limiti imposti dal dover operare senza l'appoggio stabile di un ponteggio, su aree limitate ed in presenza di elementi interferenti (catene, modanature ecc.), si è potuto rilevare che lo stato globale delle strutture indagate (pilastro al seminterrato, pilastro a livello chiesa e tamburo a livello del sottotetto), relativamente alla compattezza della muratura, risultava discreto. Anche le anomalie riscontrate, che avrebbero potuto far supporre in generale delle discontinuità, non sono apparse particolarmente preoccupanti.

3.1.2 Monitoraggio statico e dinamico

- Sensori applicati:
 - n° 5 fessurimetri;
 - n° 3 accelerometri.
- Durata:
 - n° 12 mesi.

Sintesi dei risultati:

Scopo del monitoraggio era verificare la stabilità delle strutture della Chiesa, per mezzo della lettura in continuo dei dati registrati dalla strumentazione installata, su un arco temporale pari ad un anno, durata del periodo di osservazione del sistema di controllo.

La scelta della posizione per l'installazione dei fessurimetri è stata suggerita dalle più evidenti esigenze di controllo dei movimenti della struttura. Tale criterio ha indotto a verificare la persistenza di movimenti nelle due cappelle laterali, situate in prossimità dell'ingresso alla navata della chiesa; queste, infatti, mostravano lesioni sulla chiave degli archi di ingresso e sulle murature. Anche il tamburo della cupola, soprattutto nella parte superiore, purtroppo non raggiungibile senza ponteggi, presentava lesioni. In considerazione della lettura del quadro fessurativo, del controllo dell'efficienza degli interventi di consolidamento pregressi, della verifica di movimenti ancora in essere ed anche dell'intenso traffico veicolare che interagiva con la struttura del monumento, sono stati, dunque, installati i cinque fessurimetri, due alla base del tamburo della cupola nell'anello percorribile, in corrispondenza delle radici di due lesioni correnti anche superiormente; due in corrispondenza delle chiavi degli archi delle due cappelle situate all'ingresso ed uno sulla muratura ortogonale all'arco della cappella di sinistra. Infine, sono stati installati tre accelerometri per il controllo dinamico del monumento: 2 posizionati sul tamburo ed uno nei locali ipogei. Le registrazioni degli strumenti misuratori dell'ampiezza delle lesioni nelle due cappelle hanno confermato la stasi di movimenti significativi delle fessure nelle stesse; anche nel tamburo non sono stati registrati movimenti significativi delle lesioni analizzate. Per quanto riguarda gli accelerometri è stata messa in evidenza l'assenza di registrazioni di eventi significativi di movimenti dinamici e di eventuali correlazioni tra i dati registrati tra gli strumenti posti nel tamburo e nei locali ipogei.

3.2 Anni 2012-2013 (monitoraggio propedeutico alla progettazione esecutiva dei lavori sulla cupola e sul lanternino)

Prima di dar corso ai lavori, si ritenne necessario approfondire le indagini su eventuali movimenti indotti sulla struttura da sollecitazioni di tipo dinamico, con strumenti specificatamente dedicati al riscontro di fenomeni di tipo vibrazionale; ciò ad integrazione dei risultati ottenuti col monitoraggio del 2006, effettuato con strumenti idonei all'accertamento ed al riscontro di eventi di tipo sismico, ma meno sensibili alla registrazione e alla analisi di velocità basse. Alla luce della vulnerabilità della Chiesa e del suo importante apparato decorativo, quindi, è stato installato un nuovo sistema di monitoraggio vibrazionale con sensori velocimetrici con parametri di registrazione di movimenti dinamici con velocità dell'ordine del mm al secondo. Gli eventi registrati, in generale, sono caratterizzati da sollecitazioni singole di brevissima durata, oppure accompagnate da altre analoghe, ma con

velocità molto più basse. Nel complesso gli eventi riscontrati sono comunque pochi e, in generale, al di fuori del range indicato dalla normativa DIN 4150-3, che prevede, per edifici sensibili, un intervallo di pericolosità che va da 3 a 8 mm/s di velocità massima per ciascuna delle componenti (radiale, traversa e verticale nel caso di vibrazioni transienti di frequenza inferiore ai 50 Hz) e di 2.5 mm/s per fenomeni prolungati.

3.3 Anno 2013 (indagini compiute durante i lavori su cupola e lanternino)

Grazie alla presenza delle opere provvisorie propedeutiche al cantiere, si sono rese accessibili aree prima irraggiungibili in sicurezza; si sono potute, quindi, integrare il quadro della conoscenza del manufatto con indagini ulteriori, a completamento della campagna diagnostica effettuata nel 2006, con lo scopo sia di caratterizzare le tipologie degli elementi strutturali della cupola e del lanternino, sia di effettuare una dettagliata mappatura dei dissesti dell'apparato decorativo presente.

I risultati che sono emersi da tali prove, oltre a consentire un affinamento del livello di progettazione della successiva fase di approfondimento, hanno permesso di determinare ulteriori parametri fondamentali per una buona schematizzazione della struttura tramite modellazione numerica finalizzata alla verifica sismica

In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini conoscitive:

- Crociera – pilastro 1 (lato sinistro - Ingresso chiesa):
 - n° 1 *prove di carico sulla muratura con martinetto piatto doppio (lato nord);*
 - n° 1 *indagini endoscopiche nelle murature (lato nord);*
 - n° 1 *indagini soniche e passaggi con georadar (lato nord).*
 - n° 1 *prove tomografiche-soniche (tra la lesena del lato nord e lato est).*
- Crociera – pilastro 2 (lato sinistro - Ingresso chiesa):
 - n° 2 *prove di carico su murature con martinetti piatti doppi (lati nord e sud);*
 - n° 1 *indagini endoscopiche nelle murature (lato sud);*
 - n° 1 *indagini soniche e passaggi con georadar (lato est);*
 - n° 1 *prove tomografiche-soniche (lesena del lato est).*
- Crociera – pilastro 3 (lato destro - presbiterio chiesa):
 - n° 1 *prove di carico su murature con martinetto piatto singolo (lato nord-est);*
 - n° 1 *prove di carico su murature con martinetto piatto doppio (lato ovest);*
 - n° 1 *carotaggio (lato nord-est)*
 - n° 1 *indagini endoscopiche nelle murature (lato nord-est, nel foro del carotaggio);*
 - n° 1 *indagini soniche e passaggi con georadar (lato sud).*
 - n° 1 *prove tomografiche-soniche (lesena del lato ovest)*
- Crociera – pilastro 4 (lato destro - ingresso chiesa):
 - n° 1 *prove di carico sulle murature con martinetto piatto doppio (lato nord);*
 - n° 1 *indagini endoscopiche nelle murature (lato nord);*
 - n° 1 *indagini soniche e passaggi con georadar (lato ovest).*
 - n° 1 *prove tomografiche-soniche (tra la lesena del lato nord e del lato ovest).*
- Crociera – pennacchi:

- n° 1 indagini endoscopiche nelle murature (pennacchio 4, lato destro, ingresso chiesa);
- n° 4 indagini termografiche.
- Tamburo:
 - n° 1 carotaggio (lato est);
 - n° 1 indagini endoscopiche nelle murature (lato est, nel foro del carotaggio);
 - n° 2 indagini soniche e passaggi con georadar (sulla muratura sopra al timpano della finestra del lato est e sulla muratura sotto la finestra del lato ovest)
 - n° 4 prove tomografiche-soniche (a destra e a sinistra dell'apertura che lo collega con il sottotetto, sulla muratura tra la finestra del lato nord e la finestra del lato nord-ovest, sulla muratura tra la finestra del lato ovest e la finestra del lato sud-ovest e sulla muratura tra la finestra del lato sud e la finestra del lato sud-est)
 - n° 1 indagini termografiche.
- Crociera – arco su pilastro 2 (lato destro - ingresso chiesa):
 - n° 1 indagini soniche e passaggi con georadar (lato sud).
- Crociera – arco su pilastro 4 (lato destro - ingresso chiesa):
 - n° 1 indagini soniche e passaggi con georadar (lato nord).
- Cupola:
 - n° 1 indagini soniche e passaggi con georadar (sulla muratura ad altezza del terzo rosone dal basso, lato est, sulla muratura ad altezza del terzo rosone dal basso, lato ovest)
 - n° 1 indagini termografiche.

Per un totale di:

- n° 6 prove con martinetti piatti sui pilastri della crociera;
- n° 2 carotaggi sul pilastro della crociera e sul tamburo;
- n° 6 indagini videoendoscopiche;
- n° 10 indagini soniche e georadar;
- n° 10 indagini tomografiche-soniche;
- n° 3 indagini termografiche.

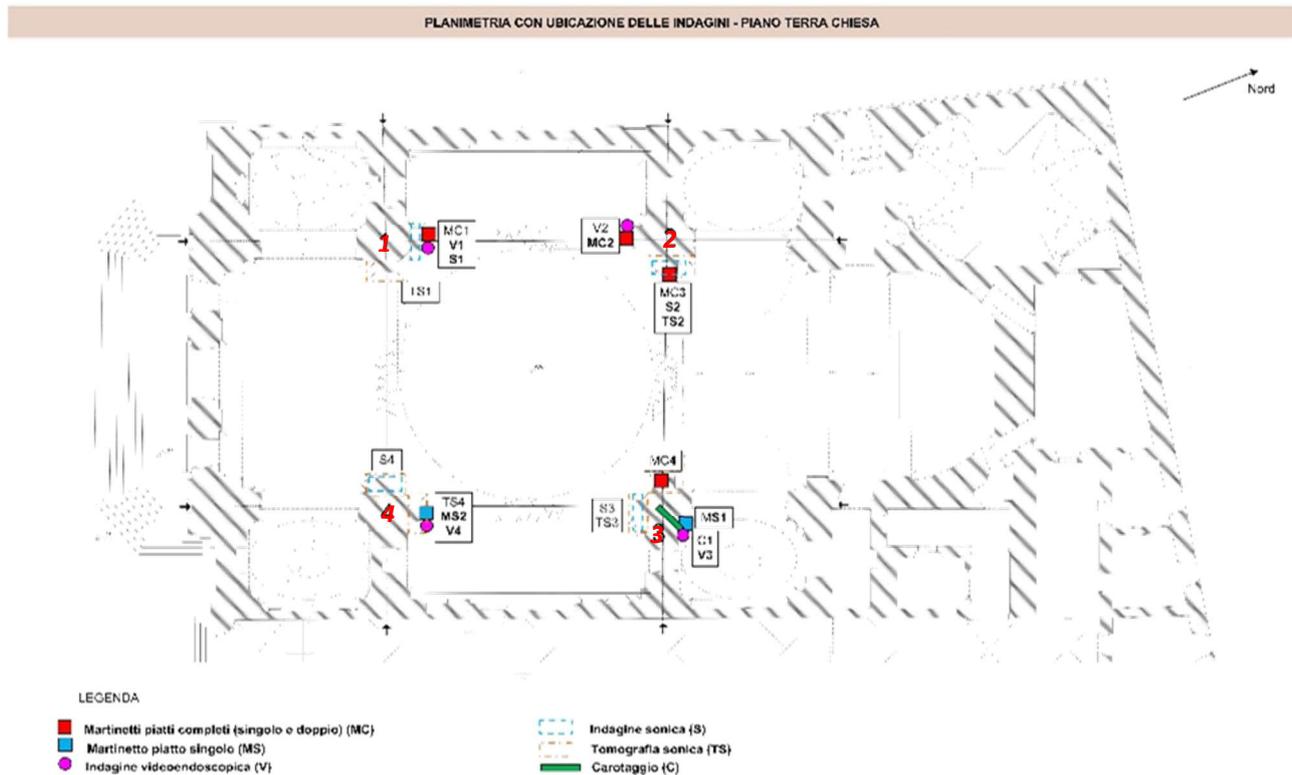
Sintesi dei risultati – indagini:

Fig. 1 – Pianta della chiesa con individuati i pilastri della cupola oggetto di indagine

I martinetti piatti hanno mostrato una situazione di asimmetria sia dal punto di vista dello stato tensionale che del modulo di elasticità percepito; il pilastro 3 (lato destro - presbiterio chiesa) presenta una tensione di esercizio decisamente superiore, oltre il 200% della massima tensione d'esercizio rilevata sugli altri pilastri. Per quanto riguarda, invece, il modulo elastico percepito, i pilastri 2 e 3 presentano un valore del modulo elastico superiore a quello del pilastro 1. Questa diffusa asimmetria tensionale ci dimostra come, nel tempo, le azioni sui pilastri di base della cupola non si siano distribuite uniformemente, evidenziandone l'asimmetria del comportamento strutturale e reologico precedentemente descritto. I carotaggi e le videoendoscopie effettuate sui pilastri hanno mostrato una certa omogeneità nella realizzazione della muratura (tutta di mattoni pieni), quindi le differenziazioni del modulo di elasticità sono probabilmente frutto di un diverso livello di compattazione della muratura dovuto ad un diverso livello di carico nel tempo, dato evidenziato anche dalle diverse velocità di percorrenza dell'onda sonora all'interno dei singoli elementi strutturali. Tali risultanze consolidano l'ipotesi di spinta asimmetrica sul tamburo della cupola che impone sollecitazioni differenziate sui pilastri di base. Le analisi soniche in elevazione invece mantengono, per singolo livello di rilievo, una certa omogeneità nelle velocità fatte salve le misure a livello della lanterna: nello spessore della volta le tensioni in eccesso si sono liberate con l'insorgenza di stati fessurativi che fungono da elementi di dissipazione della tensione. La videoendoscopia che ha interessato la massa del pennacchio ha mostrato una situazione di minore compattezza della massa muraria che inizia fin dai primi 15 cm per poi mostrare un'altra lacuna intorno ai 160 cm di profondità. I rilievi termografici eseguiti, infine, abbinati ad una leggera battitura con il martelletto, dove lo stato di conservazione delle finiture pittoriche lo consentiva, sono stati elaborati ed

analizzati mediante apposito software di analisi termografica ed hanno evidenziato, nelle aree indagate, anomalie termiche e degrado dovuto a distacchi e rigonfiamenti, microfessurazioni e fessure di dimensioni maggiori.

3.4 Anno 2018 (campagna diagnostica in fase di progettazione)

La tipologia delle indagini previste in fase di progettazione è stata scelta in base agli obiettivi progettuali, di concerto con la Committenza e, come sempre, nel massimo rispetto del Monumento. Tale nuova campagna di indagini si è concentrata sia sulle parti della Chiesa non ancora indagate sia sul completamento del quadro conoscitivo dell'organismo edilizio anche in relazione con le indagini pregresse. Sono quindi state eseguite:

- Livello interrato:
 - n° 2 carotaggi (in corrispondenza delle murature di fondazione della facciata e del transetto);
 - n° 6 indagini endoscopiche nelle murature (facciata, muratura d'ambito sul lato sud-est, basi pilastri 2 e 3 lato presbiterio) e sulle volte (ambienti sottostanti la cappella Filonardi e il presbiterio).
- Corpo della chiesa:
 - n° 5 indagini termografiche sulle volte (navata, coro, abside, transetti);
 - n° 14 indagini endoscopiche nelle murature (2 in facciata, 5 – 2 lato sud-est, 3 lato nord-ovest – su murature d'ambito, 3 su maschi murari trasversali di collegamento tra pilastri e pareti d'ambito, 1 su parete di fondo verso la sagrestia, 2 sull'abside);
 - n° 4 scansioni con georadar alla base dei pilastri della crociera (verifica adesione delle lastre di rivestimento e individuazione delle grappe di ancoraggio delle stesse);
 - n° 4 indagini termografiche dei pennacchi della cupola (1 per ogni pennacchio).
 - n° 3 indagini termografiche sulle volte delle cappelle (1 per ciascuna ad esclusione della Cappella di S. Cecilia).
- Livello sottotetto:
 - n° 3 indagini endoscopiche sulle volte (secondo livello di volte su cappelle Cavallerini e Costaguti, volta del presbiterio);
- Cupola:
 - n° 1 indagini termografiche.

3.4.1 Sintesi dei risultati – indagini:

Termografie

L'utilizzo di procedure di analisi termografica, tramite termocamere ad elevata risoluzione, ha consentito l'individuazione di aree 'a rischio', orientando in modo più proficuo e puntuale il successivo posizionamento delle opere provvisorie che, in sostituzione dell'elevatore,

hanno permesso la battitura di alcune parti dell'apparato decorativo delle volte, eseguita da parte della Acanto Restauri S.r.l. direttamente incaricata dal Committente Provveditorato.

Lo studio delle zone così individuate è stato approfondito, come detto, da restauratori specializzati della Acanto Restauri S.r.l., tramite indagine ravvicinata e operatività di battitura sul ricco apparato decorativo all'intradosso delle strutture voltate.

Le indagini termografiche, in generale, hanno mostrato la presenza di anomalie termiche, sintomatiche dei seguenti fenomeni: distacchi o rigonfiamenti, lesioni o micro-lesioni e aree interessate da umidità.

Nello specifico, sulla superficie voltata della navata e del transetto si rilevano numerosi distacchi e lesioni, compatibili con il quadro fessurativo della fabbrica.

Sulle volte delle cappelle laterali si è invece riscontrata una forte presenza di umidità, probabilmente permeata attraverso la muratura d'ambito, che ha causato in alcune zone un evidente stato di degrado.

Sull'intradosso della cupola - oggetto di intervento di risanamento conservativo nel 2012 - le indagini non hanno mostrato evidenti segni di distacchi o rigonfiamenti, evidenziando tuttavia la presenza di umidità sulla superficie interna, la cui origine resta da indagare più approfonditamente.

Carotaggi subverticali

Queste indagini hanno fornito dati di fondamentale importanza per le modellazioni matematiche, permettendo di conoscere la quota di imposta e la tipologia costruttiva delle fondazioni delle murature dell'edificio. Le risultanze hanno infatti evidenziato una completa analogia delle due fondazioni, quanto a materiale costitutivo e piano di posa: entrambe sono state realizzate con una muratura in concrezione abbastanza compatta, con inerti di varia dimensione e con un piano di posa a quota di circa - 8,70 m (rispetto alla quota 0,00 m corrispondente al livello della pavimentazione dell'aula della Chiesa).

Indagini georadar

Inizialmente previste sui pilastri, nei locali ipogei e sull'estradosso della cupola, poi eseguite, in accordo con la Committenza, esclusivamente sui primi, mentre nei locali ipogei sono state sostituite da uno stendimento elettrico limitrofo alla fondazione dei pilastri della crociera: quest'ultima tipologia di indagini - anche in considerazione della superficie scabra del calpestio di tali locali - risulta infatti più efficace per il caso in oggetto, poiché permette di raggiungere profondità di indagine più elevate restituendo dati di caratterizzazione del terreno più completi ad uso della modellazione strutturale del complesso. Dai grafici di propagazione delle onde emerge un sostrato in parte costituito da strutture preesistenti ed in parte da terreno di riporto antico.

A compensazione delle indagini georadar non eseguite su una porzione dell'estradosso della cupola - attività complicata, in questa fase, da un punto di vista operativo - è stata effettuata, in accordo con la Committenza, un'indagine sulle pavimentazioni della Chiesa. Tale indagine ha integrato il metodo georadar con l'elettromagnetometro, minimizzando le ambiguità interpretative insite nelle singole metodologie, con lo scopo di valutare la presenza di vuoti sottostanti, analoghi a quelli dei locali ipogei al di sotto del presbiterio, in corrispondenza della prima campata della navata e della crociera.

Questo approfondimento era volto alla verifica delle condizioni di sicurezza per l'ingresso di un mezzo meccanico che permettesse all'Impresa incaricata delle opere di restauro, Acanto

Restauri S.r.l., di effettuare le indagini tramite bussatura (di cui si è detto in relazione alle termografie), senza ricorrere ad onerose opere provvisorie.

I dati desunti da entrambe le tipologie di indagine hanno evidenziato la presenza di anomalie tra loro correlabili e grosso modo coincidenti come posizione e profondità, che potrebbero essere ricondotte a potenziali vuoti o cavità. Tali risultanze finali, quindi, hanno permesso di valutare la pericolosità, per gli operatori e per le strutture della Chiesa, derivanti dall'eventuale ingresso di un elevatore meccanico e di indirizzare i controlli sulle volte in aree più ristrette delle stesse, dedotte in coerenza con le risultanze delle indagini termografiche, da raggiungere con strutture provvisorie più leggere e con una maggiore distribuzione del carico sulla pavimentazione.

Le indagini georadar sui pilastri, infine, hanno individuato la presenza di grappe o staffe metalliche di trattenimento delle lastre di rivestimento.

Videoendoscopie

Le videoendoscopie effettuate hanno, in generale, per tutte le strutture della chiesa indagate, sia orizzontali che verticali, mostrato una muratura in laterizio di buona fattura generalmente compatta negli allettamenti. Nei locali al di sotto del presbiterio della chiesa la compagine muraria risulta invece analoga a quella fondale, in concrezione di calce e pozzolana di buona compattezza con inerti di varie dimensioni, scapoli di tufo, travertino e di mattone.

3.5 Anno 2018 (monitoraggio dinamico delle strutture)

Il monitoraggio dinamico previsto si discosta anch'esso, come evidenziato per il georadar sui pilastri, dai pregressi, per la finalità dell'indagine; gli obiettivi delle precedenti indagini erano, infatti, le relazioni intercorrenti tra l'edificio e fenomeni vibrazionali esogeni (traffico veicolare, passaggio del tram, lavori), in termini di ipotesi e previsioni di possibili futuri dissesti e danni, in relazione ai notevoli dissesti riscontrati (tagli diagonali sui fusti e spostamenti assiali dalle basi) sulle colonne del lanternino ed alla risposta di elementi sensibili alle vibrazioni, quali gli aggetti dei cornicioni.

Il nuovo monitoraggio dinamico in essere è, invece, indirizzato alla progettazione, in funzione delle connessioni esistenti tra fenomeni dinamici e risposta strutturale dell'edificio. Le sue risultanze potranno essere relazionate con la modellazione matematica di verifica sismica, al fine di ottenere ulteriori elementi di valutazione per l'affinamento della progettazione strutturale.

Il controllo georadar previsto sulla pavimentazione della Chiesa - reso necessario per verificare la presenza di vuoti al di sotto di questa, al fine di valutare la possibilità di accesso di un mezzo elevatore necessario per le operatività di controllo dell'apparato decorativo delle volte - integra e completa la medesima indagine compiuta dall'impresa per la messa in opera dei ponteggi nel corso dei lavori del 2013.

4 Analisi geologica

4.1 Indagini eseguite

Per la definizione delle caratteristiche geologiche del sito sono stati utilizzati sia i dati rilevati nel corso delle Campagna geognostica per il progetto di consolidamento della cupola e del lanternino del 2006 che i dati ricavati dalle ulteriori indagini propedeutiche alla progettazione definitiva - esecutiva del Marzo 2008, quali Prospezioni geoelettriche e prospezioni geofisiche tipo MASW.

Le prime, in particolare, sono consistite in:

- n. 10 sondaggi meccanici a carotaggio continuo di cui:
 - - n. 3 verticali;
 - - n. 3 inclinati all'interno delle fondazioni;
 - - n. 4 orizzontali all'interno delle murature.

Nei fori di sondaggio sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati di materiale, per una puntuale caratterizzazione delle murature e dei terreni presenti. I sondaggi, di lunghezza variabile, sono stati ubicati nella cripta, in corrispondenza dei pilastri portanti la cupola, ed hanno consentito di indagare in maniera soddisfacente la muratura in elevazione ed in fondazione ed il sottosuolo dell'area, anche alla luce della buona continuità geolitologica esistente sia verticalmente che orizzontalmente. Le indagini effettuate nel 2018, invece, sono consistite in:

- n° 1 prova MASW
- n° 1 stendimento geoelettrico

4.2 Caratteristiche geomorfologiche dell'area

4.2.1 Inquadramento morfologico

Dal punto di vista morfologico, la zona di intervento è ubicata nella piana alluvionale del fiume Tevere, in riva sinistra, tra il corso del fiume ed il centro storico di Roma nel territorio del Municipio I. Morfologicamente l'area risulta inserita in un ben individuato contesto di intensa urbanizzazione che ha caratterizzato il quartiere nel corso della millenaria storia di Roma direttamente connessa ed influenzata dall'evoluzione del corso del fiume Tevere. La "superficie geologica" naturale è obliterata dal sovrapporsi di riporti antropici di colmamento che hanno dato luogo, in particolare, alla formazione di veri e propri rilevati formati con l'accumulo di frammenti di manufatti ed anfore. Il letto dei riporti è stato individuato, attraverso i sondaggi eseguiti, a circa – 5 m dall'attuale piano dell'interrato sottostante la chiesa, quindi circa 3.00 mt dall'attuale piano stradale. Le superfici orografiche risultano oggi regolari ed uniformi, prive di evidenti fenomeni erosivi ed in condizioni geostatiche di tutta sicurezza. Le superfici orografiche risultano oggi regolari ed uniformi, prive di evidenti fenomeni erosivi ed in condizioni geostatiche di tutta sicurezza. Il sottosuolo dell'area in questione risulta quindi costituito dai seguenti livelli stratigrafici principali:

- materiale di riporto, costituito da sedimenti e detriti rimaneggiati di varia natura ed origine, scarsamente addensato, con inglobato materiale di risulta frammisto ad una

frazione subordinata di terreno indifferenziato e piroclastiti cineritico lapillose. Il riporto può essere considerato un livello stratigrafico con caratteristiche geotecniche estremamente variabili in funzione della natura e dell'età del deposito. Il terreno di riporto è notevolmente variabile oltre che per lo spessore anche per le caratteristiche di costituzione, per la dimensione delle parti costituenti (frammenti di rocce, detriti di vecchie costruzioni, frammenti di tufi, travertini, mattoni, anfore.), per il grado di costipazione, ecc... In linea generale può tuttavia affermarsi che il terreno di riporto è costituito di materiale detritico prevalentemente inglobato in una massa a grana più fine, costituita da prodotti piroclastici sciolti quali le pozzolane, i tufi terrosi cineritici e frammenti di materiali fittili quali frammenti di anfore romane e mattoni con uno stato di argillificazione più o meno avanzato. In genere nei riporti più antichi l'assortimento granulometrico, il non elevato contenuto di acqua, il costipamento verificatosi nel corso dei tempi, hanno permesso di raggiungere un notevole grado di addensamento ed una consistenza relativamente elevata.

- complesso delle alluvioni del Tevere, costituito da litotipi limo-argillosi, sabbiosi sabbiosi-limosi con frequenti eteropie di facies legate alle passate dinamiche fluviali ed agli apporti dei sedimenti da parte dei fossi che confluivano nella valle del fiume. Dal punto di vista geotecnico, i sedimenti alluvionali, pur nella variabilità granulometrica e deposizionale, sono caratterizzati da uno stato sostanzialmente normale consolidato, bassi valori di resistenza al taglio e media-elevata deformabilità.

Da studi stratigrafici eseguiti nel centro storico di Roma è possibile definire una successione stratigrafica all'interno dei depositi olocenici della valle del Tevere:

- uno strato di base ghiaioso-sabbioso dello spessore di 6-8 metri (G)
- un livello inferiore, costituito da argille limose e limi argillosi grigiastri (AG1 AG2) che nella zona interessata passano eteropicamente a depositi sabbiosilimosi grigiastri (SLG)
- un corpo sedimentario intermedio, costituito da sabbie medio-grossolane e medio fini (S)
- un livello superiore, costituito da limi argillosi e argille limose (LAV) e da sabbie limose e limi sabbiosi grigio-verdastri (SL).

Nel sito in esame è presente una alternanza di litotipi limo sabbiosi e sabbie fini limose con livelli più prettamente argillosi. La maggior parte dei campioni prelevati sono essenzialmente riferibili al complesso caratterizzato da alternanze di sabbie limose e talora argillose, più o meno addensate che, per la loro dislocazione verticale e distale, condizionano in maniera determinante la consistenza del sottosuolo in esame.

4.2.2 Proprietà dei terreni presenti

Le proprietà fisico-meccaniche dei terreni presenti all'interno del volume significativo sono state indagate mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati durante la campagna di indagine del 2006.

Le prove di laboratorio sono consistite nella determinazione delle principali proprietà fisiche e della resistenza meccanica dei terreni mediante prove di taglio diretto consolidate drenate. Di seguito si riportano i valori delle caratteristiche fisiche dei materiali presenti, desunti dalle prove eseguite. I campioni sono stati prelevati nell'ambito dei livelli alluvionali limosi e limo-argillosi per l'impossibilità di campionare i terreni più superficiali di tipo detritico.

I valori del peso dell'unità di volume risultano nella norma per il tipo litologico, e la porosità, unitamente ai contenuti naturali d'acqua, determinano condizioni generali di elevata saturazione.

PROPRIETA' FISICHE						
CAMPIONE	PROF. PREL (ml)	TERRENO (tipo)	γ (KN/m ³)	W (%)	N (%)	S (%)
S1.C1	9,00	LA	18,41	27,16	45,13	88,88
S1.C2	15,00	AL	18,14	33,93	49,08	95,48

in cui:

γ e' il peso dell'unita' di volume; w e' il contenuto naturale d'acqua; n e' la porosita'; S e' il grado di saturazione.

PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO					
PROFONDITA'	TERRENO	PESO VOLUME	Φ	c	DEFINIZIONE AGI
m	tipo	gr/cmc	gradi	KPa	
9,00	LA	18,26	21,2	16,8	Limo con argilla
15,00	AL	18,20	21,3	10,6	Argilla limosa

Il sottosuolo del sito in esame può quindi essere considerato costituito da due livelli principali nell'ambito dei quali vi sono lievi variazioni riconducibili essenzialmente al grado di addensamento superficiale.

4.3 conclusioni

In conclusione, gli studi e le indagini eseguite sull'area di sedime della Chiesa consentono di affermare che, sull'area non sono presenti situazioni di rischio o problematiche riconducibili alla natura geologico-tecnica dei terreni in affioramento. Le indagini eseguite hanno permesso di individuare la successione stratigrafica presente nel sottosuolo che risulta costituita da uno strato superficiale di terreni di riporto antropici con uno spessore, funzione della morfologia preesistente sull'area, di circa 5 mt, ed al di sotto della coltre superficiale si evidenzia un deposito alluvionale caratterizzati da sedimenti con granulometrie variabili da sabbia a limo sabbioso. Le sabbie fini ed i limi sabbiosi e argillosi, si presentano con uno spessore fortemente variabile superiore a 25,00 metri; questo orizzonte presenta parametri geotecnici nella norma per terreni scarsamente coerenti o sciolti.

Le indagini geognostiche e di laboratorio hanno inoltre evidenziato che la struttura portante della cupola è fondata ad una profondità di circa 5,00 mt ed il piano di imposta delle fondazioni è costituito da un complesso alluvionale limoso-argilloso estremamente consistente con buone caratteristiche geomeccaniche. La falda, presente in tutta l'area d'interesse, si attesta ad una profondità di circa 6,00 mt.

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche la microzona relativa all'area in esame può essere classificata con la categoria di suolo di fondazione (DM 17-01-2018) "tipo C".

5 Stato di fatto

5.1 Analisi del quadro dei dissesti

Per poter individuare i reali meccanismi di crisi dinamica ed il movimento relativo tra i vari corpi a contatto, è stato effettuato un rilievo puntuale dei danni, sul quale si basa l'analisi delle relative cause. Il quadro fessurativo è molto esteso e riguarda sia le strutture verticali, che gli archi e la cupola. Sulla base del rilievo del quadro fessurativo e della conseguente distribuzione delle lesioni, nonché grazie alla lettura dei documenti d'archivio, è stato possibile ricostruire i dissesti subiti dalla struttura, differenziando, nella progettazione, quelli già sanati da quelli tuttora in fase attiva.

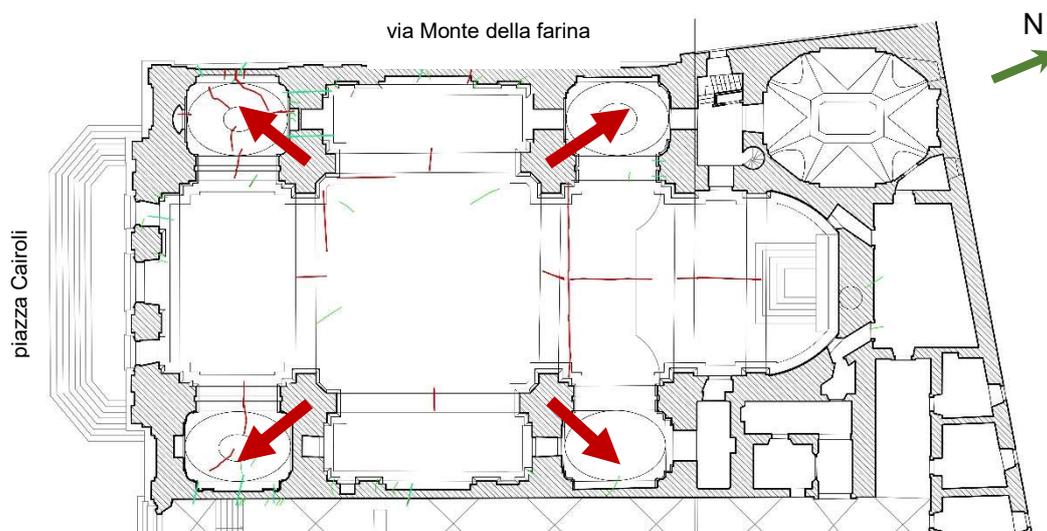


Fig. 1 - La spinta della volta è insufficientemente contrastata dalle strutture esistenti verso la facciata ed in particolare verso l'angolo libero posto a sud-ovest.

La conformazione strutturale propria della fabbrica – soprattutto quella relativa al contesto esterno rappresentato dalla presenza o meno di elementi di contenimento – hanno portato a presupporre un movimento traslazionale del manufatto in direzione dell'angolo sud - ovest (tra piazza Cairoli e via Monte della Farina) non contrastato staticamente. È inoltre ipotizzabile che tale meccanismo di rottura abbia innescato il distacco della facciata. Tale dissesto è stato sanato parzialmente, con il rinforzo estradossale realizzato sulle volte della navata e del transetto (1995-2000) e con la messa in opera delle catene sugli arconi trasversali della crociera (2013), elementi che con la loro spinta hanno probabilmente prodotto il movimento medesimo.

Gli arconi di scarico del tamburo presentano lesioni a “parabola”, causate molto probabilmente dal forte peso del tamburo stesso e della sovrastante cupola. Le fessure sembrano di vecchia data e quindi non più in evoluzione. Il tamburo sembra oggi ben contenuto; ciò, come già accennato, sembra dovuto alla presenza delle cerchiature originarie e di quella aggiunta alla sua base (1995-2000). Il quadro fessurativo inerente alla cupola lascia supporre – data la mancanza di riscontri d'indagine, dovuta alla difficoltà di accesso in quota, lacuna che dovrà essere colmata in futuro – la presenza di analoghi elementi di contenimento anche in sommità del tamburo medesimo, alla base della cupola.

Sull'intradosso della cupola, infatti, sono presenti lesioni profonde di vecchia data, causate molto probabilmente da eventi dinamici esterni, avvenuti nel corso dei secoli. Non avendo potuto analizzare, in questa fase e nelle precedenti, lo stato di consistenza delle murature della calotta e avendo potuto avere riscontri relativi solo alle lesioni che interessano la base del sottostante tamburo (monitoraggio 2006), si ritiene necessario un futuro approfondimento mirato, a valle del quale potrà essere verificata l'esigenza, solo ipotizzabile al momento, di un insieme di opere di contenimento atte a compattarne la struttura. Data la loro onerosità dal punto di vista economico, si è ritenuto di stralciare tali interventi dall'attuale appalto, in attesa dello sviluppo di una più piena consapevolezza della situazione grazie a tali ulteriori controlli.

La lanterna, si presentava, prima degli interventi di consolidamento e restauro del 2013 (*cf. par. 5.2.1.2*), interessata da rilevanti dissesti: le colonne libere in travertino – sostenenti la sola trabeazione terminale superiore – disposte intorno al nucleo murario portante interno circolare, risultavano tagliate a 45° in corrispondenza delle zanche metalliche di collegamento; queste, degradatesi a seguito della prolungata esposizione agli agenti atmosferici, possono – insieme ad altri accadimenti occorsi nei secoli, quali cannoneggiamenti e fulmini, descritti nella Ricerca storico-critica e nelle risultanze delle ricerche d'archivio – aver indotto, rigonfiandosi, sollecitazioni sugli elementi lapidei, fino a produrre uno scorrimento e un squilibrio in corrispondenza della loro base, dato lo scarso effetto riequilibrante esercitato dalla trabeazione superiore, il cui peso ha dimostrato di non essere sufficiente a tale scopo. Tale situazione è stata, come detto, opportunamente sanata in occasione dell'intervento di recupero, volto al ristabilimento dell'unità delle singole colonne e al ripristino di un idoneo collegamento con la muratura d'ambito, appaltato nel 2013.

Non sono stati invece rilevati segni di dissesto a carico delle murature del livello seminterrato, le quali, dai carotaggi eseguiti, risultano essere costituite da un conglomerato di scapoli di peperino, travertino, marmo, tufo e laterizi legati da malta pozzolanica. Sulle murature del corpo della chiesa, invece, si sono rilevate:

- lesioni profonde e passanti inclinate verso la facciata nelle cappelle Cavallerini (entrando nella chiesa a sinistra) e Costaguti (a destra), più evidenti nella cappella Cavallerini che, nell'arcata, presenta comunque un tirante recentemente posizionato;
- lesioni diffuse inclinate verso gli appoggi in prossimità della chiave dei 4 arconi di raccordo tra i pilastri ed i pennacchi della cupola che sembrano denotare una depressione della chiave;
- lesioni diffuse e lesioni profonde localizzate in particolare su due maschi murari del tamburo diametralmente opposti (vedere Tav. 2Rsf – Pianta del livello sottotetto), causati presumibilmente, come già accennato, da una maggiore rotazione delle strutture verso l'angolo sud-ovest privo di contrasto. Ciò giustifica anche i maggiori dissesti rilevati all'interno della cappella Cavallerini, sopra descritti, rispetto alla Cappella Costaguti.

5.2 Interventi di consolidamento recenti

5.2.1 Anni 1995-2000

Tra il 1995 ed il 2000 sono stati effettuati, dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio di Roma, lavori di restauro e di consolidamento strutturale delle volte e delle murature (per approfondimenti cfr. Ricerca storico-critica e risultanze delle ricerche d'archivio). Gli interventi effettuati hanno, in parte, risolto alcuni dei problemi causati dal notevole peso della cupola, con riferimento, in particolare, alla spinta da essa esercitata sul tamburo: al fine di contrastare tale spinta sono state rimesse in tensione le due cerchiature esistenti – allentate e pertanto non più ben efficaci - e ne è stata aggiunta un'ulteriore, tra esse. Successivamente, sono state introdotte due strutture reticolari aderenti al tamburo, ma non collegate ad esso, bensì ancorate sulla testa dei quattro pilastri della crociera, con la funzione di sostenere la struttura lignea di copertura, scaricandone il peso direttamente a terra e riducendo, quindi, i carichi agenti sul tamburo medesimo.

5.2.2 Anno 2013 - Lavori di consolidamento e restauro della cupola e del lanternino

Rispetto a quanto previsto nella progettazione definitiva, la limitatezza dei fondi stanziati ha reso necessario ridurre il ventaglio di operatività programmate. Ciò ha comportato che, su cupola, tamburo e arconi della crociera, si sono potuti eseguire, tra quelli previsti, solo gli interventi ritenuti assolutamente imprescindibili per garantire, quantomeno, la loro messa in sicurezza temporanea. Fatta questa premessa, si descriveranno a seguire le opere effettuate per ciascun ambito.

5.2.2.1 *Intradosso cupola e tamburo*

All'intradosso della cupola e del tamburo sono state effettuate solo alcune operazioni di consolidamento preliminari, quali la risarcitura delle lesioni superficiali e profonde – previa pulitura meccanica e manuale delle stesse, al fine di eliminare le parti degradate al loro interno e incontrare la superficie sana – mediante stuccatura con malta idraulica a stabilità volumetrica, compatibile con il supporto, e iniezione a bassa pressione di boiacche strutturali a base di calce. Anche l'apparato decorativo ivi presente è stato oggetto di interventi di salvaguardia.

5.2.2.2 *Arconi*

Non potendo procedere, per i citati motivi di ordine economico, alla realizzazione dell'intervento di rinforzo della ghiera mediante imperniature metalliche in corrispondenza della chiave degli archi, si è dovuto ricorrere ad un intervento di provvisoria messa in sicurezza; questo è costituito da quattro selle in acciaio che, ancorate alla soprastante muratura del tamburo mediante tiranti e piastre, hanno lo scopo di impedire lo slittamento reciproco dei lembi delle profonde lesioni rilevate in corrispondenza della chiave degli archi medesimi. Analogamente si è dovuto ridurre l'intervento di incatenamento, previsto allo scopo di contrastare la spinta trasmessa ai piloni di sostegno e di garantire un miglior collegamento tra le murature trasversali e longitudinali. Delle due coppie di tiranti in acciaio - due trasversali ancorati alle pareti laterali esterne e due longitudinali ancorati in facciata - in corrispondenza delle reni degli arconi medesimi, è stata realizzata solo quella che attraversa trasversalmente l'edificio. La tipologia di capochiave utilizzata, a differenza del paletto basculante previsto – che avrebbe evitato la necessità di accedere ai prospetti

esterni della Chiesa - è del tipo tradizionale a piastra, dato che è stata garantita la possibilità di raggiungere ed operare in sicurezza sui prospetti esterni della Chiesa stessa.

5.2.2.3 Lanternino

Come esposto precedentemente, il lanternino presentava un grave dissesto riconducibile a danni subiti nel corso della storia, con fratture e fuori piombo di alcune delle colonne in travertino poste sul suo perimetro esterno. Negli interventi di consolidamento e restauro l'accento, quindi, è stato messo innanzitutto sull'eliminazione e sostituzione dei presidi di cerchiaggio, ancoraggio e correzione dei fuori piombo introdotti in passato, con altri più efficienti, nonché il ristabilimento dell'unità - fortemente compromessa - dei fusti delle colonne. L'intervento ha introdotto, quindi, un sistema integrato che, oltre ad ottenere la cerchiatura ed ingabbiatura del cilindro murario interno, contribuisce al trattenimento in loco delle colonne. Sono stati posti in opera due cerchi in acciaio inox – di cui uno in sostituzione di quello esistente, degradato – alla quota del piede e della sommità dei fusti delle colonne, imperniati alla muratura retrostante e collegati tra loro da piatti metallici, anch'essi imperniati, disposti lungo la mezzeria delle lesene che scandiscono la superficie della muratura. I fusti stessi sono stati cerchiati nei medesimi punti (piede e sommità) con dei collarini in acciaio inox, dotati di idoneo sistema di serraggio a vite. Questi ultimi sono stati, quindi, collegati ai cerchi sulla muratura interna, tramite piastre e piatti metallici, con l'accortezza di realizzare tra le prime ed i secondi giunti asolati in grado di permettere eventuali assestamenti e/o espansioni del metallo.

Nel corso delle prime fasi di lavoro – durante le quali sono state rimosse sia le zanche che i collarini in ferro esistenti, nonché, come detto, la cerchiatura esistente e i cunei metallici alla base, è stato adottato un sistema di puntellamento che, sostenendo la trabeazione superiore a partire dall'architrave, ha consentito di sgravare – grazie all'uso di vitoni e per quanto possibile – le colonne dal peso, già comunque abbastanza ridotto, che portano e procedere più agevolmente alle operatività di rimozione degli elementi incongrui o degradati (quali i cunei metallici). Si è potuto parzialmente correggere, nei limiti di quanto concesso dagli spazi di manovra, l'allineamento tra basi e fusti e ripristinare in parte il corretto appoggio dei secondi sulle prime. Nel medesimo tempo sono state sigillate con malta di calce e pozzolana a stabilità volumetrica compatibile con il supporto le lesioni e/o lacune presenti sulla muratura di appoggio della lanterna alla cupola. Si è poi proceduto a collocare, una per volta, le cerchiature nella loro posizione definitiva – previa riconnessione dei frammenti al corpo di ciascun fusto, grazie a barre in fibra di vetro inserite in fori realizzati con trapani a sola rotazione, sigillati con resine epossidiche e successivamente stuccati con malta a base calce e polvere di travertino – ed a realizzare le perniature alla muratura retrostante, nonché il collegamento lungo le lesene. Tutto il sistema suddetto è stato, infine, saldamente collegato alla muratura della cupola, mediante barre inserite in fori sigillati con miscela strutturale a base calce, raccordate alla cerchiatura inferiore tramite piastre in acciaio ad essa saldate. Anche la cerchiatura alla quota del gocciolatoio è stata sostituita con altra in acciaio inox, sfruttando, come ne caso precedente, il puntellamento descritto in precedenza. Dopo la rimozione del puntellamento si è proceduto all'inserimento di barre metalliche in grado di collegare saldamente gli elementi lapidei della trabeazione alla muratura retrostante; in particolare, nell'architrave è stata inserita una coppia di barre

incrociate in fori sigillati con resina epossidica e stuccati con malta di calce e polvere di travertino, disposte a quote differenti e lievemente inclinate (circa 5°), a partire dall'esterno e fino a circa 2/3 nella muratura retrostante, mentre il gocciolatoio – dopo la sostituzione della cerchiatura vista in precedenza – è stato ricollegato al corpo cilindrico da barre inserite in fori praticati dall'estradosso di ciascuna delle lastre che compongono questo elemento aggettante, e sigillati con malta strutturale a base calce. Da ultimo, ci si è occupati dell'ultima catena storica presente, quella al di sopra del giro di volute, che, lasciata in situ e trattata con idonei prodotti passivanti, è stata debitamente totalizzata per ridurre l'impatto visivo. Sono state, infine ripristinate le reintegrazioni a stucco del modanato lapideo eliminato per il passaggio della catena e venute meno per l'esposizione alle intemperie.

5.3 Analisi dei materiali e delle forme di degrado

Il progetto di risanamento conservativo dell'apparato decorativo interno ha la finalità di eliminare il pericolo per la pubblica incolumità, senza tuttavia tralasciare indicazioni operative per il recupero della valenza storica ed estetica dell'edificio. A tal fine si prevedono in questa fase gli interventi che coinvolgano le zone di fondamentale importanza per lo svolgimento della celebrazione religiosa: l'abside, sede del celebrante, e la navata, ove prendono posto i fedeli. Inoltre, in considerazione delle risorse a disposizione, la scelta è stata quella di portare a compimento la porzione superiore della chiesa, a partire dalla quota del cornicione, ed intervenire su quella inferiore solo con operazioni di messa in sicurezza, in attesa di un futuro appalto a completamento.

Sulla base del rilievo metrico i diversi materiali che compongono le superfici interne - principalmente stucchi, intonaci dipinti, marmi- sono identificati con retini colorati, indirizzando l'individuazione delle principali forme di alterazione. In via generale è possibile affermare che la superficie presenta forme di degrado diffuse quali numerosi depositi superficiali, fessurazioni, distacchi e aree lacunose di ridotte dimensioni. Come di consueto tra le principali cause di degrado si riscontrano fattori estrinseci (umidità, infiltrazioni) e fattori intrinseci (scarsa manutenzione ed interventi "impropri", di tipo antropico).

5.4 Rilievo mediante laser scanner 3d

5.4.1 Anno 2006 - Rilievo preliminare

La cupola della chiesa di san Biagio e Carlo ai Catinari, impostata come noto su un tamburo cilindrico più alto di essa, rappresenta una tra le tre o quattro strutture voltate più imponenti di Roma; la sua grandezza in termini dimensionali si accompagna inoltre ad una scarsa praticabilità delle parti superiori che rende estremamente difficile l'applicazione delle tradizionali procedure di rilevamento. L'obiettivo del primo rilievo del 2006 si è concentrato sul controllo della forma e sulla verifica dell'orizzontalità e verticalità degli elementi strutturali principali; si è impostata, quindi, una campagna di misura utilizzando la tecnologia del laser scanning. E' stato utilizzato a questo scopo il laser scanner 3D Leica HDS 3000: come noto tale strumento, che per mezzo di un raggio laser effettua una vera e propria scansione dell'oggetto, è in grado di determinare la posizione tridimensionale di ciascun punto materiale toccato dal raggio a partire dalla misura del cosiddetto "tempo di volo" (tempo intercorrente tra l'emissione e la ricezione). Data l'accuratezza (± 6 mm. a 50m. di distanza), la velocità di ripresa (1000 punti/secondo circa), la versatilità (impiego flessibile da 100m.

fino ad 1,5m. dall'oggetto) e la capacità di registrare punto per punto la riflettanza (predittiva della natura e condizione del materiale colpito), l'HDS 3000 si è dimostrato uno strumento straordinariamente efficace per documentare le caratteristiche presenti sull'intradosso della Cupola di S. Carlo.

Problemi di natura diversa, ma comunque collegati con la difficoltà di operare con le tradizionali tecniche di rilievo diretto, hanno inoltre condotto ad estendere la prevista campagna di appoggio topografico (necessaria per la georeferenziazione della nuvola di punti) anche alle strutture ipogee che mostrano la forma e consistenza delle fondazioni. Tale operazione è stata condotta con una stazione totale Leica TCR 1201 R300 dotata di distanziometro laser.

La campagna di rilevamento si è dunque articolata nelle seguenti fasi:

- scansione generale dell'interno della Chiesa e della Cupola con densità di un punto ogni 4 cm. circa;
- scansioni di dettaglio dell'intradosso della Cupola con densità di un punto ogni 2 cm. circa;
- campagna topografica di appoggio;
- campagna topografica di rilevamento delle strutture ipogee di fondazione e di alcune strutture esterne alla Chiesa al piano terra.
- campagna fotografica di appoggio;
- costruzione del modello numerico 3D; le singole nuvole di punti ottenute dalle scansioni sono state in questa fase collegate tra loro a formare un unico modello numerico composto da tutti i punti misurati; l'errore medio riscontrato in questa fase è stato di ± 4 mm.
- georeferenziazione del modello numerico 3D; la nuvola di punti prodotto della fase precedente è stata orientata in relazione ai punti di appoggio rilevati per via topografica ottenendo un modello georeferenziato.

Il modello numerico 3D georeferenziato è stato quindi sottoposto ad una serie di elaborazioni essenzialmente orientate alla verifica dello stato di fatto delle strutture della cupola.

Sono in particolare state effettuate le seguenti operazioni:

- Verifica dell'orizzontalità delle principali strutture – La nuvola 3D del tamburo e della cupola è stata in questa fase sezionata con una schiera di piani orizzontali distanti tra loro circa 60 cm. Si sono così ottenute una serie di curve orizzontali che rappresentano l'andamento della struttura alle varie quote. Si è inoltre proceduto al confronto tra la posizione di alcune strutture della cupola (cornici di imposta, piano superiore all'attacco con il lanternino, sezioni in corrispondenza del tamburo) e il piano teorico orizzontale passante per le medesime strutture: il risultato ha evidenziato scostamenti minimi tra le due giaciture, sostanzialmente ricompresi all'interno dell'intervallo di incertezza (± 10 mm.).
- confronto planimetrico tra la forma ricavata dalle sezioni descritte nel paragrafo precedente e la forma teorica della cupola, considerata come generata dalla rotazione del profilo attorno ad una direttrice circolare centrata sull'asse verticale della cupola stessa. Dal momento che l'intradosso della cupola è riccamente decorato da cassettoni e stucchi, si è preso come riferimento per il tracciamento dei

cerchi “teorici” la parte più profonda dei cassettoni stessi. Anche in questo caso si sono riscontrati scostamenti minimi, dell’ordine, mediamente, di 3 cm. e al massimo di 7 cm

- Verifica della verticalità delle principali strutture ed in particolare della cupola. Il Modello numerico 3D è stato quindi sezionato con una schiera di piani verticali radiali passanti per l’asse verticale della cupola stessa ottenendo così una serie di profili verticali. Si è quindi provveduto a costruire la circonferenza orizzontale in corrispondenza del lanternino e quella all’imposta. Il centro della prima curva è stato quindi proiettato sul piano della circonferenza all’imposta e valutato lo sfalsamento tra il centro di questa e la proiezione: anche in questo caso si sono ottenuti valori molto piccoli, dell’ordine mediamente di 3,6 cm.

5.4.2 Anno 2018 - Rilievo laser scanner - confronto con il rilievo precedente

Anche queste attività di rilievo sono state condotte con l’obiettivo di verificare la morfologia e la geometria della Chiesa, da un lato costruendo la base dati necessaria per la progettazione esecutiva, dall’altro, analizzando la conformazione delle strutture interne rispetto ai dati acquisiti nella precedente campagna di rilevamento del 2006.

All’interno di questo quadro le attività eseguite perseguono un duplice scopo: evidenziare eventuali deformazioni intervenute sulla struttura nel periodo trascorso rispetto alla precedente campagna; aggiornare la documentazione dello stato di fatto.

Con queste premesse, le attività di rilevamento sono state condotte attraverso processi di acquisizione integrata. I dati di rilevamento sono stati successivamente elaborati per ottenere modelli 2D e 3D necessari alla comprensione dell’organismo architettonico nel complesso e nel rapporto tra le parti. Particolare attenzione è stata rivolta al rilievo della cupola, impostata su un tamburo cilindrico ben più alto della cupola stessa. La sua grandezza in termini dimensionali (diametro di 13,96 m) e la sua altezza, dal piano di calpestio dell’interno della chiesa al piano d’imposta (89,61 m), hanno vincolato la fase di acquisizione. In questo modo, le operazioni condotte hanno reso disponibili informazioni di carattere metrico e geometrico il più possibile complete ed omogenee.

Le operazioni svolte si articolano nelle seguenti fasi di lavoro:

- Acquisizione dei dati
- Elaborazione dei dati
- Valutazione comparativa tra il modello costruito sui dati di rilievo e quello realizzato nel 2006.

5.4.2.1 Acquisizione dei dati

Le attività di rilevamento relative ai due prospetti principali (facciata di ingresso e facciata su via Monte della farina), all’interno del complesso (piano di ingresso della Chiesa e piano seminterrato) e alla cupola (intradosso ed estradosso) hanno previsto una campagna di acquisizione massiva di dati. L’utilizzo di target, opportunamente posizionati sui due prospetti esterni, all’interno della chiesa, negli ambienti sotterranei e sulla terrazza di pertinenza del convento, ha reso possibile l’integrazione dei diversi processi di acquisizione. Nello specifico, le operazioni di rilevamento sono state condotte integrando i seguenti processi: rilevamento topografico, scansione laser 3D, acquisizione fotografica.

5.4.2.2 *Elaborazione dei dati, Modellazione*

Le attività di rilevamento integrato hanno costituito la base per la costruzione di dati di rilievo. L'operazione propedeutica alla costruzione di modelli 2D e 3D è stata la pulizia delle nuvole di punti ottenute dalle singole scansioni, successivamente registrate, per mezzo dei target acquisiti dalla battuta topografica, in un unico modello numerico composto da tutti i punti misurati. L'errore medio riscontrato in questa fase è stato di ± 10 mm, dato compatibile con la scala di rappresentazione degli elaborati bidimensionali, preventivamente fissata in 1:100 e 1:50.

L'elaborazione di modelli ha riguardato la costruzione di:

- un modello 3D numerico texturizzato con i valori RGB ricavati dalle immagini acquisite dalla fotocamera interna allo scanner;
- un modello 3D numerico texturizzato con i valori RGB della riflettanza;
- modelli 2D del complesso architettonico in scala 1:100 (fronte principale, fronte su via Monte della farina, n.2 sezioni della porzione del seminterrato corrispondente agli assi del transetto)
- modelli 2D del complesso architettonico in scala 1:50 (n. 1 pianta a quota +1.70 m dal piano del pavimento, n.1 sezione trasversale, n.1 sezione longitudinale)
- modelli 2D di porzioni della cupola e del tamburo in scala 1:100 (n. 3 profili orizzontali di intradosso ed estradosso, n. 3 profili verticali dell'intradosso, n.1 profilo verticale di intradosso ed estradosso) utili per analisi comparative rispetto ai dati acquisiti nella precedente campagna di rilevamento (2006). L'acquisizione dell'estradosso della cupola risulta parziale ed è quella corrispondente alla porzione visibile dalla terrazza di pertinenza del convento.

5.4.2.3 *Valutazione comparativa tra il modello costruito sui dati di rilievo e quello realizzato nel 2006*

Le verifiche comparative diacroniche sui profili 2D della cupola e del tamburo sono state realizzate confrontando i modelli prodotti a partire dal rilievo del 2006 con quelli realizzati a marzo 2018. Nello specifico, tra i profili 2D elaborati nel 2006, sono stati individuati quelli più rappresentativi, gli stessi sono stati identificati sul modello numerico acquisito nel 2018. Il confronto è avvenuto allineando sezioni orizzontali e verticali corrispondenti; tenuto conto del livello di accuratezza nella elaborazione dei profili 2D e nella loro sovrapposizione, non sono stati registrati significativi scostamenti in termini metrici ($\Delta \pm 3$ cm).

Le elaborazioni ed i riscontri effettuati sui dati di rilievo concordano pertanto nel mostrare una struttura che, dal punto morfologico generale, appare sostanzialmente simmetrica e priva di evidenti elementi di deviazione dalla geometria teorica.

6 Progetto di consolidamento

6.1 Premessa e indirizzi metodologici

In linea con le Teorie, i Principi e le Carte del Restauro, gli interventi si ispirano, in linea di massima, ai criteri propri del restauro critico, ovvero del restauro conservativo

modernamente inteso, ovviamente senza censure aprioristiche – in casi limite – verso il restauro di ripristino. In tale ambito, il Consolidamento degli edifici storici si pone come parte – non meramente tecnica – della più ampia disciplina del Restauro architettonico, mezzo attraverso il quale conseguire l’obiettivo finale della Conservazione. Quindi interventi minimi, appropriati, compatibili, reversibili, distinguibili e consapevoli dei costi/benefici, non solo dal punto di vista economico.

La filiera dell’intervento deve essere coniugata quindi alle istanze conseguenti:

- il perché dell’operare;
- l’accertamento delle necessità;
- l’individuazione del sistema migliore;
- il controllo dell’efficacia conseguente;
- la durabilità;
- l’incidenza sull’immagine o sulla sua reintegrazione.

Il Consolidamento degli edifici storici, quindi, quale percorso colto sospeso tra Conoscenza e Scienza con la prima a sottolineare l’esergo “conoscere per intervenire” e la seconda a superarlo in “conoscere per non intervenire”. Il progetto di consolidamento proposto per la chiesa di San Carlo ai Catinari segue, dunque, fedelmente queste linee guida metodologiche.

Il presente progetto si prefigge lo scopo di continuare e soprattutto di completare il lavoro intrapreso oramai più di 10 anni fa, al fine di porre in maniera definitiva in sicurezza l’intero apparato strutturale della chiesa. Gli interventi potranno incidere efficacemente sui meccanismi cinematici di possibile collasso, anche in riferimento alla cupola per la quale, com’è noto, risulta al momento impossibile un intervento di consolidamento strutturale dall’estradosso, date le evidenti difficoltà di accesso e praticabilità dall’esterno, oltre alle attuali limitazioni economiche. D’altra parte, per la cupola in particolare sono già stati eseguiti nel 2013 lavori di messa in sicurezza di tutto l’apparato decorativo, e l’attuale progetto si concentrerà, pertanto, sulla messa in sicurezza dell’apparato decorativo delle altre parti della chiesa. Si auspica per un futuro prossimo, la possibilità di un intervento all’estradosso della cupola, già previsto, peraltro, nel progetto preliminare, mediante applicazione sulla superficie esterna di fasce di fibra aramidica, in doppio strato disposte secondo i meridiani in corrispondenza delle costole e orizzontalmente, a passo costante di circa un metro e chiodate con barre di analogo materiale, previa rimozione delle lastre di piombo, pulitura e ricollocazione in sito con eventuale sostituzione degli elementi ammalorati. Nell’attesa che si completi il consolidamento strutturale della Chiesa, si provvederà comunque, alla ricollocazione della rete di protezione al di sotto della cupola. Tale accorgimento garantirà la sicurezza dei fedeli in caso di eventuali piccoli distacchi di intonaco o di stucco; Tali distacchi potrebbero essere dovuti alla frizione dei bordi delle lesioni sulla cupola a causa di movimenti di piccola entità, dovuti a origini indogene (variazioni di temperatura stagionali) o esogene (microtremori vibrazionali o derivati da sismi con epicentri lontani)

Le linee guida del presente progetto si fondano in generale sulla eliminazione delle azioni spingenti, laddove già non contrastate, delle strutture ad arco e della cupola. Come descritto nel precedente paragrafo dello Stato di fatto, i dissesti vanno imputati principalmente al forte carico trasmesso dalla mole della cupola e, dunque, alla notevole spinta che, sin dai tempi

della costruzione, ha causato dissesti e per i quali sono stati effettuati continui interventi di riparazione negli anni che hanno però risolto il problema soltanto in modo parziale.

I lavori compiuti sulla chiesa di cui si è riferito nello specifico paragrafo, hanno in parte contribuito a ridurre il carico del tamburo, alleggerendolo del peso della copertura, così come hanno messo in opera i presidi di contrasto della spinta di due degli arconi della crociera - due tiranti trasversali alla navata -, ma si è ritenuto opportuno, sulla base del quadro fessurativo rilevato e delle analisi numeriche della modellazione matematica predisporre una serie di ulteriori interventi allo scopo di eliminare la spinta del peso della cupola e del tamburo.

6.2 Il progetto di consolidamento

6.2.1 Cappelle Laterali

All'interno della Chiesa sono presenti quattro cappelle laterali, due in prossimità dell'ingresso all'aula – la Cappella Cavallerini, sulla sinistra, e la Cappella Costaguti, sulla destra entrando – e due poste all'altezza del presbiterio, dopo la crociera – la Cappella Filonardi, su lato sinistro, e la Cappella di S. Cecilia, su lato destro. Tali ambienti, coperti da volte a cupola, come già detto più volte nelle analisi precedenti, mostrano evidentemente, nelle lesioni presenti, le conseguenze del meccanismo spingente, confermato anche dalle analisi numeriche, dipendente dal peso della cupola e del tamburo e trasmesso all'intero organismo attraverso gli arconi della crociera. Gli interventi previsti, di conseguenza, non mirano alla sola riparazione del danno, ma ad inserirsi in un "sistema" di consolidamento generale che, aumentando la rigidità sul piano orizzontale dell'intero complesso, contribuisce a ripartire spinte e sollecitazioni sugli elementi strutturali verticali. Sulle volte delle cappelle – ad eccezione della cappella di Santa Cecilia, recentemente restaurata, che presenta una volta di dimensioni più contenute rispetto alle altre per la presenza del grande oculo centrale e che, a differenza delle altre, non possiede un lanternino superiore – è stata prevista, previo puntellamento e svuotamento del riempimento, la posa in opera di una snella e leggera cappa di rinforzo dello spessore di 4 cm, realizzata con malta a base di calce ed aggregati inerti (*tipo kimia Tectoria cocchioforte*), coadiuvata, nella sua funzione di collaborazione con la struttura preesistente, da una rete elettrosaldata, in acciaio zincato, Ø 6 mm 10x10, (Cfr. dett. CS-VC tav. C-06). Tale rinforzo sarà collegato alle murature perimetrali ed al corpo della ghiera dell'oculo centrale con impernature, annegate nella cappa estradossale e realizzate con barre ad aderenza migliorata in acciaio inox Ø 12 mm, passo 50 cm, profonde rispettivamente 80 cm e 30 cm, inserite in fori Ø 16mm e sigillate, a loro volta, con resina. L'intervento mira a ridurre la componente orizzontale della spinta sui pennacchi inferiori. L'introduzione di catene in acciaio zincato Ø25mm in fori Ø40mm all'imposta degli archi di accesso di tutte le cappelle, poi, contribuisce con efficacia alla distribuzione omogenea delle sollecitazioni su tutto l'organismo e, in particolare, a contrastare le spinte orizzontali degli archi sulle murature d'ambito, nonché a collaborare al trattenimento della facciata; tali catene saranno giuntate con manicotti tenditori, avvitati ad entrambe le estremità filettate delle barre.

La perforazione delle murature dovrà avvenire nel rispetto del monumento ed, in particolare, del suo apparato decorativo, previo bendaggio di sostegno e protezione delle decorazioni in stucco più prossime al foro e con un carotiere provvisto di un sistema di recupero delle

acque di raffreddamento. Le attestazioni delle catene saranno realizzate con piastre quadrate, sempre in acciaio zincato, 300x300mm s=20mm (Cfr. dett. TR-MR_(a) Tav. C-07). Le attestazioni delle catene delle due cappelle all'ingresso saranno, da un lato, poste in opera sulla facciata principale, previa verifica della muratura a tergo con indagini tomografiche-soniche e videoendoscopie e, nel caso individuassero vuoti o mancanze, si dovrà precedere con iniezioni localizzate di malta strutturale a base calce; Tra i capichieve ed il paramento in travertino della facciata si dovrà frapporre uno strato di separazione, costituito da un foglio in teflon, e da uno strato di ammortizzazione, costituito da uno spessore in neoprene ad alta densità, (Cfr. dett. TR-MR_(a) Tav. C-07); dall'altro lato, invece, si posizioneranno sulle colonne di sostegno della crociera, dove è presente un rivestimento in lastre marmoree: sarà, quindi, necessario, in questo caso, procedere al taglio e alla rimozione di una porzione di circa 60 x 60 cm di tale rivestimento, che, debitamente stoccato in cantiere, dovrà essere riposizionato a fine intervento, provvedendo al restauro dei bordi tagliati. Anche le attestazioni, analoghe alle precedenti, dei tiranti posti nelle altre due cappelle verso il presbiterio, su un lato saranno posizionate sotto le lastre di rivestimento dei piloni della crociera; sul fronte opposto, invece, ricadranno all'interno degli ambienti delle tribune: saranno, quindi, poste a contatto con la muratura, previa demolizione di un campo di intonaco delle dimensioni di circa 60 x 60 cm, e lasciate a vista, avendo cura di riquadrare, successivamente alla posa in opera dei capichieve, l'intonaco *circostante* (Cfr. dett. TR-MR_(a) Tav. C-07). In tutti i casi, infine, il fissaggio sarà effettuato con doppi dadi esagonali e rosette.

6.2.2 Arconi della crociera e della navata

A completamento degli interventi strutturali di consolidamento compiuti nel 2013 - così come era stato previsto nella progettazione preliminare - sugli arconi longitudinali della crociera è stata prevista la posa in opera di due catene longitudinali Ø32mm in fori Ø50mm, poste alla quota dell'architrave della trabeazione dell'ordine gigante che scandisce il prospetto interno della Chiesa. Le varie sezioni nelle quali esse si articolano, data la loro lunghezza, saranno giuntate con manicotti avvitati ad entrambe le estremità filettate delle barre; i capochieve finali saranno realizzati da un lato, all'interno della chiesa nei locali ad uso del convento accanto all'abside, con piastre quadrate in acciaio zincato 600x600mm s=20mm, (Cfr. dett. TR-MR_{(a),(b),(c)} Tav. C-07), e saranno accolti, direttamente sulla muratura, previa demolizione di un campo d'intonaco di dimensioni circa pari a 100x100 cm e lasciate a vista, avendo cura di riquadrare, successivamente alla posa in opera, l'intonaco *circostante* (Cfr. dett. TR-MR_(a) Tav. C-07), sul lato dell'ingresso della chiesa, le attestazioni saranno differenti, rettangolari di dimensioni 900x380x20 mm, al fine di non interferire con l'ordine architettonico; anche queste, analogamente ai capichieve esterni delle catene delle cappelle, saranno poste in opera a diretto contatto con il paramento murario, con le medesime accortezze già indicate per i primi (Cfr. dett. TR-MR_(a) Tav. C-07). In tutti i casi il serraggio sarà effettuato con dado e controdado esagonali e rosette. Le tirantature previste incrementano - insieme a quelle delle cappelle di ingresso Costaguti e Cavallerini - l'interconnessione tra la facciata ed il corpo della navata e assicurano, insieme a quelle già poste in opera, il contrasto delle spinte in direzione diagonale degli arconi sovrastati dalla cupola e dall'alto tamburo. A concludere l'intero impianto di contrasto delle spinte degli arconi della chiesa, sui restanti tre grandi archi della navata, uno all'ingresso della chiesa e

due nell'abside, è stata prevista la posa in opera di catene analoghe alle altre per dimensioni - Ø32mm in fori Ø50mm – ed attestazioni – piastre quadrate in acciaio zincato 600x600mm s=20mm. I capichiave di questi ulteriori elementi di contrasto saranno posti in opera, nel caso della catena da collocare in prossimità dell'ingresso, sia sul fianco destro che sinistro della facciata, a contatto con il paramento delle lesene angolari di questa, con le medesime accortezze delle attestazioni dei tiranti in facciata (Cfr. dett. TR-MR_(a) Tav. C-07); le attestazioni, sul fianco Nord- Ovest della Chiesa (corrispondente a Via del Monte della Farina) saranno a vista sull'intonaco - lesena angolare della facciata laterale dalla parte della sagrestia -, oppure sul paramento murario in laterizio (Cfr. dett. TR-MR_(b) Tav. C-07); analogamente sul lato opposto, cioè N-E, le piastre di attestazione delle catene degli archi absidali saranno a vista. Si interverrà, infine, sulle attestazioni dei tiranti messi in opera nel 2013. Le piastre di attestazione di questi ultimi, infatti, appoggiandosi solo in parte sul risalto delle lesene presenti sul prospetto del fianco di Nord-Ovest, risultano essere parzialmente prive del contrasto murario posteriore. Per risolvere tale problema, si è ipotizzato di realizzare, previo smontaggio del capochiave, un ringrosso in acciaio a tergo, realizzato con un piatto di acciaio di base, s=15 mm, delle dimensioni della parte del copochiave priva di contrasto, con piatti di acciaio di irrigidimento ortogonali s=15mm - due di bordo ed uno centrale-, collegati a quello di base con saldature a completa penetrazione a compensare il vuoto del risalto della lesena. Il ringrosso sarà, a sua volta, ancorato alla muratura retrostante con tre barre in acciaio zincate e filettate Ø20mm in fori Ø24mm inghisate alla muratura con malta e collegate all'attestazione esistente esterna con dadi zincati M20, e (Cfr. dett. CS-MR_{tr} Tav. C-07). Dopo la realizzazione del ringrosso saranno rimesse in opera le attestazioni e si provvederà, previa foratura del capochiave esistente, al serraggio dei dadi sulle barre. Oltre ai presidi di contrasto citati, su tutti gli arconi della crociera, è stato previsto un intervento di "riparazione del danno" rappresentato dalle evidenti lesioni presenti in chiave. Si rimuoveranno, quindi, i presidi metallici di sicurezza messi in opera nel 2013 – piastre di acciaio nervate - che hanno impedito lo slittamento delle murature in corrispondenza delle lesioni, insieme al loro sistema di sostegno superiore già descritto. Per ripristinare la continuità muraria e rinforzare tutti gli archi della crociera, della navata e della parte absidale, si procederà, quindi, con cuciture armate radiali, limitate alla porzione corrispondente alla chiave dell'arco, all'interno della ghiera, mediante inserimento di barre in acciaio inox AISI 316 elicoidali Ø10 L = 150 cm in fori Ø8mm inserite a secco; tali barre saranno disposte radialmente ed inclinate di circa 65° rispetto al piano verticale degli archi (Cfr. dett. RI-AR_(a) Tav. C-06). La posizione ed i passi dei fori di tali impernature sono stati previsti nel rispetto delle decorazioni presenti all'intradosso degli arconi stessi; i fori, che saranno praticati previo bendaggio di protezione delle decorazioni, infatti, sono posizionati all'interno dei campi intonacati delle specchiature di intradosso, salvaguardando sia la decorazione ad ovuli dorata del bordo sia la parte figurativa dei campi centrali.

Rinforzo delle cornici

6.2.2.1 Ordine maggiore

L'intervento su tale importante elemento della principale partitura architettonica della chiesa è stato progettato con un duplice scopo:

- come *rinforzo della cornice*, inserendosi all'interno delle opere, sistematicamente previste, affinché si possa intervenire efficacemente ed in sicurezza, sia per la manutenzione su luci ed impianti sia per il fondamentale controllo, più ravvicinato, rispetto a quello possibile da terra, dell'apparato decorativo della chiesa;
- come *struttura-cerchiante*, perimetrale all'intero organismo della chiesa, in grado, insieme alle altre opere già descritte, di contribuire efficacemente ad aumentare la rigidità della struttura sul piano orizzontale e, di conseguenza, a ripartire in maniera più uniforme le componenti orizzontali delle sollecitazioni agenti sui maschi murari, compensando quell'asimmetria dei contrasti più volte evidenziata precedentemente.

Come già più volte ribadito, anche negli altri interventi previsti, la progettazione della struttura parte anche dalla volontà di non interferire con l'apparato decorativo dell'edificio; per questo è stato previsto un intervento dall'alto, rimovibile, non visibile e non invasivo. L'elemento cordolo è, quindi, costituito da:

- - un profilato in acciaio zincato a L 200x200x15mm, disposto su tutto il perimetro interno dell'aggetto maggiore, e collegato alle murature circostanti tramite perfori di lunghezza pari ad 50cm e passo 75cm con barre in acciaio inox rette e inclinate Ø14mm in foro Ø16mm, ed alla cornice inferiore con barre verticali analoghe, di lunghezza pari a circa 40 cm e fori e passo della stessa dimensione degli altri, tutti sigillati con resine epossidiche;
- piatti trasversali in acciaio zincato 150 s=10mm, disposti ortogonalmente alla cornice, collegati alla L di bordo con saldature a completa penetrazione, ed alla muratura della cornice sottostante con barre verticali L =30 cm in acciaio inox sempre Ø12mm in foro Ø14mm con passo di 75cm;
- un piatto in acciaio zincato 200mm s=10mm disposto a correre lungo il perimetro esterno della cornice, unito ai piatti trasversali con saldature a completa penetrazione ed ancorato alla cornice inferiore con barre verticali in acciaio inox Ø12mm di lunghezza pari a circa 30 cm, in fori Ø14mm con passo di circa 75cm a loro volta sigillati con resine epossidiche (Cfr. dett. CS-CO Tav. C-06).

Al fine di compensare le dilatazioni termiche, lungo l'intera struttura saranno previsti giunti tecnici, posti a distanza di circa 8 metri l'uno dall'altro (Cfr. dett. CS-CO _Giunto tecnico_ Tav. C-06).

6.2.2.2 Cornice dell'anello del tamburo

Anche questo intervento, come quello precedente, avrà la funzione di rinforzo del cornicione percorribile, ma al contempo anche di cerchiatura alla base del tamburo, collaborante con quelle preesistenti. Il cordolo sarà analogo a quello previsto sulla cornice della trabeazione della chiesa; si veda, quindi la descrizione della voce al paragrafo precedente (Cfr. dett. CS-CO Tav. C.06)

6.2.2.3 Campanile

Il campanile a "vela" è costituito da un unico muro verticale spesso circa 150 cm, con terminazione di forma triangolare, forato dai due lunghi vani campanari verticali; questi ultimi, adiacenti, sono divisi, in altezza, in due settori, da un esile solaio, quella sottostante di forma rettangolare e la superiore terminante con archi quasi tangenti alla linea di colmo

del “timpano”, sulla chiave dei quali sono visibili lesioni verticali. Per contrastare l’apertura dei vani campanari è stata inserita in passato una cerchiatura, costituita da due profili opposti in acciaio a doppio T, posti sui fianchi della muratura in cui è inserita una coppia di barre tiranti - una barra per ogni lato del campanile – passanti in fori praticati nei profilati ed attestate su di essi con dadi. E’ evidente, come confermato dalla modellazione matematica, che tale i vani rappresentano un elemento di forte vulnerabilità dal punto di vista sismico, essendo la muratura snella e senza contrasti per circa 11 metri e, in più, indebolita dalle aperture verticali e spingenti delle due celle campanarie. Si è previsto, di conseguenza, un intervento che ponesse rimedio sia alla vulnerabilità dovuta alla spinta degli archi, sia a quella dovuta alla grande luce libera di inflessione della muratura. Per i vani campanari si prevede, quindi - previa rimozione delle cerchiature esistenti e dell’intonaco ove necessario - l’inserimento di 2 telai per ogni vano, composti da piatti in acciaio zincato 200x15mm. Per ogni vano i telai saranno uniti alla muratura con imperniature in acciaio inox Ø 14mm L =35 cm in fori Ø 16mm, con passo di 30 cm; a loro volta le imperniature saranno unite ai piatti con saldature a completa penetrazione. Sui fianchi del campanile saranno inseriti due ulteriori piatti, collegati alla muratura con imperniature di tipo analogo a quelle dei telai interni. Al piede della muratura, laddove in presenza di forti spinte orizzontali la sollecitazione di taglio risulta massima, si è previsto di inserire 2 imperniature per ogni telaio, verticali e profonde, in acciaio inox Ø 24mm in foro Ø 30mm di lunghezza rispettivamente di 5,5 m e 6 m fino a circa alla quota di imposta dell’estradosso delle volte della navata sulla muratura. Tali imperniature saranno attestate, trasversalmente alla muratura della chiesa, con semicilindri in acciaio zincato Ø 200 x 8 mm inseriti in fori carotati Ø 220 mm. Ulteriori imperniature di rinforzo subverticali, realizzate sempre con barre in acciaio inox Ø 24mm in foro Ø 30mm, saranno attestate sui piatti posti sui fianchi del campanile, e innestate nel corpo murario al di sotto del campanile per una profondità di 300 cm (Cfr. *dett. CS-BC Tav. C.06*).

7 Manutenzione e manutenibilità della Chiesa

7.1 Premessa

Dalla manutenzione alla manutenibilità, indica la necessità di spostare le acquisizioni, fatte in ambito manutentivo, alla fase del progetto.

Concepire la progettazione del restauro di un edificio anche nell’ottica di rendere agevole ed economica la manutenzione, sposare la cultura della manutenzione occasionale ed al bisogno con quella del progetto, è un obiettivo da perseguire e verso il quale ci si vuole dirigere. Assumere tuttavia l’orizzonte della manutenibilità, nel momento della progettazione degli interventi da porre in essere in un edificio, non può tradursi nell’aggiungere nuove valutazioni al progetto, ma modificare profondamente l’approccio metodologico. Dunque le scelte che possono rendere più agevoli e meno costosi i processi manutentivi degli edifici non si configurano come scelte separate, finalizzate alla manutenibilità; si tratta piuttosto di una cultura e di cognizioni tecniche che è necessario acquisire nel momento delle scelte globali di progettazione.

7.2 Manutenibilità

7.2.1 Linee vita

Nell'ottica di quanto premesso, le opere previste mirano a rendere possibile attraverso le mirate scelte progettuali di manutenibilità, una manutenzione predittiva delle parti più critiche che porta ad una più semplice ed immediata manutenzione correttiva corrispondente agli specifici provvedimenti. Si è previsto quindi di porre in opera su più livelli delle linee vita che come già accennato, rendano più frequenti ed agevoli, in quanto permettono di operare in sicurezza, gli interventi manutentivi necessari. Nello specifico, le linee vita verranno poste:

- *In corrispondenza del camminamento posto sulla cornice dell'ordine maggiore della navata* che, interessato come precedentemente detto, da un intervento di rinforzo che ne consente la percorribilità, è accessibile dal lato conventuale posto dietro l'abside, e corre lungo l'intero perimetro della navata, dei transetti e dell'abside. In questa posizione sono posti i cablaggi di alcuni impianti, tra cui quello delle luci, così come sono collocati i fari di illuminazione generale della chiesa. Nelle parti corrispondenti ai transetti, inoltre, si trovano le catene esistenti che contrastano le spinte delle volte. Tutto ciò giustifica l'introduzione di un elemento che consenta l'accesso e l'utilizzo in sicurezza di tale percorso in quota. Si è previsto, quindi, di porre in opera, lungo il perimetro del cornicione, linea vita realizzata con una fune costituita da un trefolo in acciaio inox UNI EN /11578 classe C tipo "Kit funi per UNITH 1/2/3/4" sorretta da elementi di ancoraggio con piastra a muro di testata e di passaggio UNI-EN 795/02 rispettivamente tipo "UNITH 3/W" e tipo "UNITH 3/PW" collegati alle murature d'ambito con ancoraggi M12 sigillati con resina.

- *In corrispondenza del camminamento posto sulla cornice dell'anello del tamburo*, interessato anch'esso da un intervento di rinforzo che ne consente la percorribilità. L'introduzione di una linea vita analoga a quella precedentemente descritta, consente, inoltre, di evitare gli invasivi interventi necessari a rendere sicura ed a norma la balaustra esistente che rischierebbero di alterarne profondamente l'estetica.

- *Sul colmo della copertura a tetto della navata*. L'intervento, evidentemente necessario a garantire la manutenzione non solo del manto di copertura, ma anche delle linee di gronda, prevede l'introduzione di una linea vita corrente lungo il colmo realizzata con una fune costituita da un trefolo in acciaio inox - secondo la normativa UNI EN /11578 classe C- tipo "Kit funi per UNITH 1/2/3/4" sorretta da elementi di ancoraggio con piastre per colmo di testata e di passaggio- sempre secondo la normativa UNI-EN 795/02- rispettivamente tipo "UNITH 3/E" e tipo "UNITH 3/P"; Per accedere al colmo del tetto ed ad integrare il sistema di sicurezza, sono presenti elementi puntuali di sostegno ed altri analoghi ma con funzione anticaduta, questi ultimi posti, come da normativa a 2.30 m dalla linea di gronda. Il collegamento bullonato degli elementi di sostegno delle linee vita e dei sostegni puntuali alla struttura del tetto sottostante avverrà con 2 piastre in acciaio zincato di dimensioni 900x450mm s=3mm, una per ogni lato del colmo provviste di fori svasati Ø 12, opportunamente posizionati in funzione dell'orditura sottostante della struttura del tetto, nel primo caso, nel secondo sarà necessaria, invece, una unica analoga piastra di dimensione 300x90mm, infine a sostegno degli ancoraggi anticaduta si porranno in opera due piastre, sempre in acciaio zincato e con fori Ø 12 di sezione 300x3mm, ma di forma trapezoidale,

con lunghezza massima di 900mm unite sulla linea di displuvio del tetto, in corrispondenza del loro lato obliquo; tutte le piastre previste saranno appoggiate direttamente sullo strato impermeabile del tetto, previa rimozione locale delle tegole; attraverso i loro fori, verranno praticate ulteriori perforazioni Ø 12 che attraversando la guaina, lo strato di massetto sottostante e le pannelle raggiungeranno l'intradosso della copertura. Le piastre superiori verranno quindi collegate a delle contropiastre inferiori sempre in acciaio zincato 900x300 S=300 mm poste a contrasto con la struttura lignea del tetto superiore ed unite alle piastre superiori con bulloni in acciaio zincato M12 a testa svasata serrati con dadi. Dopo la posa in opera di piastre, delle, contropiastre e degli elementi componenti il sistema di sicurezza della linea vita si procederà alla posa in opera di una nuova guaina bituminosa armata, compatibile con quella esistente che, collegandosi a quest'ultima coprirà interamente i piatti ristabilendo l'unità della protezione dalle acque meteoriche, ad ulteriore garanzia dalla penetrazione dell'acqua, tutti gli elementi delle linee vita saranno provvisti di accessori per l'impermeabilizzazione quali grebbialine in piombo sopracoppo con piastrine in acciaio inox salvagoccia (Cfr. dett. MS-LV Tav. C.06).

- *Sull'esterno del tamburo.* Anche questo intervento è necessario a garantire la manutenzione del manto di copertura, e delle linee di gronda del tetto del transetto; prevede l'introduzione di due linea vita, correnti sui due lati del tamburo corrispondenti al transetto, con funi a trefolo in acciaio inox analoghe a quelle già descritte. Si differenziano solo i collegamenti degli elementi di ancoraggio e di sostegno del cavo, in quanto uniti alla muratura con piastre a loro volta inghisate con bulloni in acciaio zincato M12 sigillati con resina. Tutti gli altri componenti della linea vita, necessari per garantire l'accessibilità in sicurezza al tetto del transetto – ovvero elementi puntuali di sostegno e con funzione anticaduta -, saranno analoghi a quelli già descritti e posti in opera con le stesse modalità.

7.3 Manutenzione

7.3.1 Manutenzione dei tetti

Gli interventi previsti per la manutenzione del tetto sono mirati a risanare e ripristinarne i suoi elementi anche con la sostituzione di parti degradate. Gli interventi previsti potranno essere compiuti anche senza opere provvisorie, con personale specializzato, ed in maniera completa e sistematica e dovranno essere:

- L'eliminazione della vegetazione infestante nei sottocoppi e sulle linee di gronda, la scomposizione delle stesse e la verifica accurata dello stato di degrado dello strato impermeabilizzante, controllando la presenza di bolle, screpolature e l'aderenza al supporto sottostante e provvedendo, eventualmente, alla riparazione della guaina sovrapponeandone un'altra di materiale analogo, fibrorinforzata, collegata a quella originale.

- La verifica del manto per il controllo dello spostamento o della presenza di elementi rotti o danneggiati dei suoi componenti – coppi ed embrici- provvedendo alla loro sistemazione ed alla sostituzione del cornicione del tamburo.

7.3.2 Manutenzione dei cornicione del tamburo

Come per i tetti, gli interventi previsti potranno essere compiuti anche senza opere provvisorie, con personale specializzato. Questo elemento architettonico, sormontato da tegole di protezione, presenta un notevole stato di degrado, una grande quantità di vegetazione infestante ha spostato e rotto gli elementi laterizi superiori e degradato la malta di allettamento. Si rende necessario quindi un intervento di manutenzione sistematico che elimini il degrado, sostituisca i coppi ammalorati e provveda a ripristinarne la connessione con la cornice sottostante laddove la malta sia assente o non assolva più alla sua funzione perché degradata.

7.3.3 Revisione e manutenzione del sistema di smaltimento delle acque

7.3.3.1 Revisione

Gli interventi previsti sul sistema di smaltimento delle acque rientrano nell'ambito della "progettazione della Manutenibilità" di cui si è detto. Gli interventi previsti non sono finalizzati esclusivamente alla riparazione degli elementi di gronda e dei pluviali, ma anche alla diminuzione del danno in caso di rottura, assicurando l'immediato controllo ed al rapido intervento.

Nello specifico, il tetto della navata e dell'abside si attesta sulla muratura dei fianchi della chiesa, che spicca più alta ed il cui colmo superiore è protetto e coperto - anch'esso come il tetto della chiesa - da coppi ed embrici. Lo smaltimento delle acque di gronda di tale colmo avviene attraverso una canalizzazione in rame di raccolta, il cui discendente attraversa la muratura e porta l'acqua piovana nella stessa canalizzazione del tetto. Quest'ultima è realizzata con una lamiera di piombo, piegata a formare una canaletta di convoglio, che corre per tutta la lunghezza della gronda con un risvolto sulla superficie verticale del muro di attestazione della copertura. Al di sotto di tale canale è presente una guaina impermeabile che si raccorda a quella posta sul massetto del manto di copertura della chiesa; l'acqua così raccolta confluisce in un foro che, raccordato con una canalizzazione discendente attraversa nuovamente la muratura e cala in generale all'esterno della facciata. Il primo pluviale del fianco sud est della chiesa - dal lato del Convento invece passa all'interno di una asola muraria coperta da un sottile paramento in mattoni in più punti asportati per successivi interventi di riparazione. Sono, infatti evidenti sulla cappella Costaguti, posta al di sotto, le tracce di passate e recenti infiltrazioni dell'acqua permeata dalla muratura.

Per i discendenti dei colmi murari si è, quindi, previsto di eliminare l'attraversamento della muratura, raccordando i canali di gronda con discendenti esterni che porteranno l'acqua in imbuti esterni in rame in cui confluirà il tubo discendente del tetto, uscente dal muro, convogliando le acque in un unico pluviale esterno (*Cfr. dett. CPR-RV Tav. C.06*).

È evidente, come tale sistema di smaltimento, che riorganizza, ma non sostituisce l'esistente, riutilizzandone gran parte dei componenti e portando all'esterno alcune canalizzazioni, permetta per quanto possibile, di evitare, in caso di perdita in corrispondenza di raccordi ed innesti delle tubazioni, l'imbibizione della muratura, e faciliti il controllo visivo del sistema di smaltimento e permettendone una rapida e più agevole manutenzione.

7.3.3.2 *Manutenzione*

L'operatività preliminare prevista e di fondamentale importanza è la pulizia di tutte le canalizzazioni con l'eliminazione delle piante infestanti cresciute al loro interno, in special modo all'innesto con le tubazioni discendenti. Dovranno essere successivamente verificati eventuali danni, la presenza di ruggine, di fori o squarci nei canali di gronda, nelle fascette e nei tubi pluviali e sostituite le parti degradate. Si proseguirà con il controllo della stabilità degli elementi della grondaia, e la verifica di eventuali allontanamenti dei canali dalle conchiglie di raccordo in modo da garantire il contenimento dell'acqua piovana impedendone sbocchi impropri. Di fondamentale importanza sarà il controllo dei pozzetti di scarico del tetto della navata e dell'abside, verificandone, dopo la pulizia, raccordi con la guaina di impermeabilizzazione, giunzioni e sigillature e, se necessario, sostituendo gli attuali pozzetti di raccolta con dei nuovi provvisti di specifici accorgimenti per impedire la penetrazione delle acque meteoriche nella muratura.

8 Restauro

Dopo i dovuti approfondimenti conoscitivi, per ogni materiale sono stati individuati gli interventi necessari ad arrestare i fenomeni di alterazione in atto, riconducibili alle categorie di seguito riportate:

1. opere preliminari e preconsolidamento
2. pulitura
3. consolidamento
4. reintegrazione
5. protezione superficiale

Si specifica che, una volta montate le opere provvisorie, si prevede preliminarmente un rilievo dello stato di conservazione, tramite analisi visiva ravvicinata, indagini a percussione manuale atte a verificare e localizzare eventuali distacchi, ed indagini diagnostiche volte ad indagare la natura dei materiali e delle manifestazioni di degrado su di essi.

Dal punto di vista metodologico si fa riferimento ai criteri di impostazione brandiana, temperando valenza estetica e storica dell'edificio, con particolare attenzione ai principi guida del restauro modernamente inteso: minimo intervento, reversibilità, compatibilità, distinguibilità. Si veda la Relazione Specialistica sulle Opere di Restauro.