VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

1386

IL CANTIERE DEL DUOMO OCCASIONE PER LA RICERCA SCIENTIFICA: RICERCA DEI MATERIALI E SOLUZIONI PROGETTUALI

Benigno Mörlin Visconti Castiglione
Architetto della Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano

Milano, 1 ottobre 2012

IL CASO DELLA GUGLIA MAGGIORE

1760

Il Progetto della Guglia è affidato a
Francesco Croce, Architetto della Fabbrica,
con la condizione che disegno e modello
fossero esaminati da periti esterni alla Fabbrica
“per la maggior sicurezza e convenienza dell’opera”

IL CASO DELLA GUGLIA MAGGIORE

1764

Francesco Croce presenta il modello della Guglia:

“un sistema di ferri di varie dimensioni,

bilanciato da forze concentriche verticali,

mascherato e mantenuto da

un rivestimento di marmo,

che ne compone la forma esteriore”

nella definizione di Ambrogio Nava

IL CASO DELLA GUGLIA MAGGIORE

1765

Ruggero Boscovich,

direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera, e

Francesco de Regi,

professore di matematica

nel Collegio Sant'Alessandro,

presentano le loro perizie,

entrambi favorevoli al progetto del Croce

LA COSTRUZIONE DELLA GUGLIA MAGGIORE

1774

La Guglia Maggiore è completata

con la posa della

Statua della Madonnina

I RESTAURI DELLA GUGLIA MAGGIORE

1845

Primo restauro da parte di Ambrogio Nava,
in senso rigorosamente conservativo

1962

Restauro di Carlo Ferrari da Passano:
i collegamenti originali in ferro vengono sostituiti da elementi in acciaio inossidabile AISI 316

2008

Restauro attuale:
i nuovi elementi metallici sono realizzati in titanio e vengono consolidati o sostituiti gli elementi in marmo

AMBROGIO NAVA

“ Alla conservazione della Guglia, siccome dell’intero edificio, sommamente importa che non si trascurino le riparazioni di mano in mano che se ne scopra il bisogno, e soprattutto non sieno neglette le stuccature. Chi pensasse di intraprendere nuove opere […] ed intanto non si pigliasse cura di conservare quanto esiste, congiurerebbe non solo alla rovina della Guglia, ma dell’intero edificio ”.

Ambrogio Nava,
Relazione dei Restauri intrapresi alla Gran Guglia del Duomo, 1845

LA STORIA DELLA GUGLIA MAGGIORE E LA FABBRICA DEL DUOMO DI OGGI

Passaggio da cantiere di costruzione a

CANTIERE DI RESTAURO:

il più grande cantiere permanente d'Italia

SISTEMATICA **INNOVAZIONE TECNOLOGICA**:

dal ferro, all'acciaio, al titanio

COSTANTE **SUPPORTO SCIENTIFICO**:

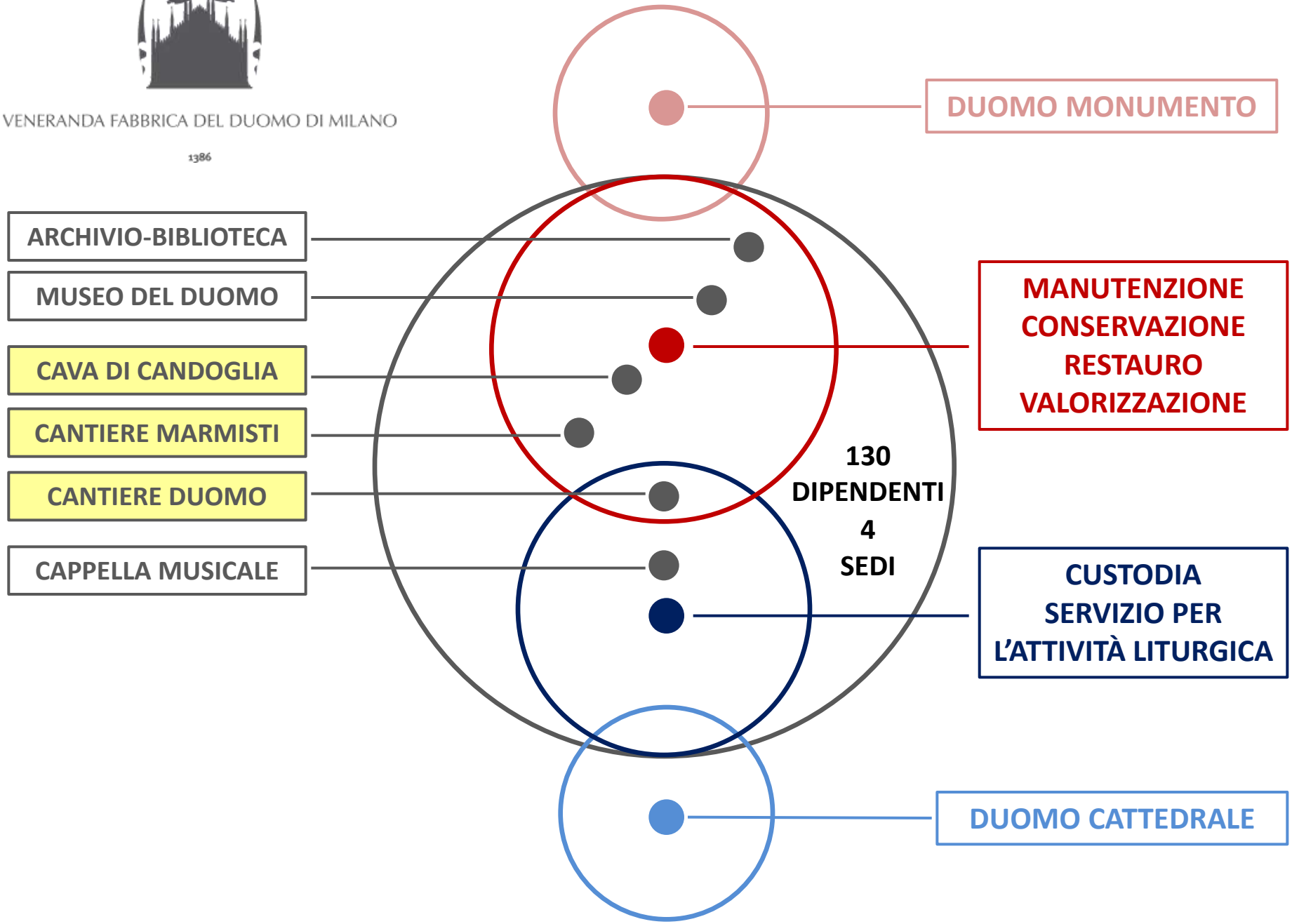
da Boscovich alla Commissione Prefettizia e CNR, Politecnico di Milano, Ismes, CESI…

COMPETENZE SPECIFICHE DELLA VFD

- SCULTURA ED EDILIZIA MONUMENTALE
- ESCAVAZIONE DEL MARMO
- FORMAZIONE MARMISTI
- GESTIONE CANTIERE DELLA CATTEDRALE
- GESTIONE CAVA DI CANDOGLIA
- GESTIONE CANTIERE MARMISTI

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

1386



CANTIERE DELLA CATTEDRALE

RIPRISTINO SIGILLATURE E STUCCATURE

PROTEZIONE E CONSOLIDAMENTO DELLE SUPERFICI ESPOSTE

RIMOZIONE E MESSA IN OPERA DEGLI ELEMENTI DI MARMO

CANTIERE MARMISTI

PRODUZIONE
NUOVI CONCI

COPIA
ELEMENTI DI ORNATO

REALIZZAZIONE
NUOVE STATUE

CAVA DI CANDOGLIA

COLTIVAZIONE MARMO

CONSERVAZIONE
PARETI DEL GIACIMENTO

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

COMMISSIONE PREFETTIZIA

- DAL 1968
- ORGANO CONSULTIVO, IN CASO DI EVENTI ECCEZIONALI O LAVORI DI PARTICOLARE RILEVANZA STATICA
- COMPOSTA DA:
  - 5 EMINENTI CATTEDRATICI DI SCIENZA E TECNICA DELLE COSTRUZIONI
  - RESPONSABILI TECNICI DEL COMUNE DI MILANO E REGIONE LOMBARDIA
  - COMANDANTE VVFF
  - SOPRINTENDENTE BBAA

COLLABORAZIONE CON ENTI SCIENTIFICI

- ELEVATA COMPLESSITÀ DELLA CONSERVAZIONE STRUTTURALE DEL DUOMO
- NECESSITÀ DI SPECIALIZZAZIONE E IMPLEMENTAZIONE TECNOLOGICA OLTRE LE COMPETENZE PROPRIE DELLA VFD
- FIN DAGLI ANNI 60 DEL NOVECENTO
- CNR, POLITECNICO DI MILANO, ISMES, CESI E LABORATORI SPECIFICI

AMBITI DI MONITORAGGIO

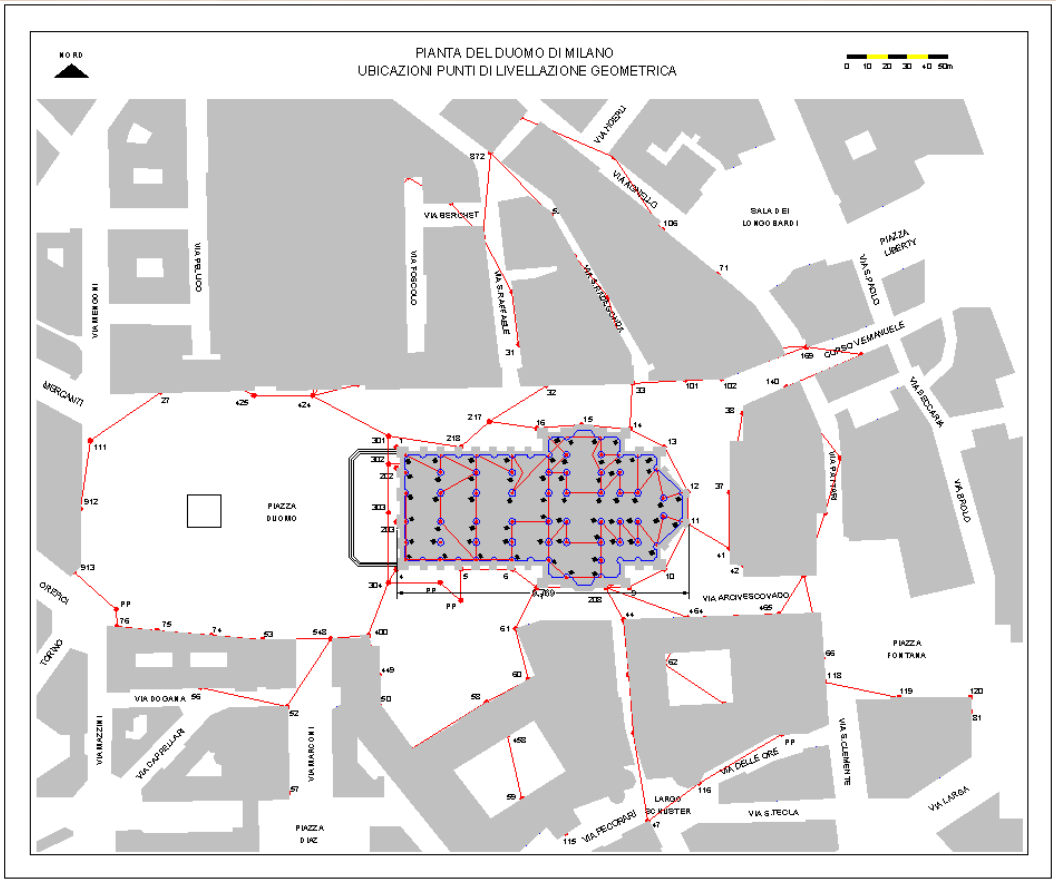
- STATICA
- STATO DI CONSERVAZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI

MONITORAGGIO

- OGNI SEI MESI
- CONTROLLI VISIVI DELLE SUPERFICI ESTERNE
- OPERATORI SPECIALIZZATI DELLA VFD

CONTROLLI STORICI

MISURE DI LIVELLAZIONE



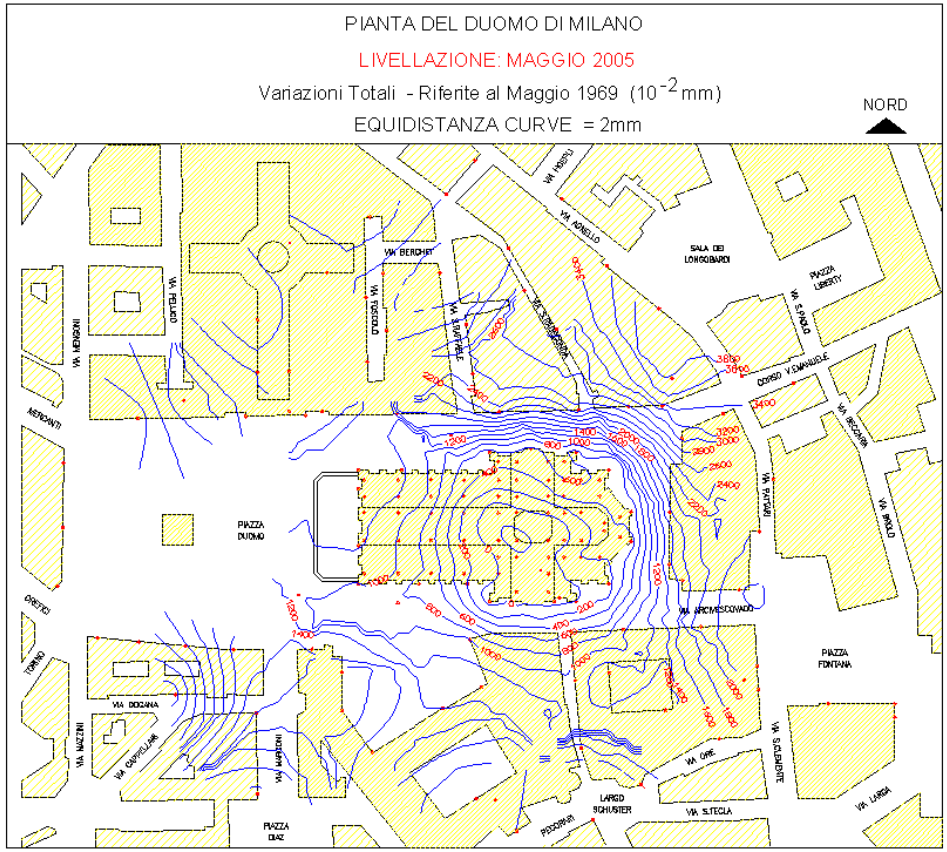
- DAL 1966
- 170+ PUNTI DI CONTROLLO (60 INTERNI)
- VARIAZIONI: STORICHE ANNUALI PARZIALI

MAPPA DEI PUNTI DI LIVELLAZIONE GEOMETRICA

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

CONTROLLI STORICI

MISURE DI LIVELLAZIONE



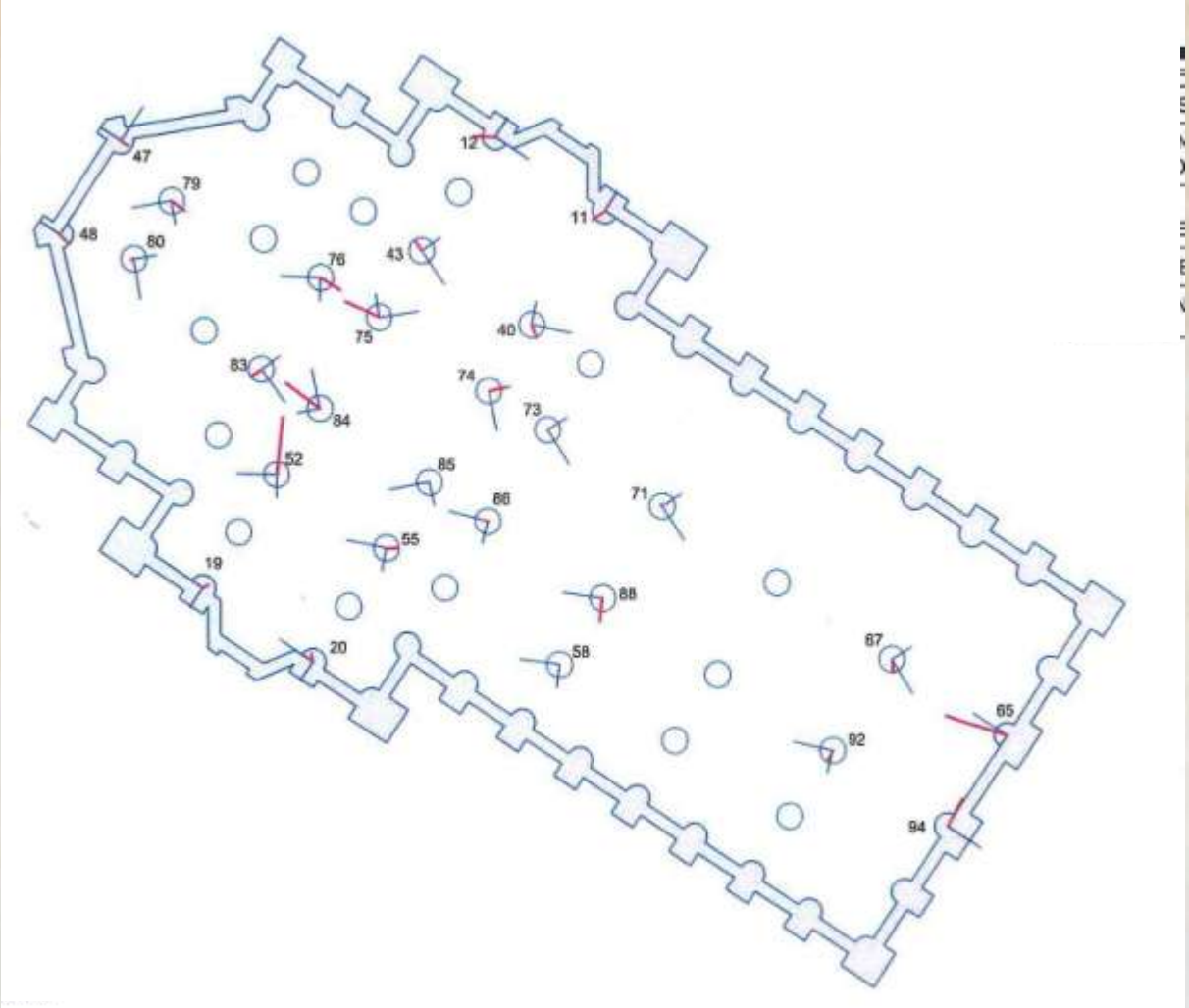
- DAL 1966
- 170+ PUNTI DI CONTROLLO (60 INTERNI)
- VARIAZIONI: STORICHE ANNUALI PARZIALI

ANDAMENTO DELLA LIVELLAZIONE IN 35 ANNI

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

CONTROLLI STORICI

CONTROLLO DI VERTICALITÀ

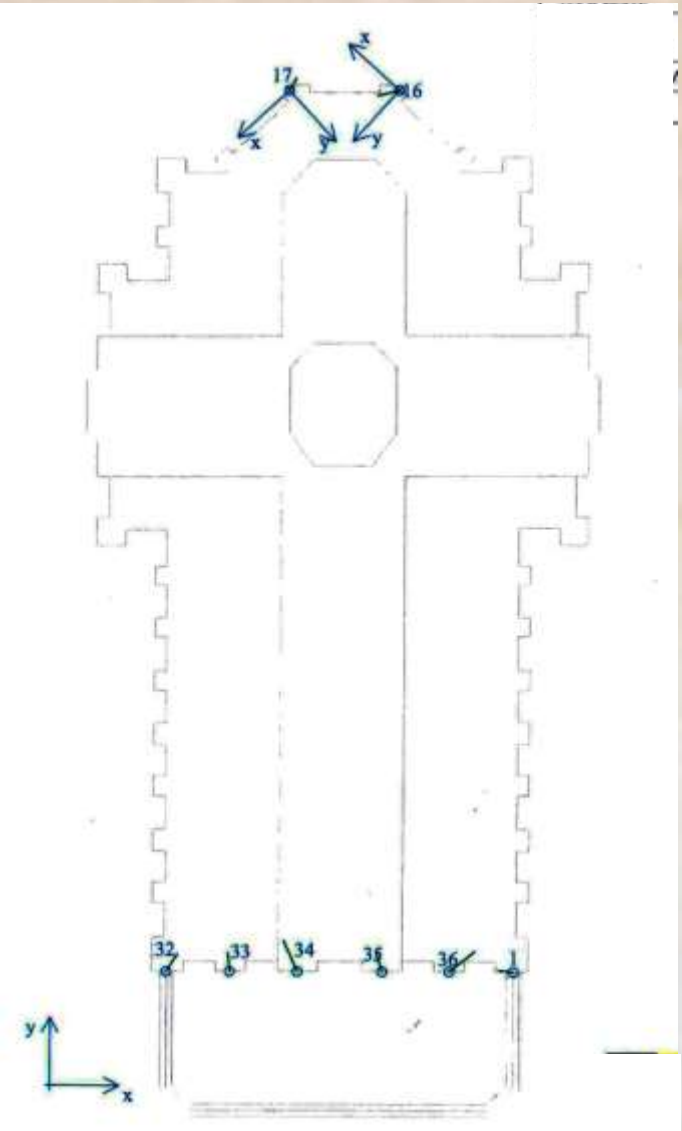


- DAL 1981
- 35 FILI A PIOMBO INTERNI
- VARIAZIONI: STORICHE ANNUALI PARZIALI

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

CONTROLLI STORICI

CONTROLLO DI VERTICALITÀ



- DAL 2001
- MISURE CON LIVELLO ZENITALE
- 6 PUNTI IN FACCIATA
- 2 PUNTI CONTRAFFORTI ABSIDALI

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

CONTROLLI STORICI

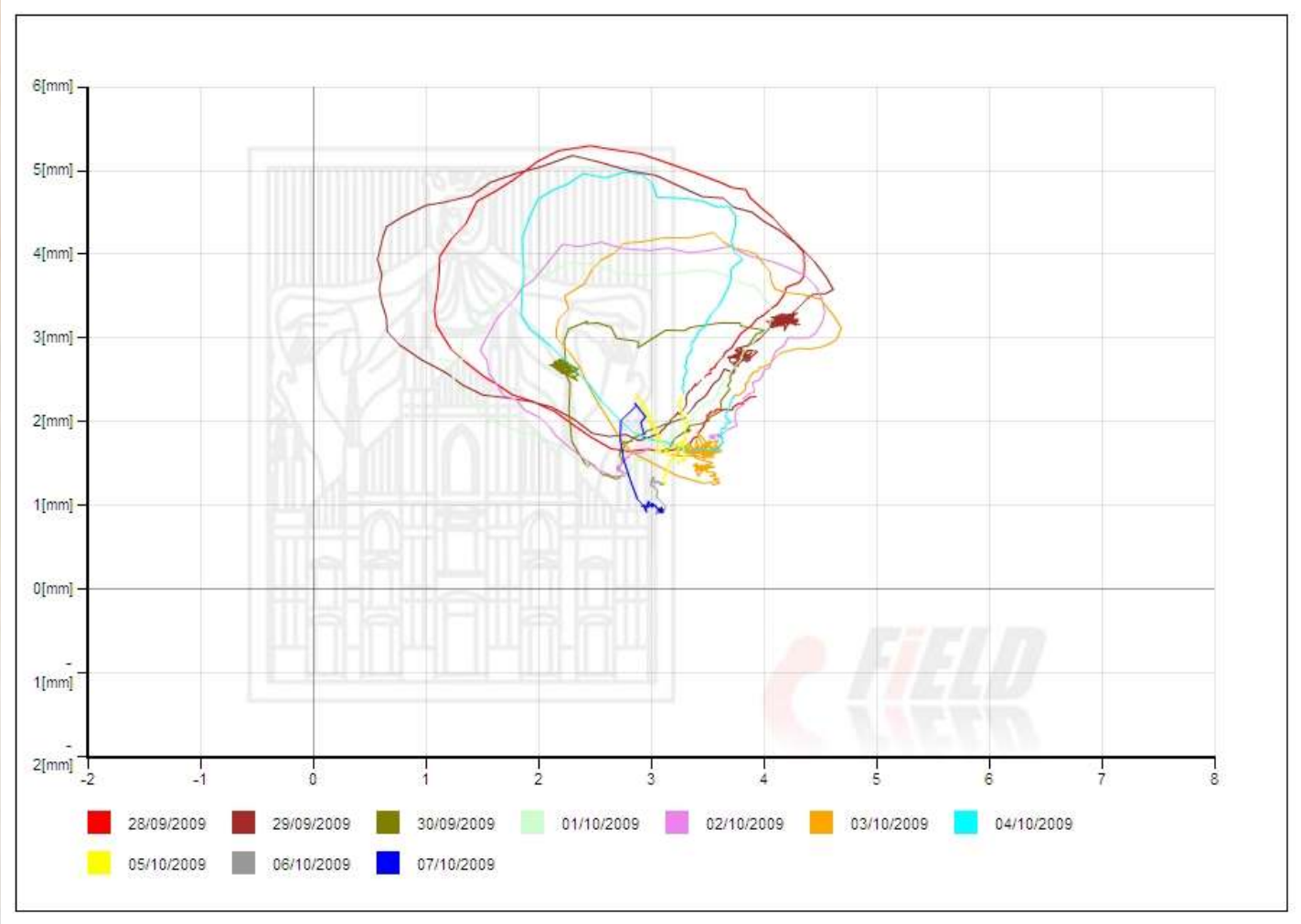
CONTROLLO DI VERTICALITÀ

- DAL 1904
- MISURA AUTOMATICA IN CONTINUO ULTIMI 18 METRI GUGLIA MAGGIORE

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

CONTROLLI STORICI

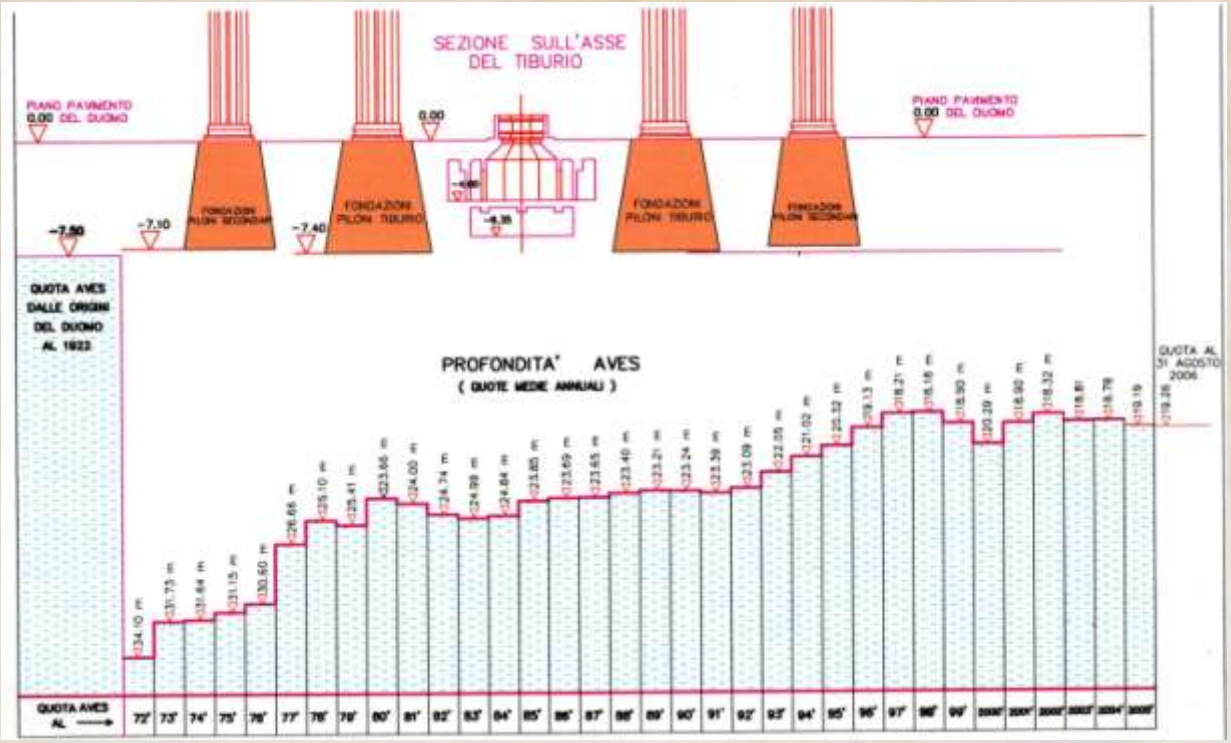
CONTROLLO DI VERTICALITÀ



COORDINATOMETRO LASER

CONTROLLI STORICI

MISURE DELLA FALDA

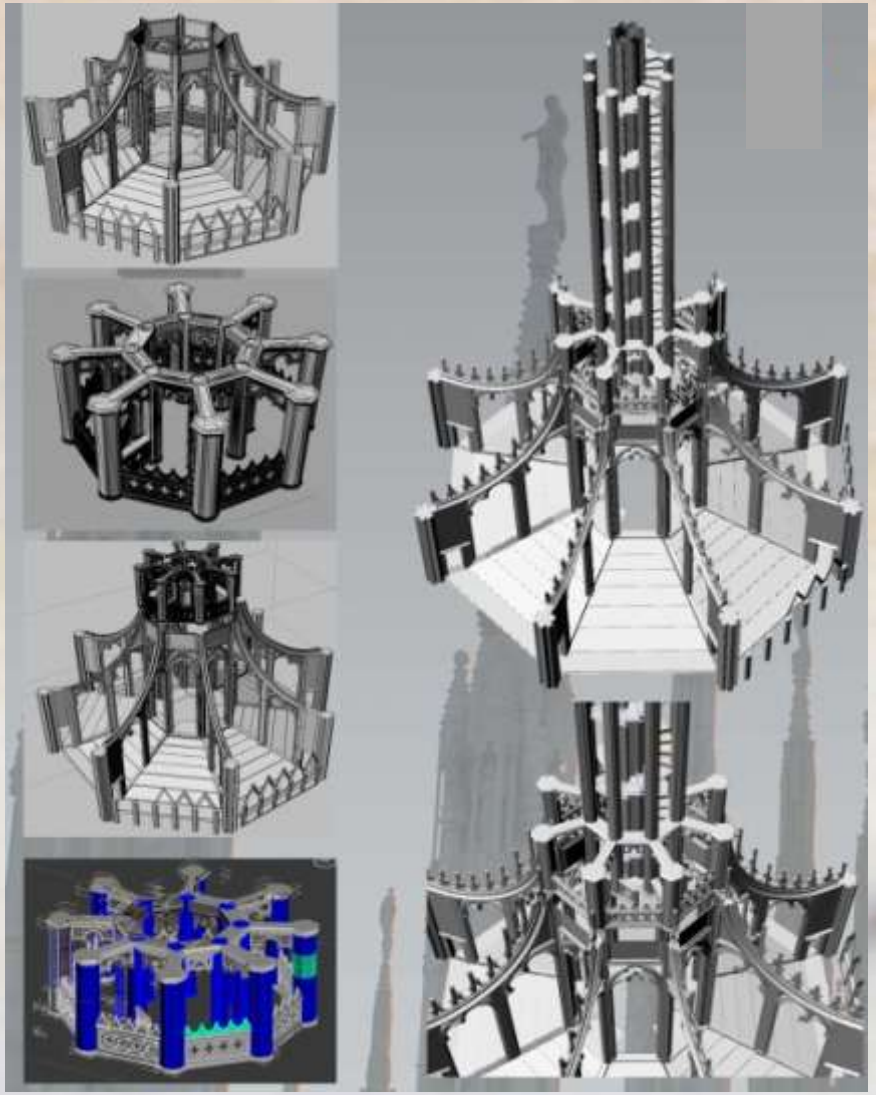


- UNA VOLTA AL MESE
- POZZI ALL'INTERNO DEL DUOMO

VARIAZIONI DI QUOTA DELLA FALDA SOTTO IL TIBURIO

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

ATTIVITA DI MONITORAGGIO
IN COLLABORAZIONE CON ENTI SCIENTIFICI



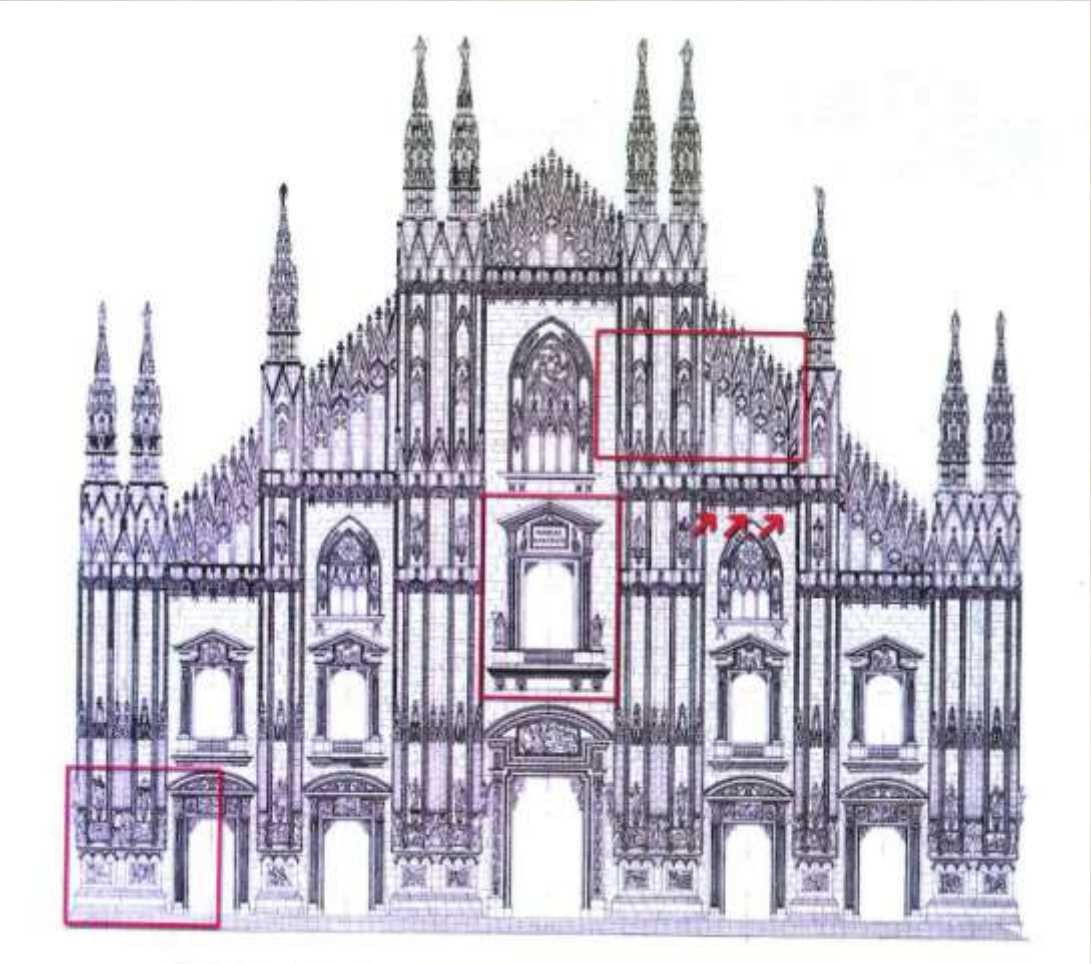
ENTE:
POLITECNICO DI MILANO
BEST
Building Environment Science e Technology

ATTIVITÀ :
RILIEVO 3D
GUGLIA MAGGIORE

SCOPO:
GESTIONE CANTIERE DI RESTAURO

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

ATTIVITA DI MONITORAGGIO
IN COLLABORAZIONE CON ENTI SCIENTIFICI



ENTE:
POLITECNICO DI MILANO
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"

PROGETTO :
MONITORAGGIO
RESTAURO FACCIATA
PER LA CONSERVAZIONE
PROGRAMMATA

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

ATTIVITA DI MONITORAGGIO
IN COLLABORAZIONE CON ENTI SCIENTIFICI

MONITORAGGIO RESTAURO FACCIATA
PER LA CONSERVAZIONE PROGRAMMATA

ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO

1. MAPPATURA SULLO STATO DELLE SUPERFICI (OGNI 6 MESI)
2. CONTROLLO ANOMALIE TERMICHE SUPERFICIALI (OGNI 3 MESI)
3. MONITORAGGIO DELL'ANNERIMENTO (OGNI 2 MESI)
4. MONITORAGGIO DI FESSURAZIONI (OGNI 6 MESI)
5. MONITORAGGIO DELLA MALTE DI STUCCATURA (OGNI 6 MESI)
6. MAPPATURA IDROPELLENZA DELLA SUPERFICIE (OGNI 6 MESI)
7. CONTROLLO QUALITÀ ARIA E IMPATTO PARTICOLATO (ANNUALE)

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

ESEMPIO INTEGRAZIONE TRA MONITORAGGIO E CONSERVAZIONE PROGRAMMATA:

CONTROLLI SPECIFICI DI CANTIERE RELATIVI A TIBURIO E GUGLIA

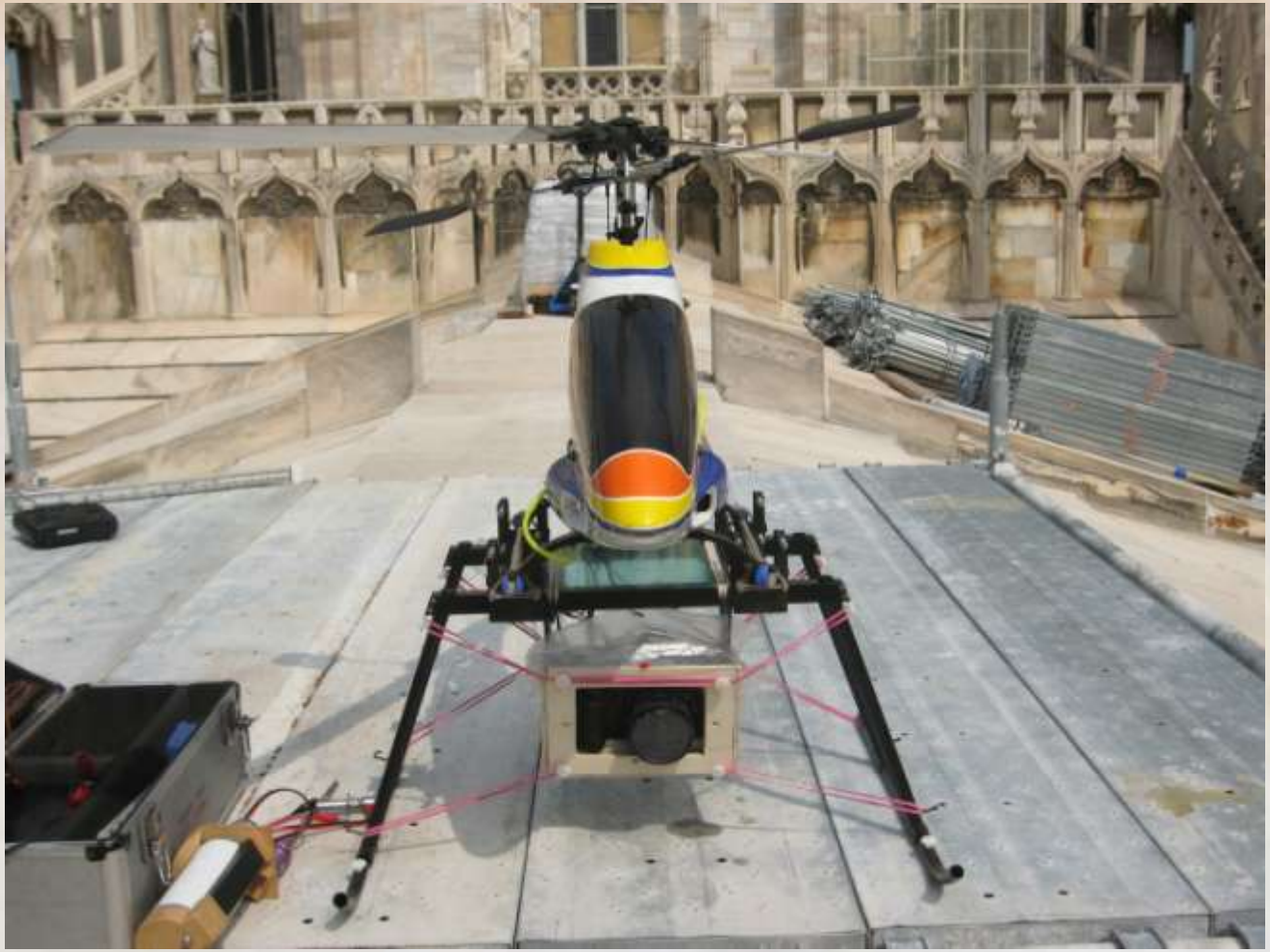
↓

PROGRAMMAZIONE RESTAURO GUGLIA

129

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RILIEVO PRELIMINARE TRIDIMENSIONALE



ELICOTTERO PER RIPRESE FOTOGRAMMETRICHE

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

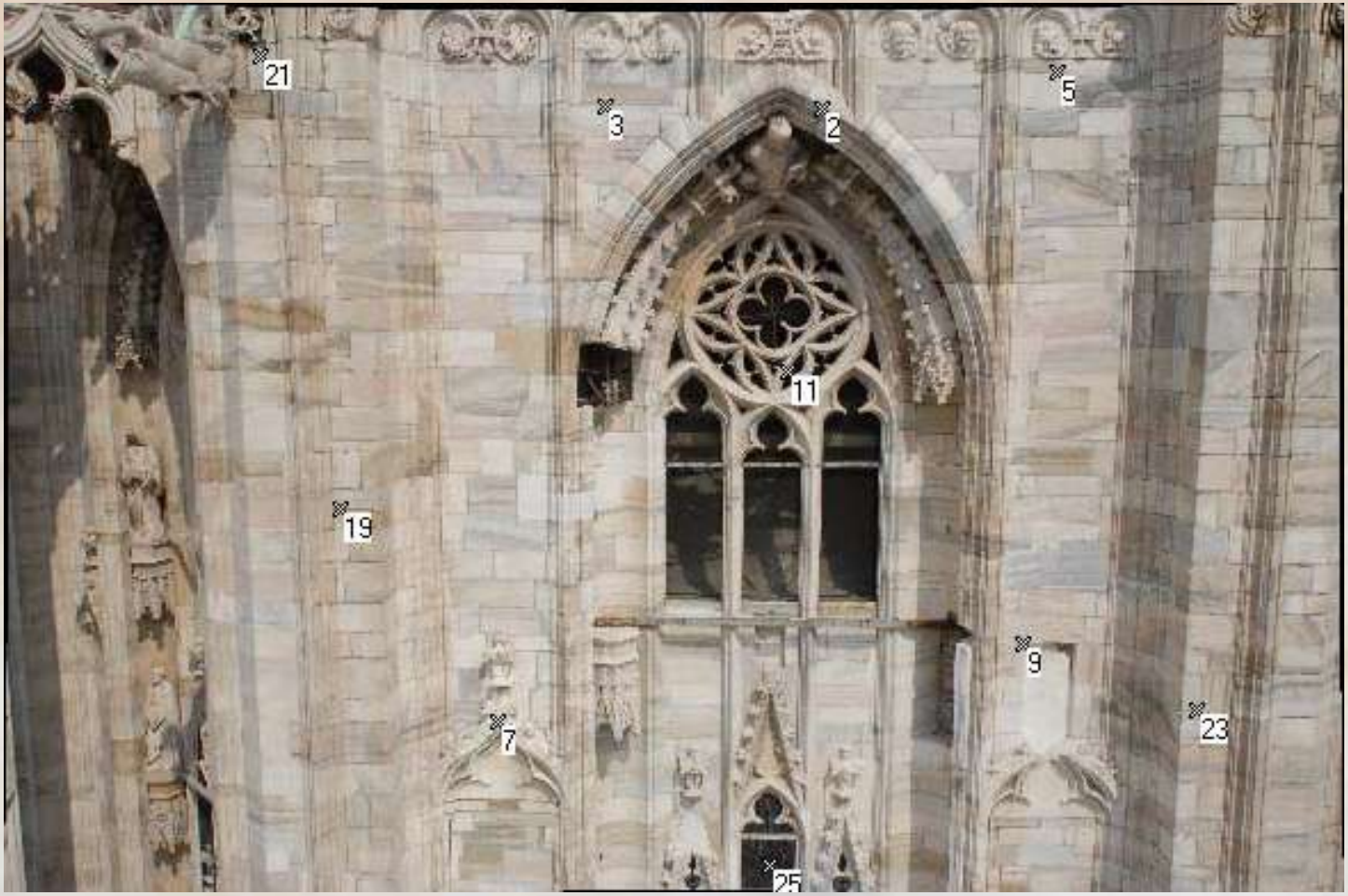
RILIEVO PRELIMINARE TRIDIMENSIONALE

RIPRESE FOTOGRAMMETRICHE

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RILIEVO PRELIMINARE TRIDIMENSIONALE

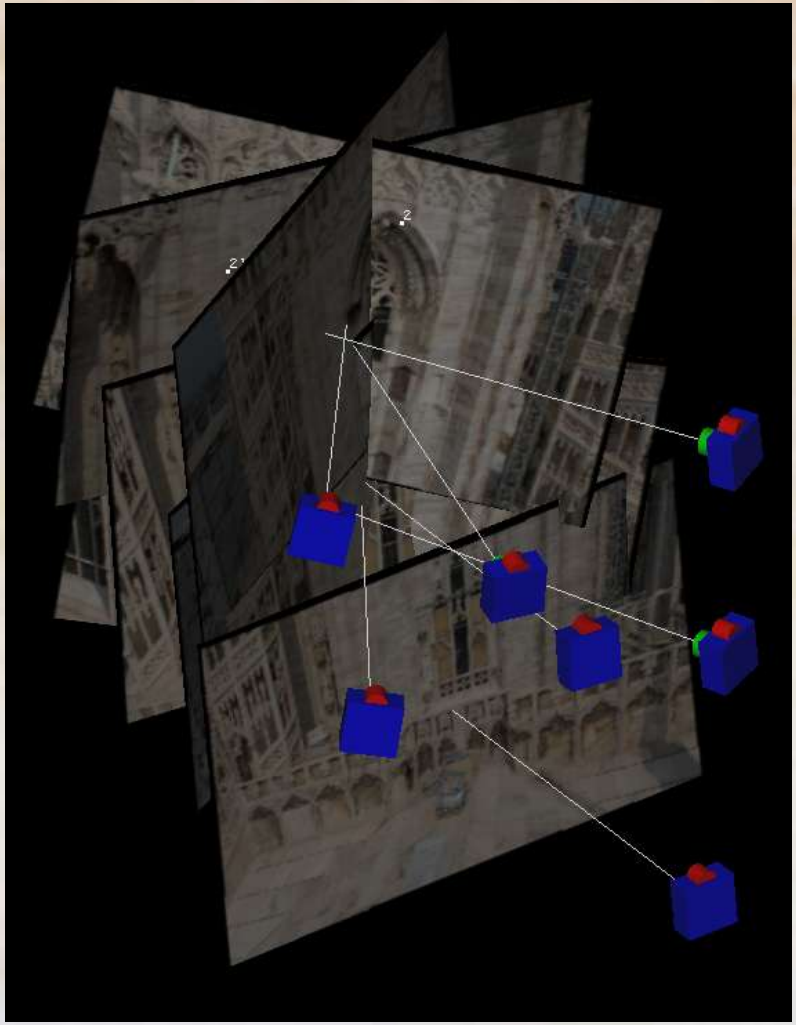


PUNTI DI RIPRESA

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RILIEVO PRELIMINARE TRIDIMENSIONALE

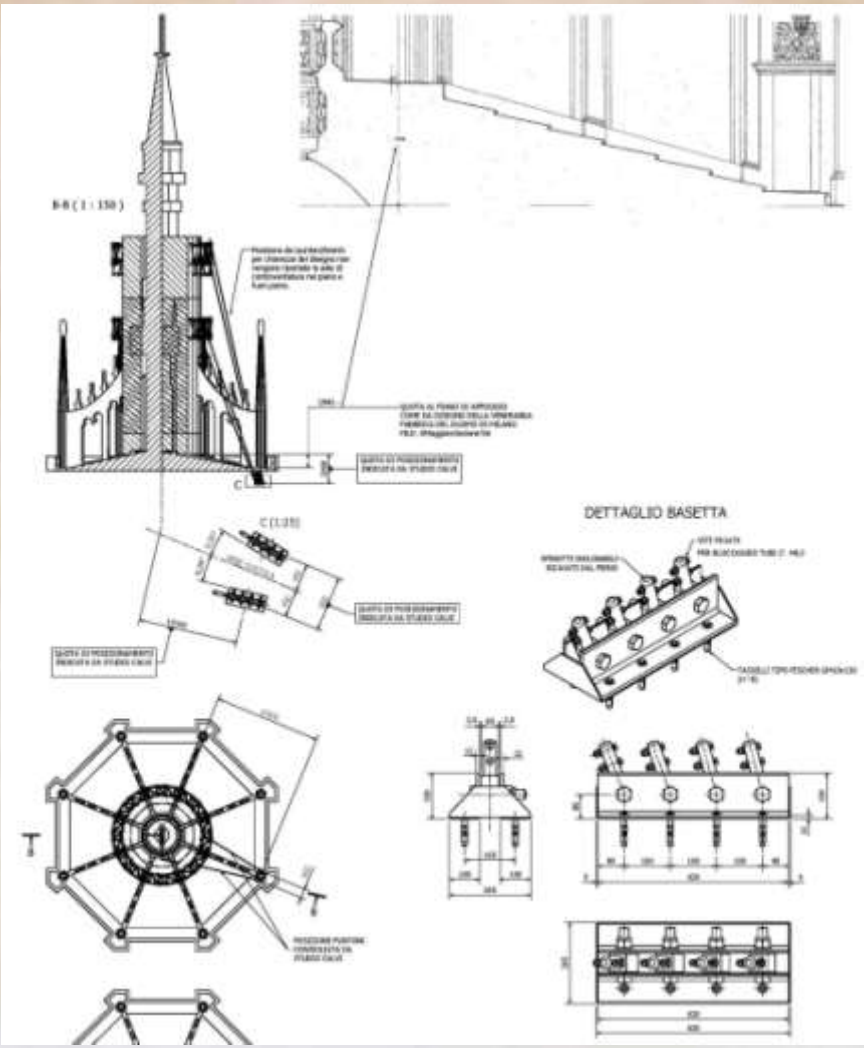


MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

REALIZZAZIONE PONTEGGIO



PROGETTO PONTEGGIO

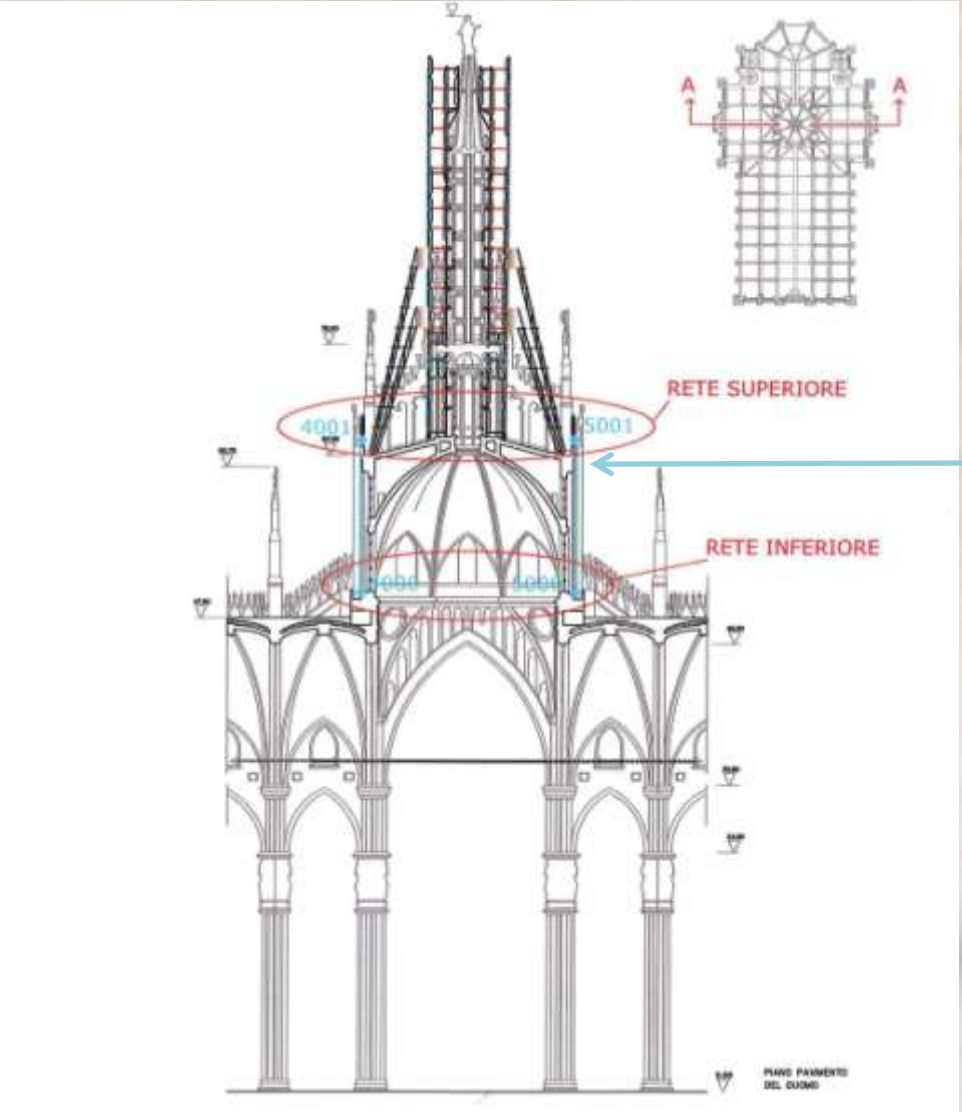
RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

REALIZZAZIONE PONTEGGIO

MONTAGGIO PONTEGGIO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

CONTROLLI SPECIFICI DI CANTIERE (TIBURIO E GUGLIA)



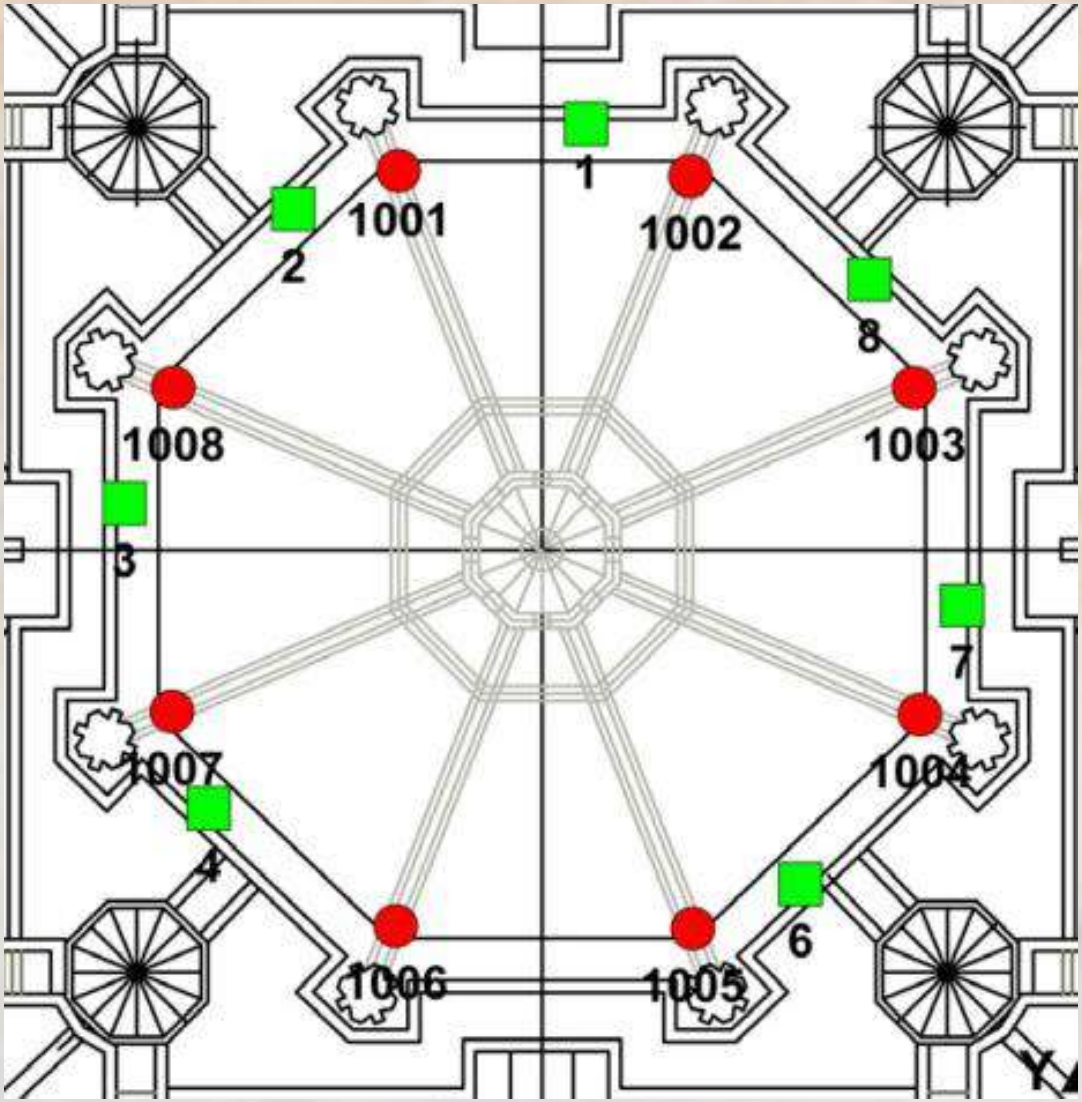
Punti Ausiliari
E Collegamento
tra Rete inferiore
E Rete superiore

MONITORAGGIO
MOVIMENTI ALTIMETRICI
BASE PONTEGGIO

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

CONTROLLI SPECIFICI DI CANTIERE (TIBURIO E GUGLIA)

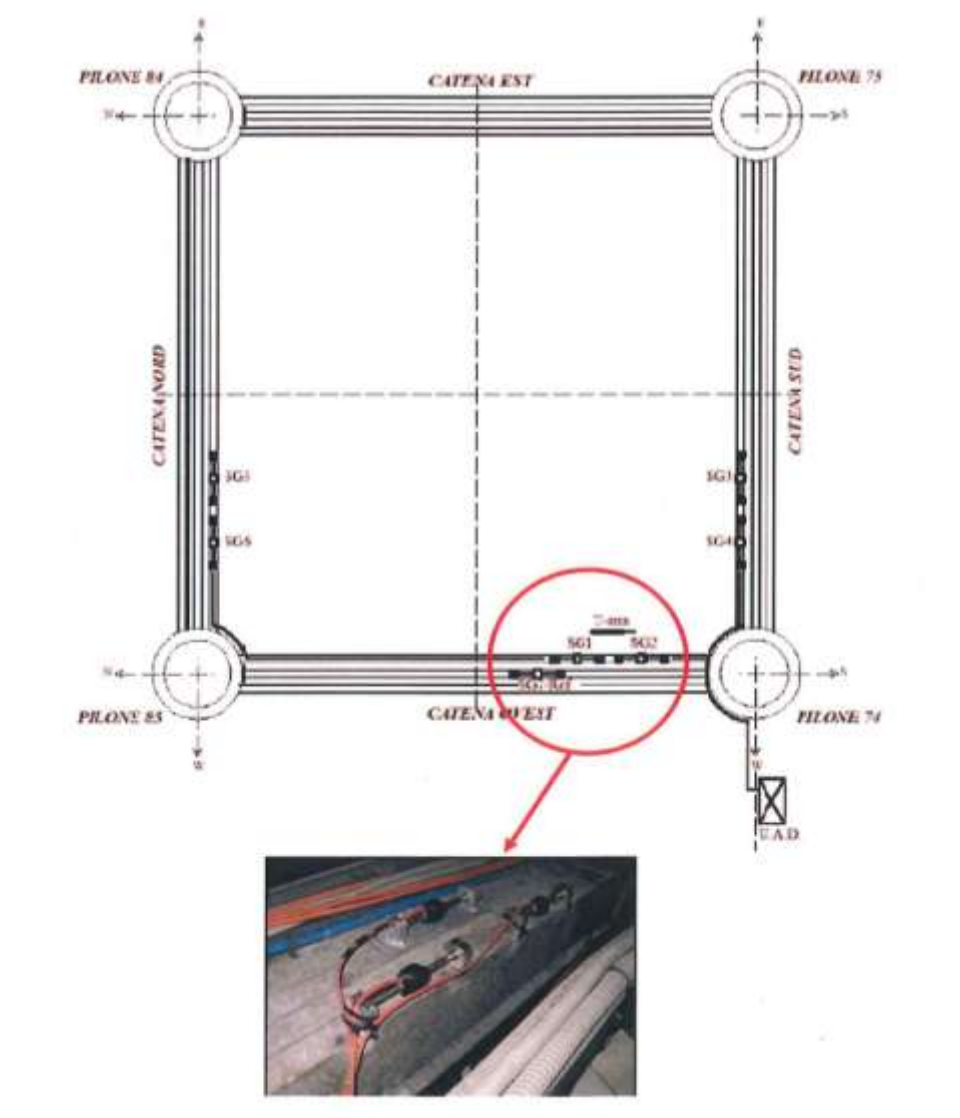


MONITORAGGIO
DI CONVERGENZA
ALLA BASE DELLA CUPOLA

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

CONTROLLI SPECIFICI DI CANTIERE (TIBURIO E GUGLIA)

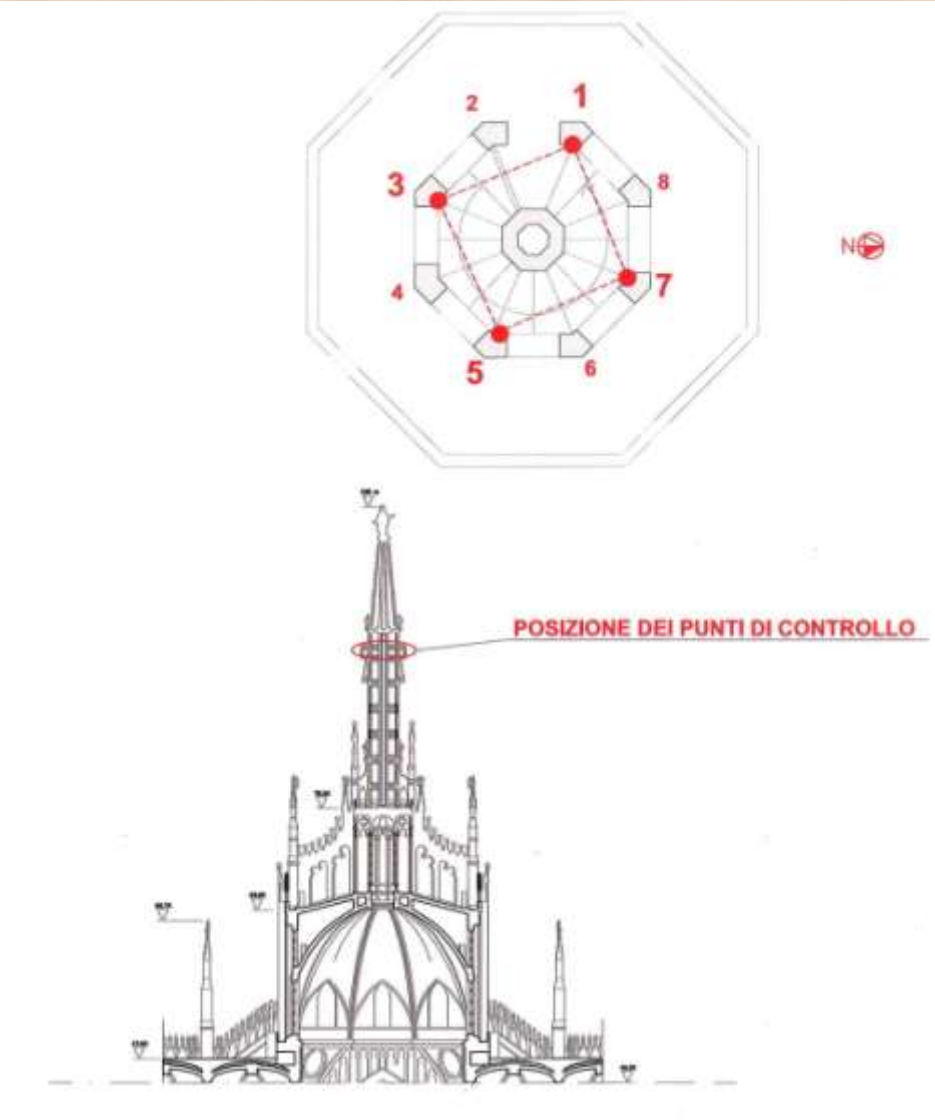


MONITORAGGIO
DELLE CATENE DI COLLEGAMENTO
TRA I PILONI DEL TIBURIO

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

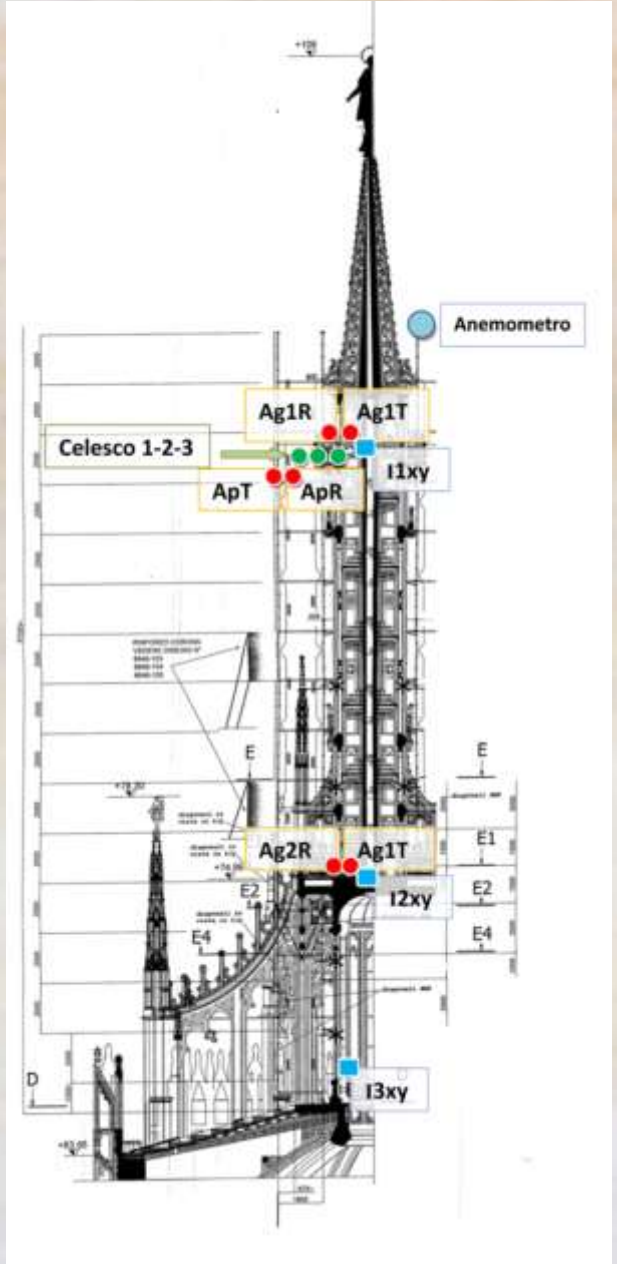
CONTROLLI SPECIFICI DI CANTIERE (TIBURIO E GUGLIA)



MONITORAGGIO DEFORMAZIONI INTERNE DELLA GUGLIA

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

MONITORAGGIO IN CONTINUO
DELLA GUGLIA E DEI MOVIMENTI RELATIVI TRA PONTEGGIO E GUGLIA

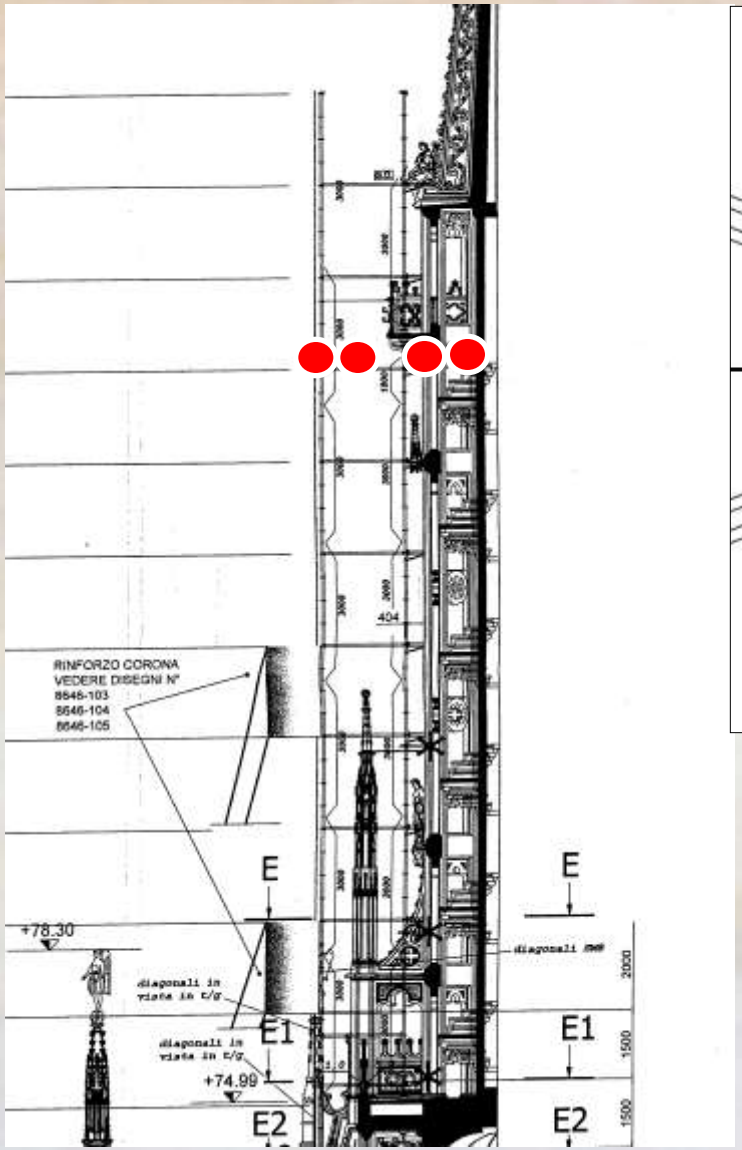


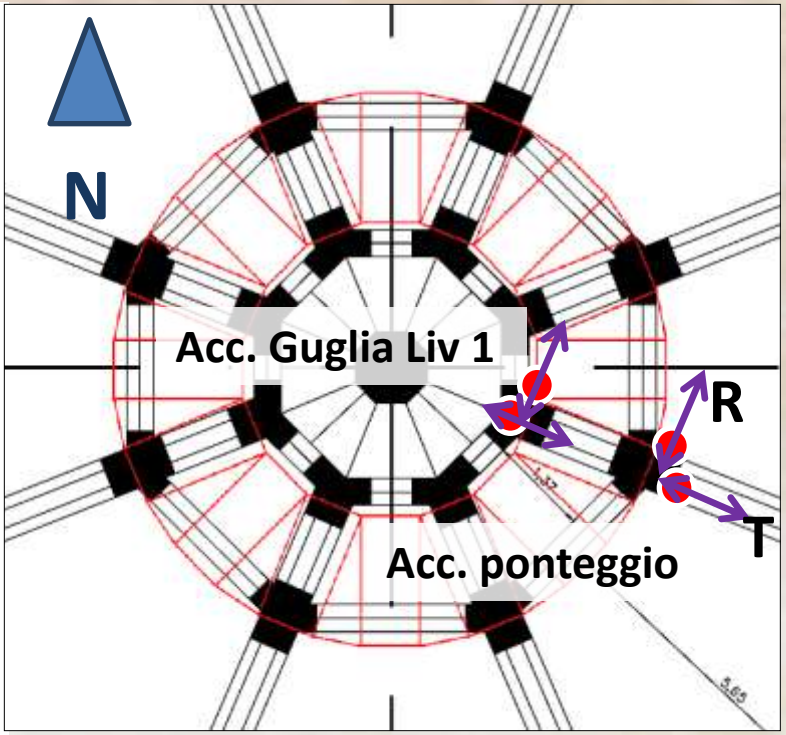
POSIZIONE COMPLESSIVA STRUMENTI SITUAZIONE ATTUALE

Ag1R	Accelerometro guglia liv. 1 Radiale
Ag1T	Accelerometro guglia liv. 1 Tang.
Ag2R	Accelerometro guglia liv. 2 Radiale
Ag2T	Accelerometro guglia liv. 3 Tang.
ApR	Accelerometro ponteggio Radiale
ApT	Accelerometro ponteggio Tang.
I1xy	Inclinometro biassiale livello 1
I2xy	Inclinometro biassiale livello 2
I3xy	Inclinometro biassiale livello 3
Celesco 1-2-3	Trasduttori di spostamento relativo

MONITORAGGIO IN CONTINUO
DELLA GUGLIA E DEI MOVIMENTI RELATIVI TRA PONTEGGIO E GUGLIA

POSIZIONE ACCELEROMETRI LIVELLO 1 (BELVEDERE ALTO)



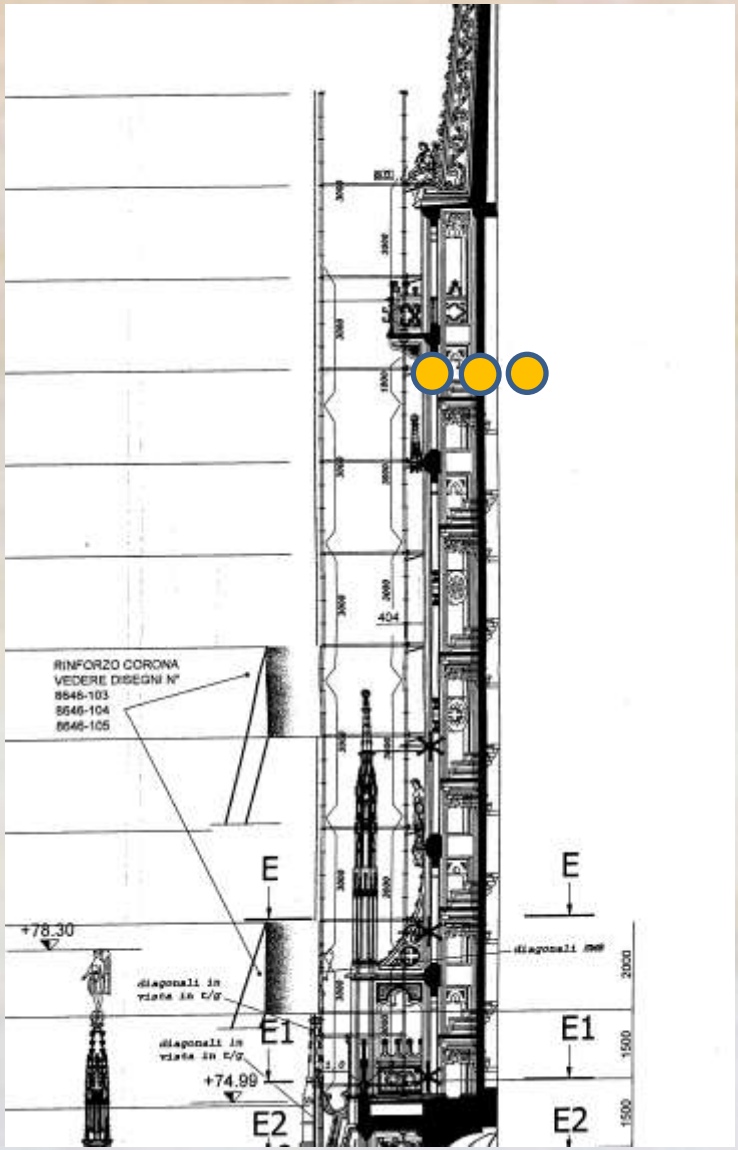


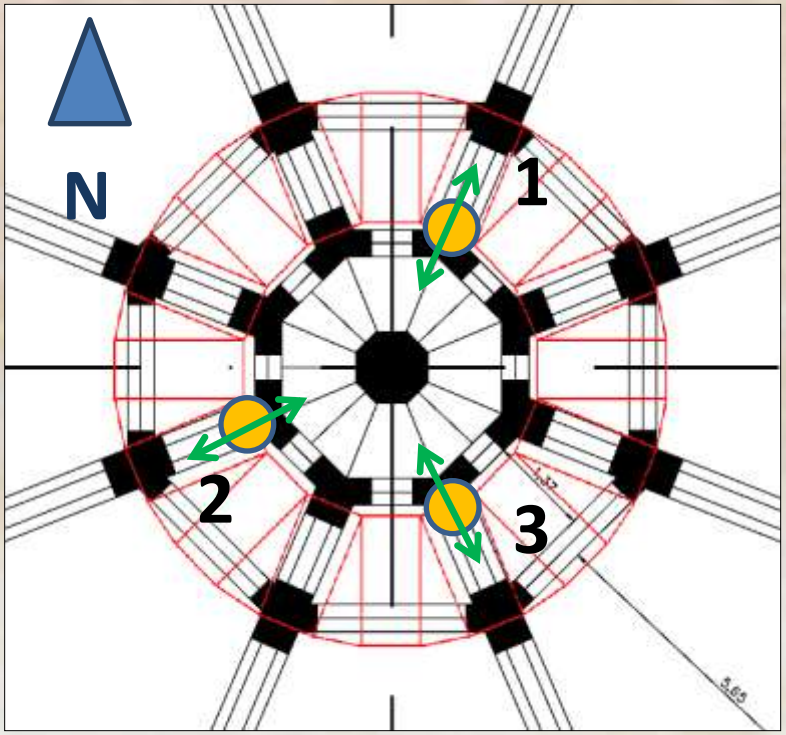
DIREZIONE DI MISURA
RADIALE E TANGENZIALE

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

MONITORAGGIO IN CONTINUO
DELLA GUGLIA E DEI MOVIMENTI RELATIVI TRA PONTEGGIO E GUGLIA

POSIZIONE TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO A FILO

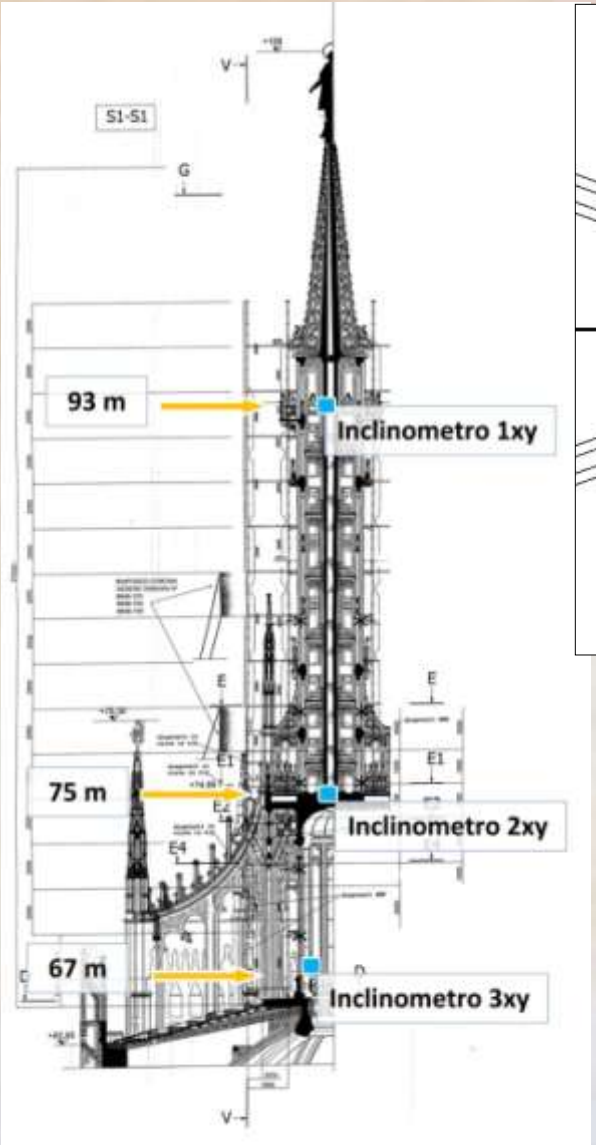


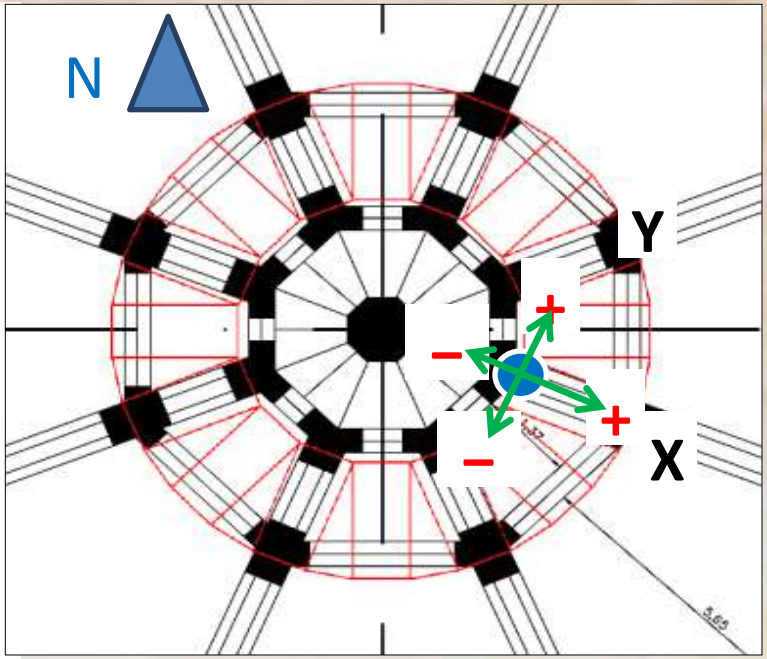


VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

MONITORAGGIO IN CONTINUO
DELLA GUGLIA E DEI MOVIMENTI RELATIVI TRA PONTEGGIO E GUGLIA

POSIZIONE INCLINOMETRI E ASSI DI RIFERIMENTO



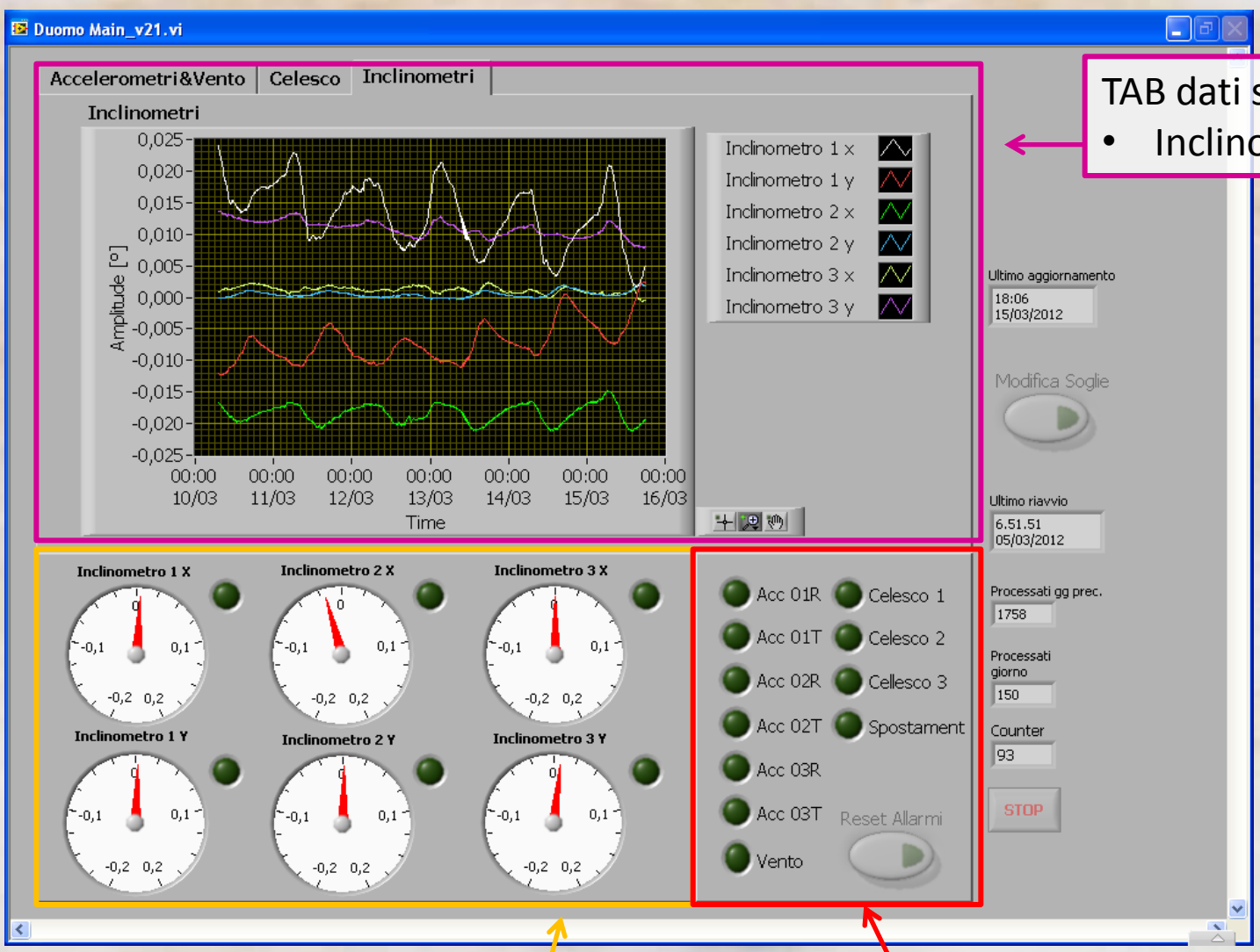


LE ROTAZIONI ATTORNO ALL'ASSE X SONO QUELLE PIÙ PROSSIME ALLE INCLINAZIONI NEL VERSO EST(+)/OVEST(-)

LE ROTAZIONI ATTORNO ALL'ASSE Y SONO QUELLE PIÙ PROSSIME ALLE INCLINAZIONI NEL VERSO NORD(+)/SUD(-)

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

IL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO: INTERFACCIA UTENTE



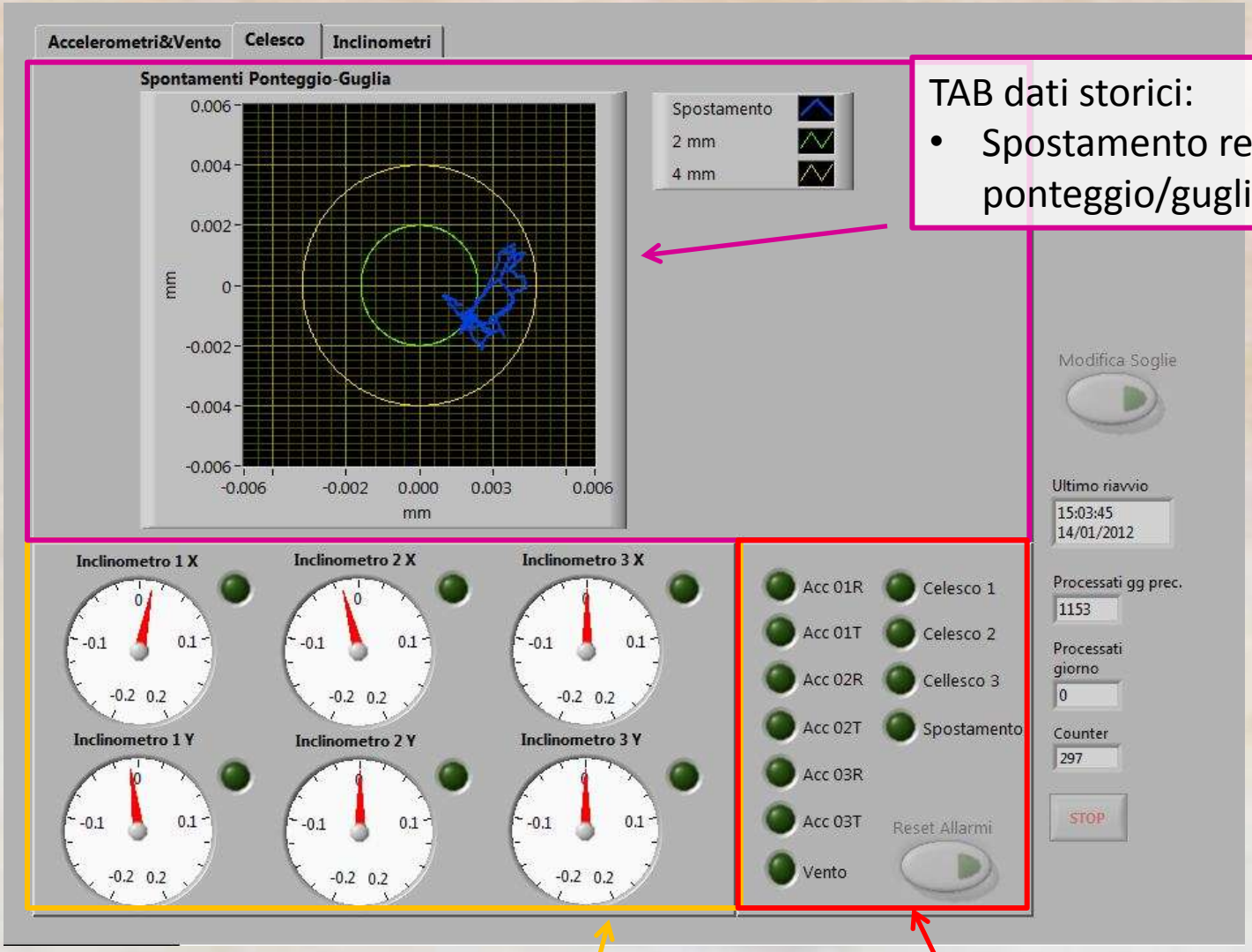
TAB dati storici:

- Inclinometri

Valori istantanei inclinometri e relativi allarmi

Indicatori allarmi

IL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO: INTERFACCIA UTENTE



TAB dati storici:

- Spostamento relativo ponteggio/guglia

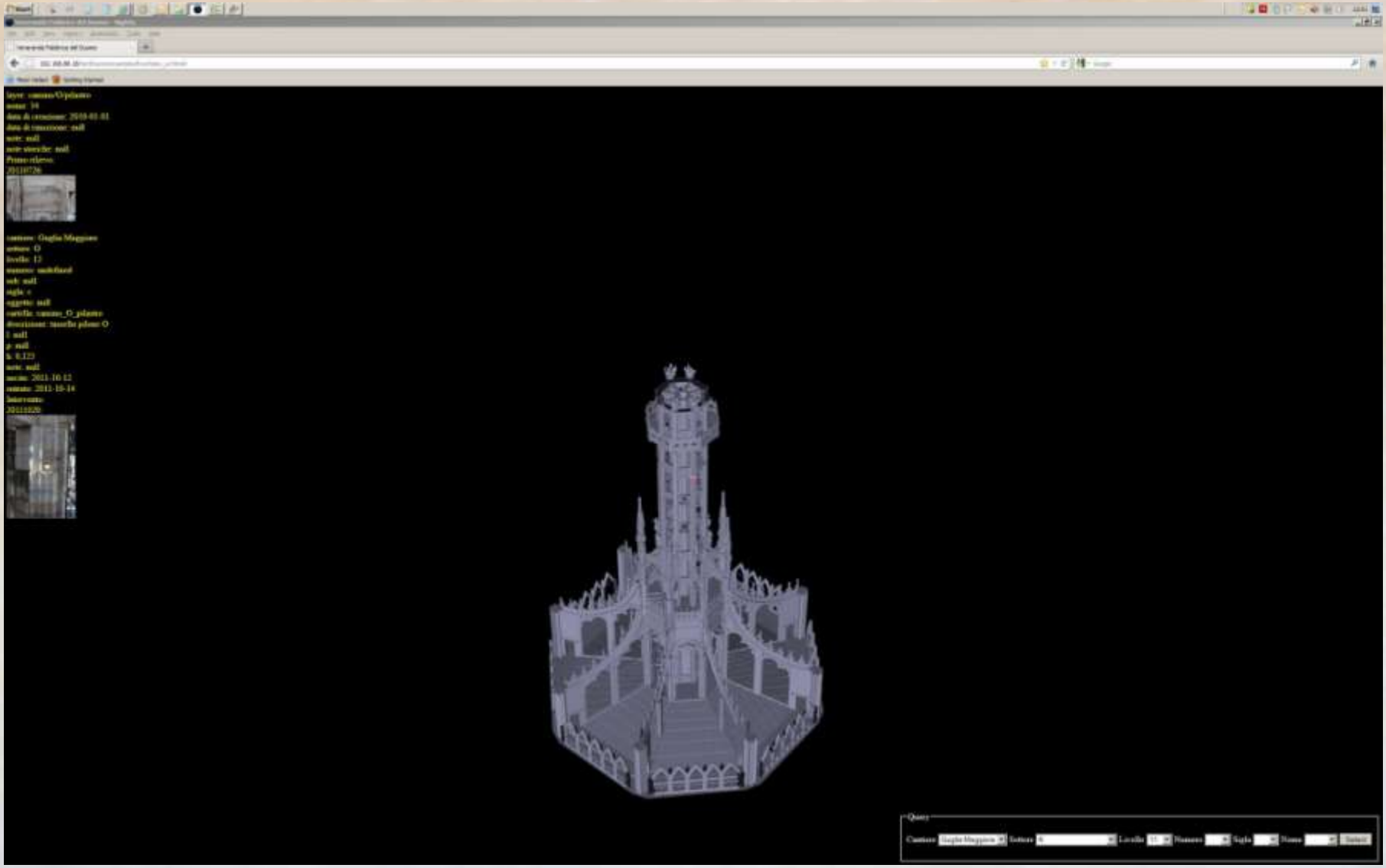
Valori istantanei inclinometri e relativi allarmi

Indicatori allarmi

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

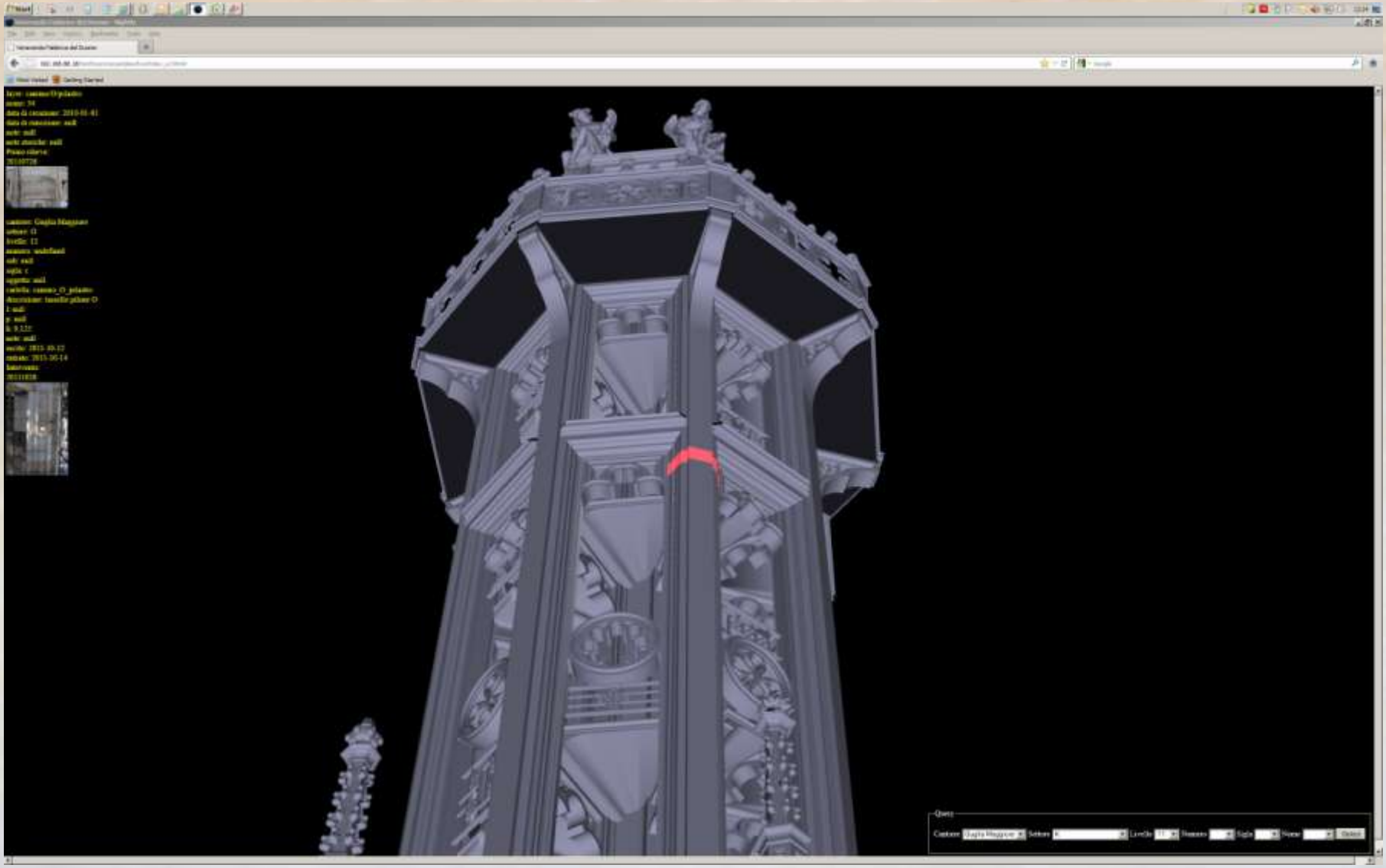
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

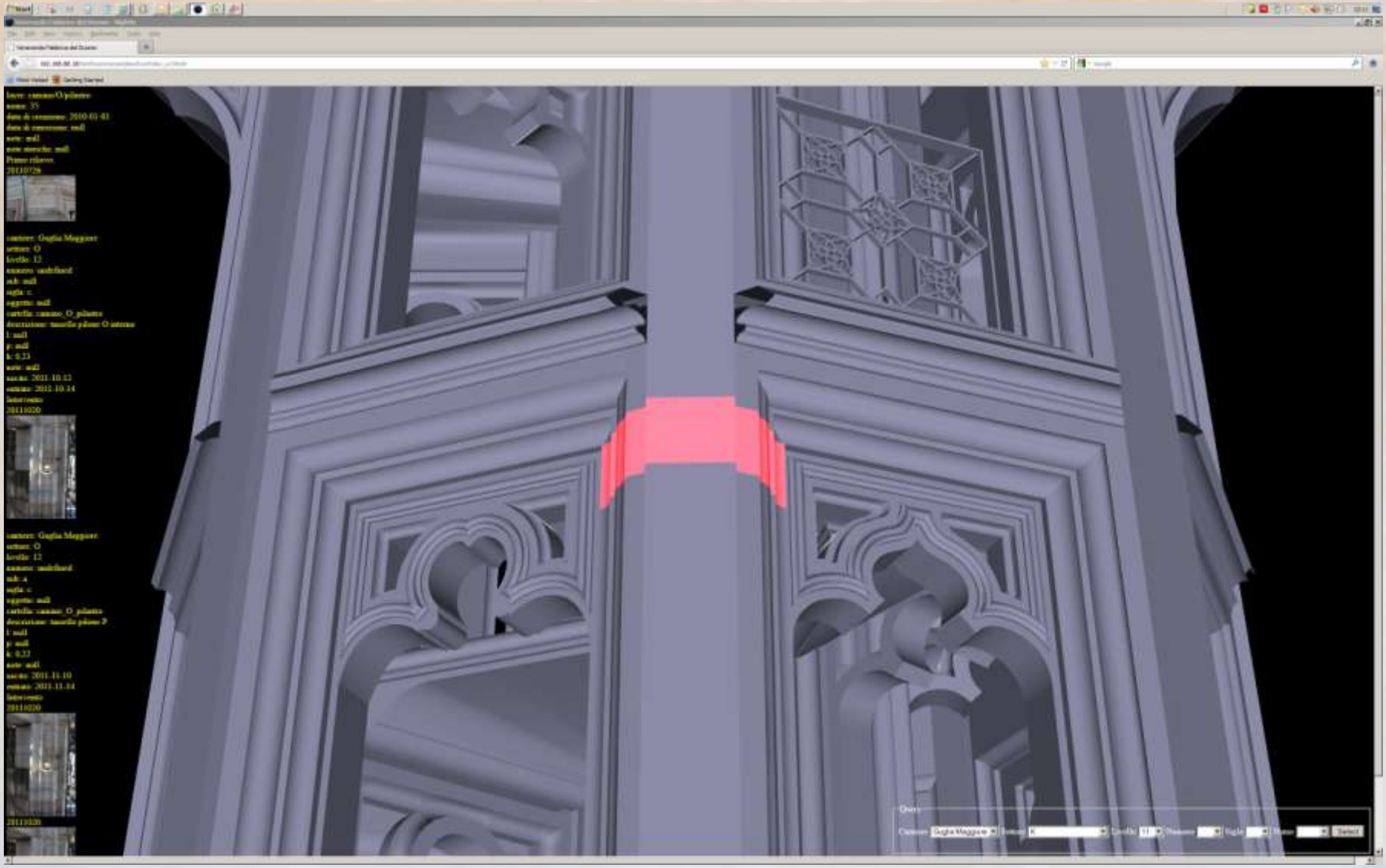
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

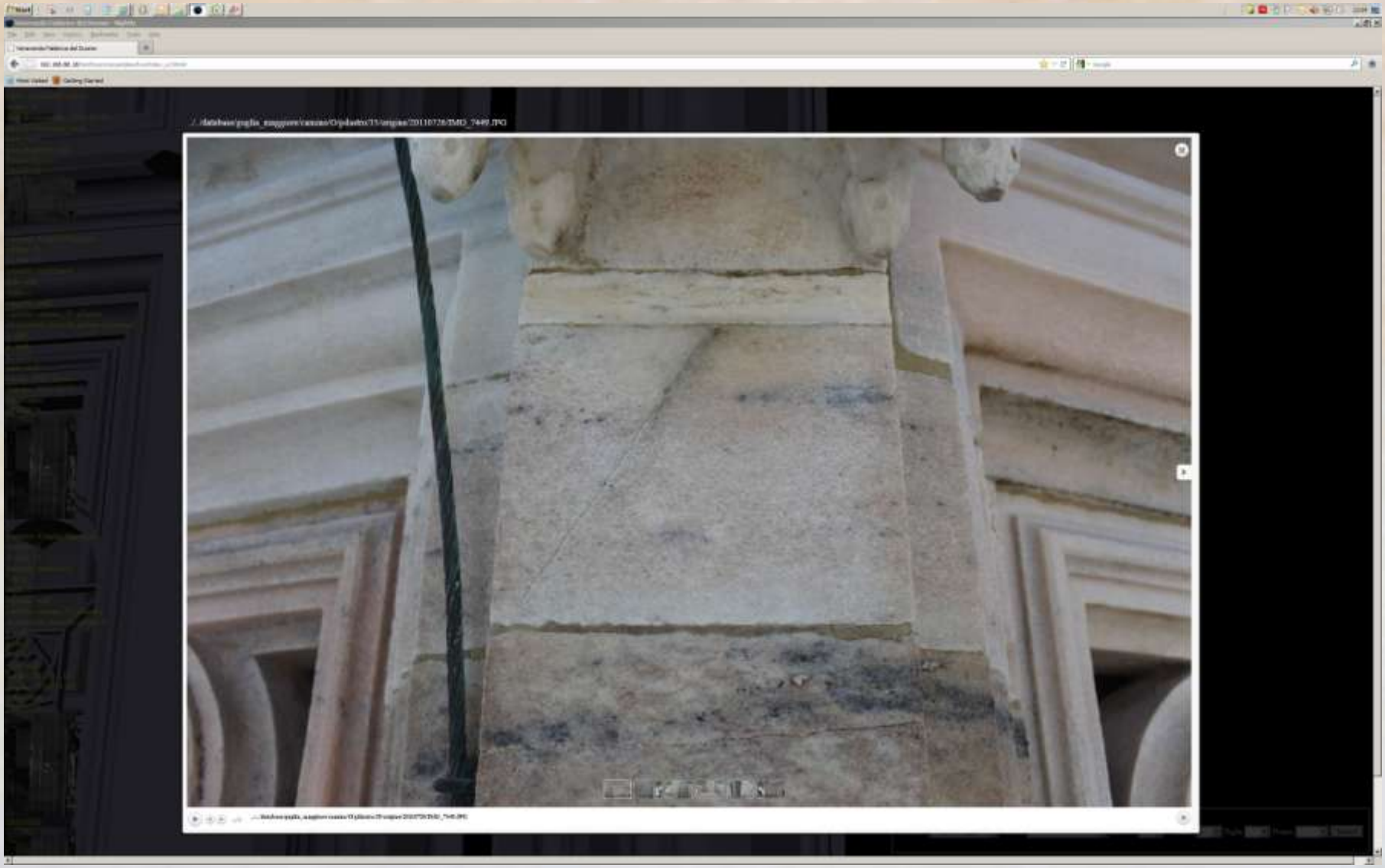
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

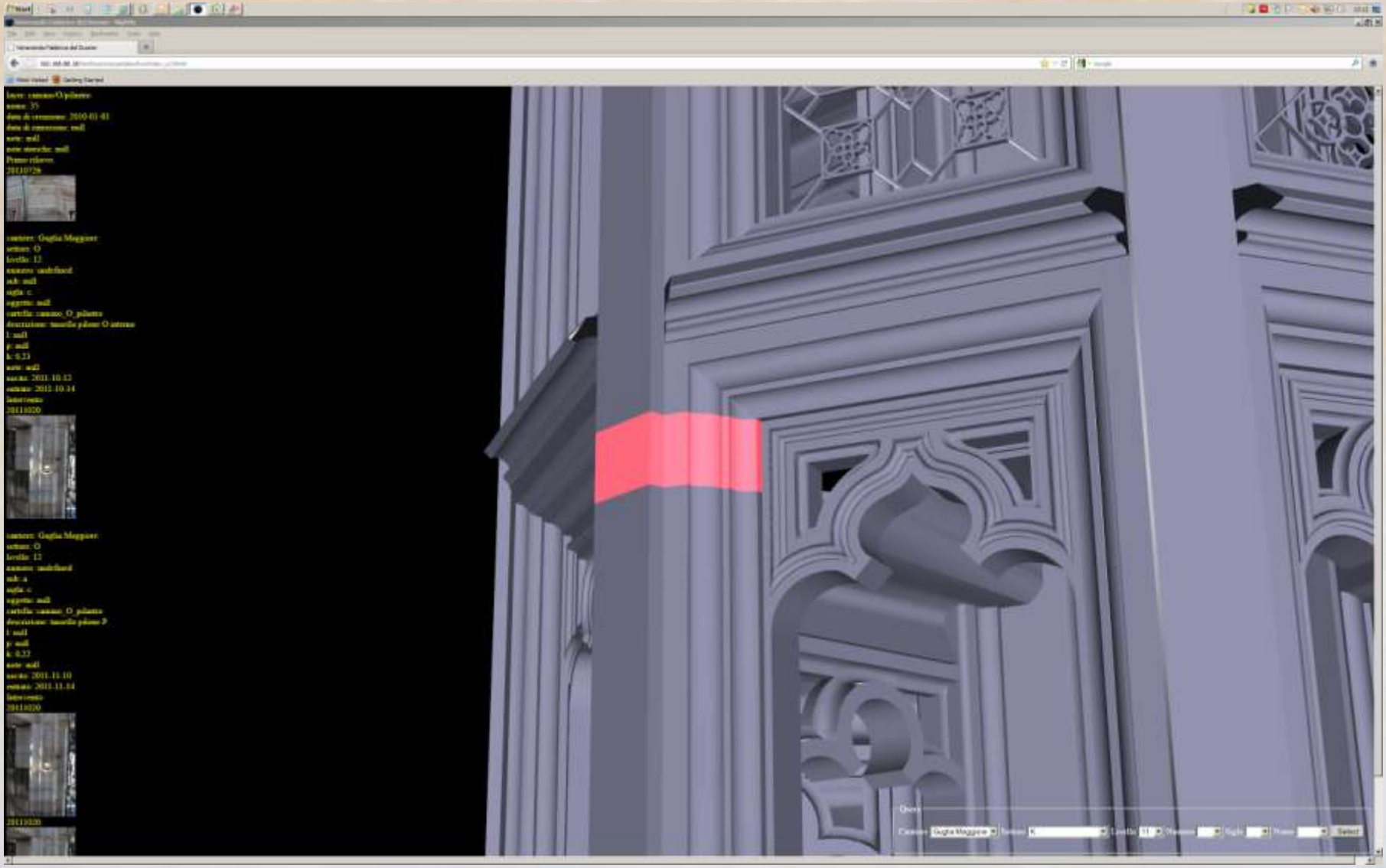
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

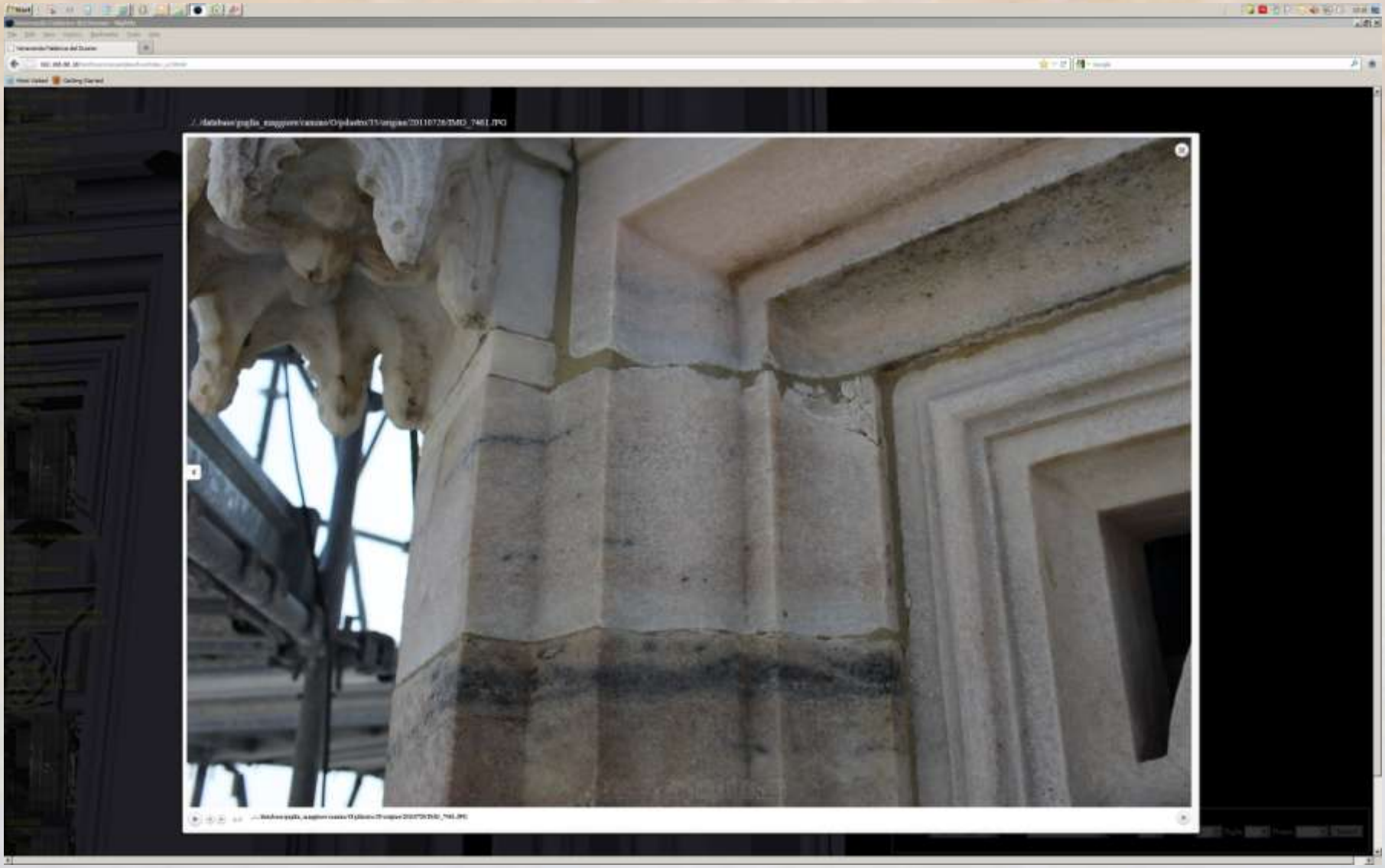
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

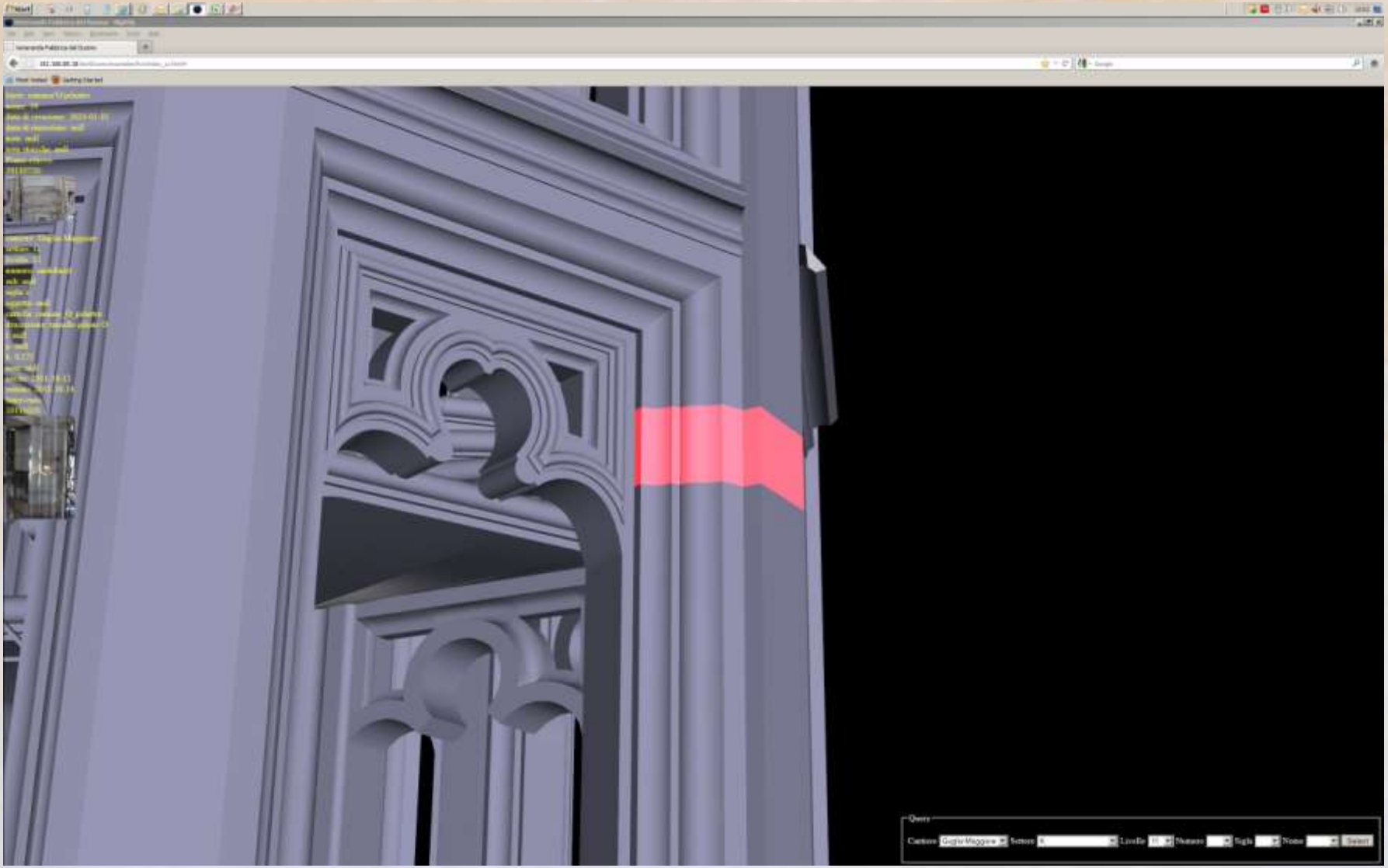
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

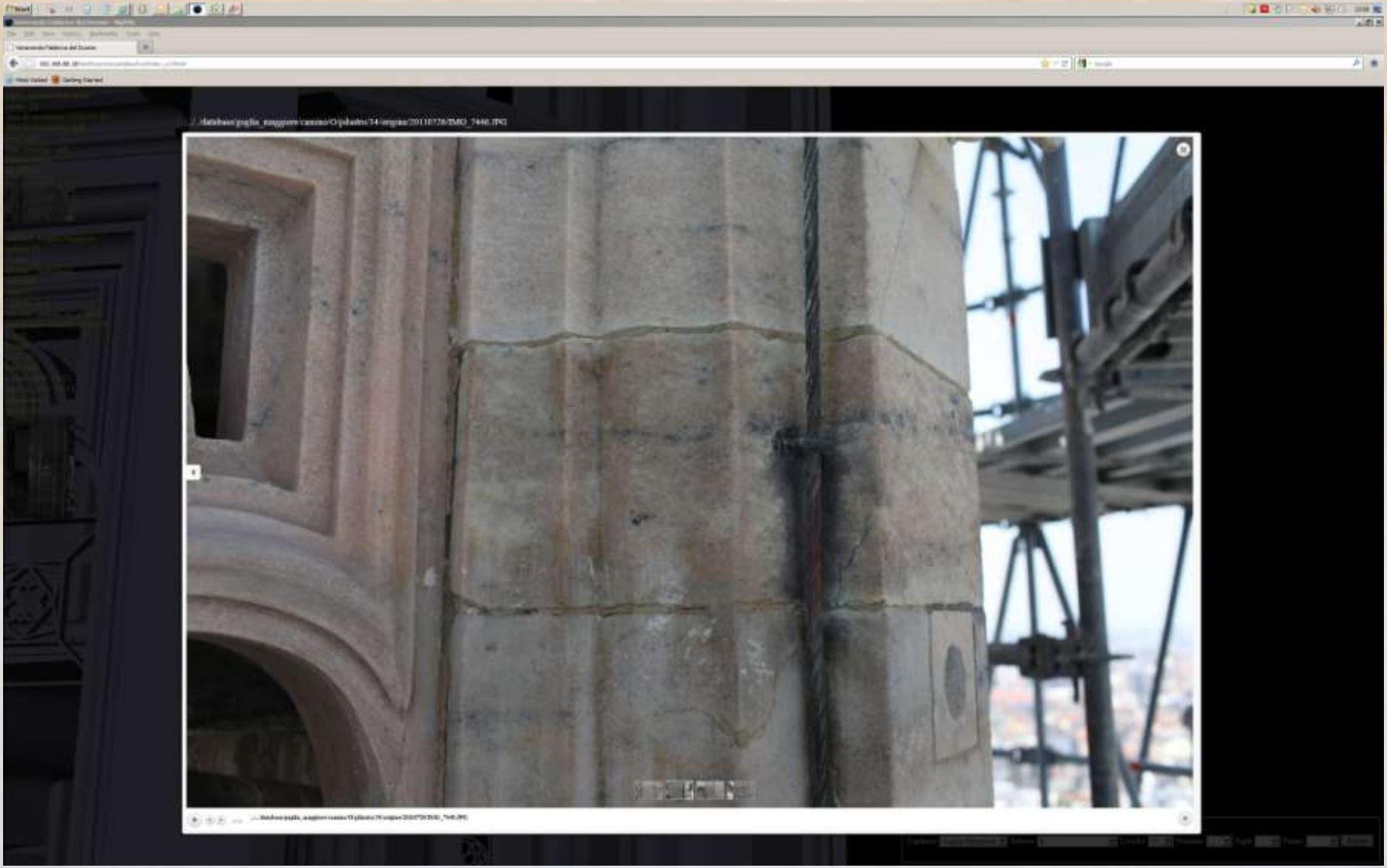
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

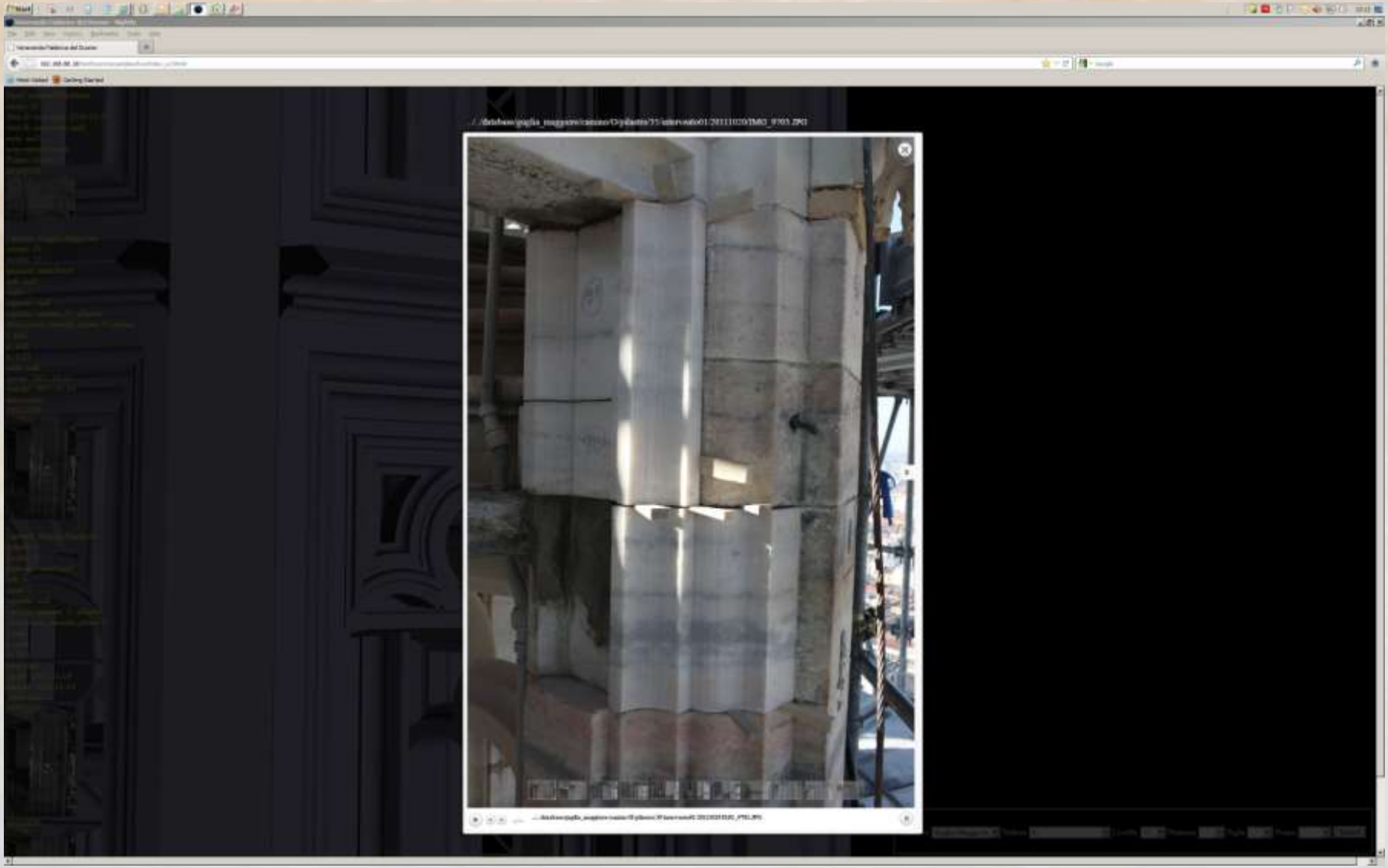
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

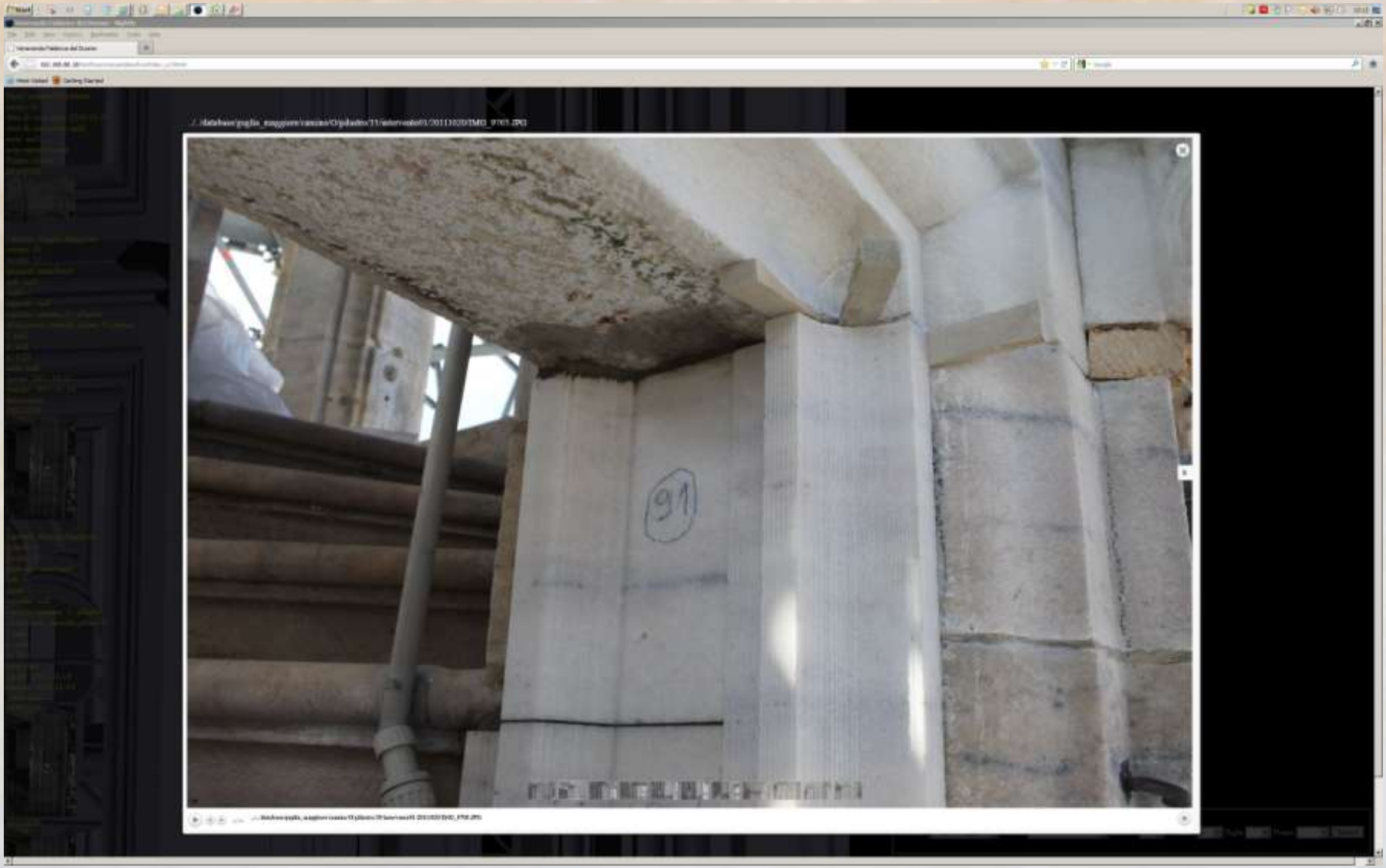
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

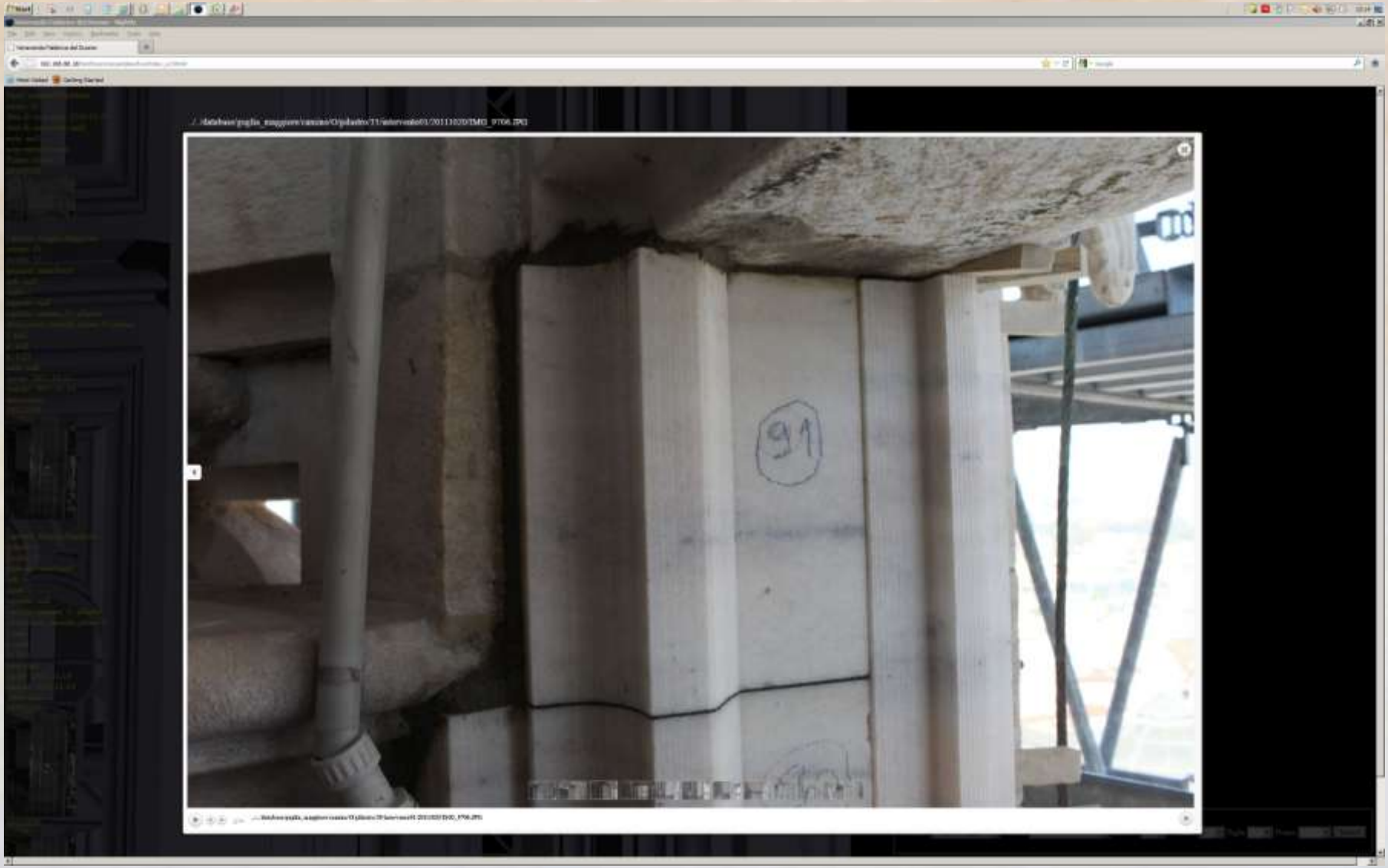
MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

DESCRIZIONE INTERVENTO E ARCHIVIO DI CANTIERE PERMANENTE

MODELLO 3D: 9.000 ELEMENTI (CONCI)

	Cantiere	riferimenti modello 3d	Sett.	Liv.(piani)	n°progress.cant		nome3d	sigla	Descrizione	L	P	H	Note	Uscito	Entrato
29	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	13°	25		40	c	tassello pilone O			42,00		2011-09-08	2011-09-14
40	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	56	a	55	c	tassello pilone O			22,00		2011-11-10	2011-11-14
41	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	56	b	55	c	tassello pilone O			18,50		2011-11-10	2011-11-14
59	GUGLIA MAGGIORE	camino_NO_archetto	NO	12°	54		12	c	archetto triforo NO						
76	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	69	a	30	c	tassello interno scala pilone O			15,00		2011-11-16	2011-11-22
77	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	69	b	30	c	tassello interno scala pilone O			37,40		2011-11-16	2011-11-22
96	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	88		33	c	tassello pilone O			24,60		2011-10-10	2011-10-12
97	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	89		34-35	c	tassello pilone O			35,50		2011-10-10	2011-10-12
98	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	90		34	c	tassello pilone O interno			12,50		2011-10-12	2011-10-14
99	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	12°	91		35	c	tassello pilne O interno			23,00		2011-10-12	2011-10-14
103	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	10°	95		22	c	tassello pilone O			23,20		2011-11-28	2011-11-30
104	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	10°	96		24	c	tassello pilone O			21,70		2011-11-05	2011-11-09
132	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	10°	124		23	c	tassello pilone O						
133	GUGLIA MAGGIORE	camino_O_pilastro	O	10°	125		23	c	tassello pilone O			47,20		2012-01-13	2012-01-16

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

STATO DI DEGRADO DELLE CATENE: CORROSIONE

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

STATO DI DEGRADO DELLE CATENE

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

NUOVE CATENE IN TITANIO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

POSA NUOVE CATENE IN TITANIO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

POSA NUOVE CATENE IN TITANIO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

POSA NUOVE CATENE IN TITANIO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

POSA NUOVE CATENE IN TITANIO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

POSA NUOVE CATENE IN TITANIO

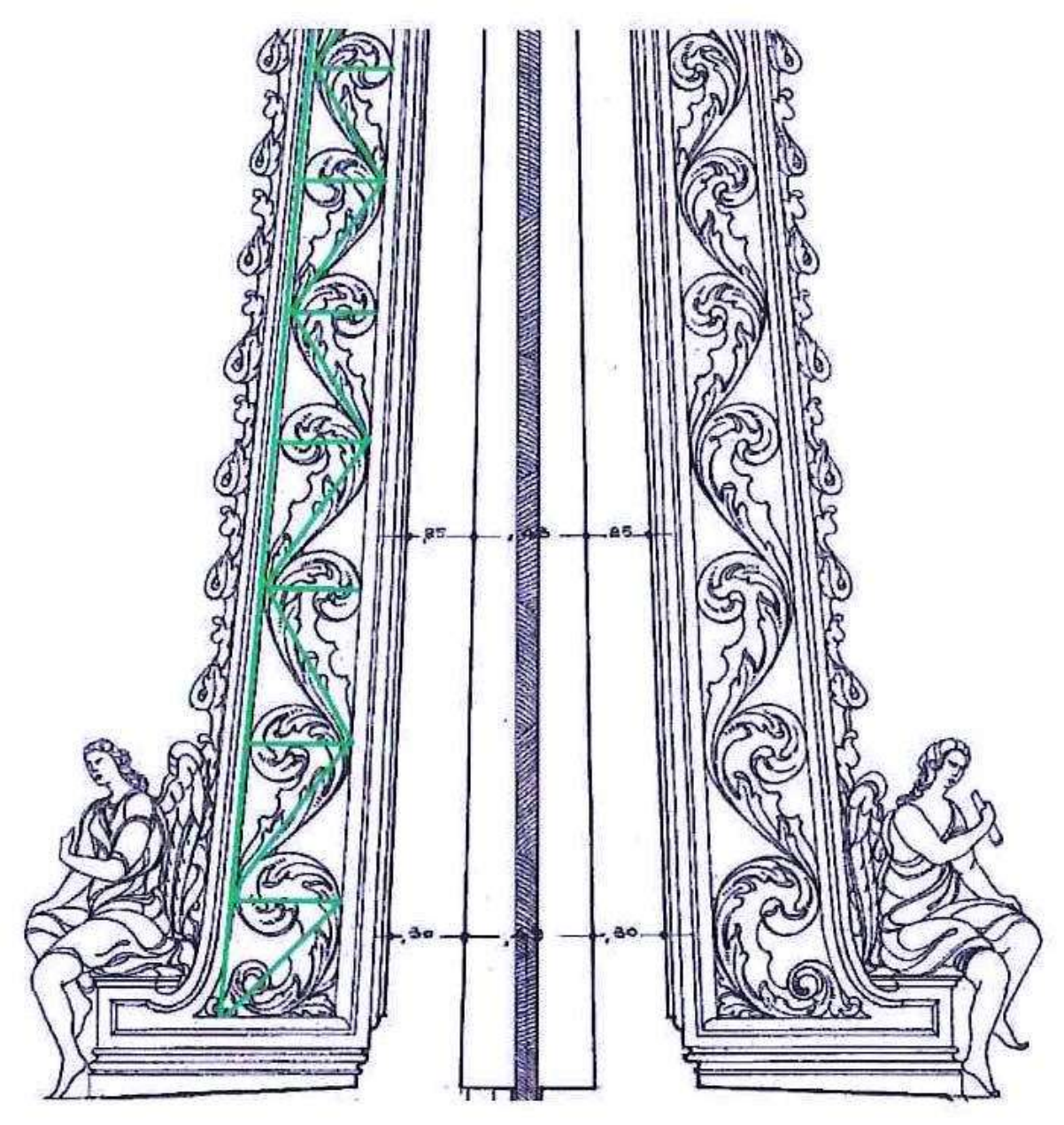
RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

POSA NUOVE CATENE IN TITANIO

VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE



VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

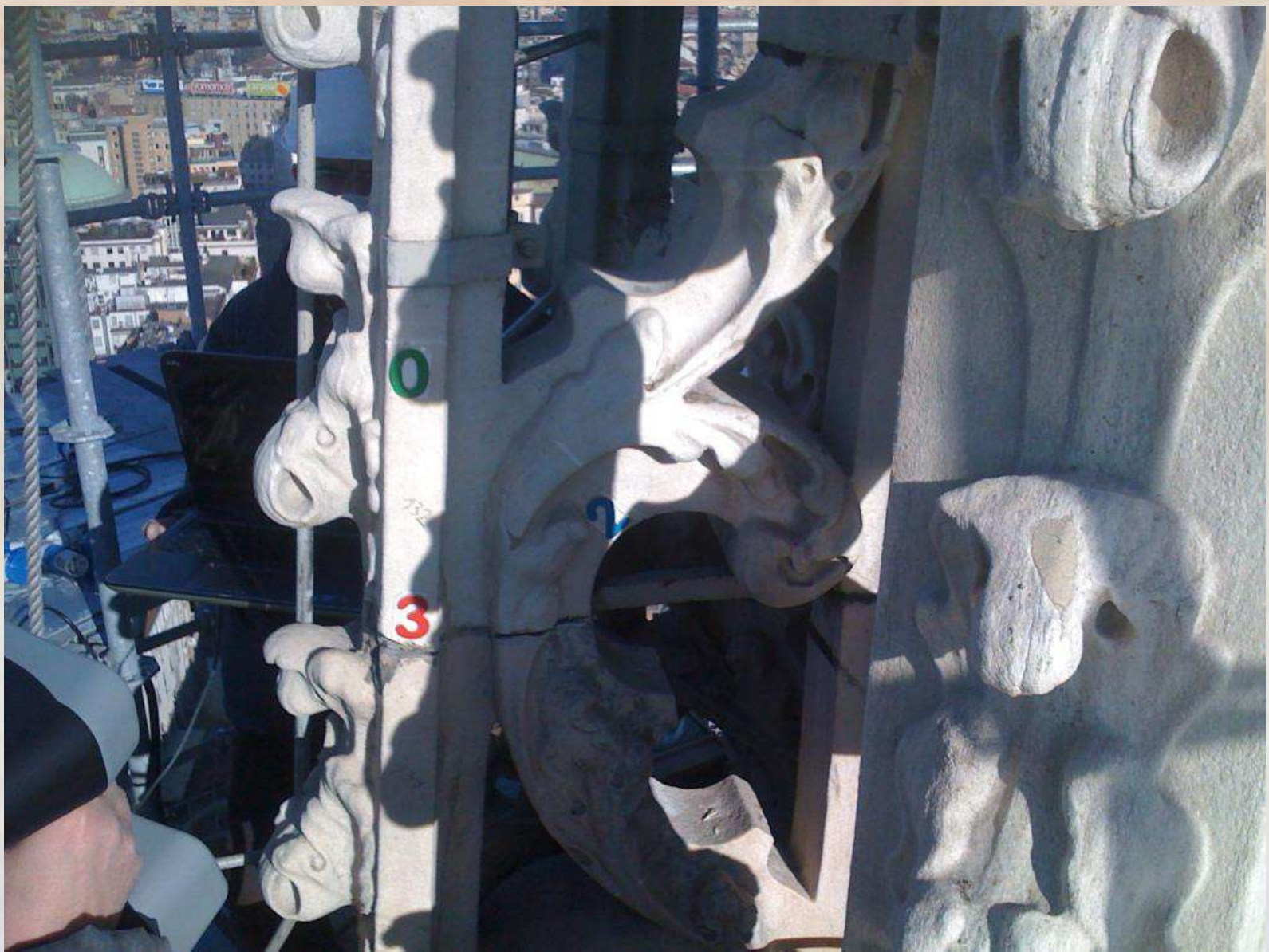
RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE

INDIVIDUAZIONE PUNTI TERMINALI TRAMITE AFFISSIONE DI MARKER REMOVIBILI

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE

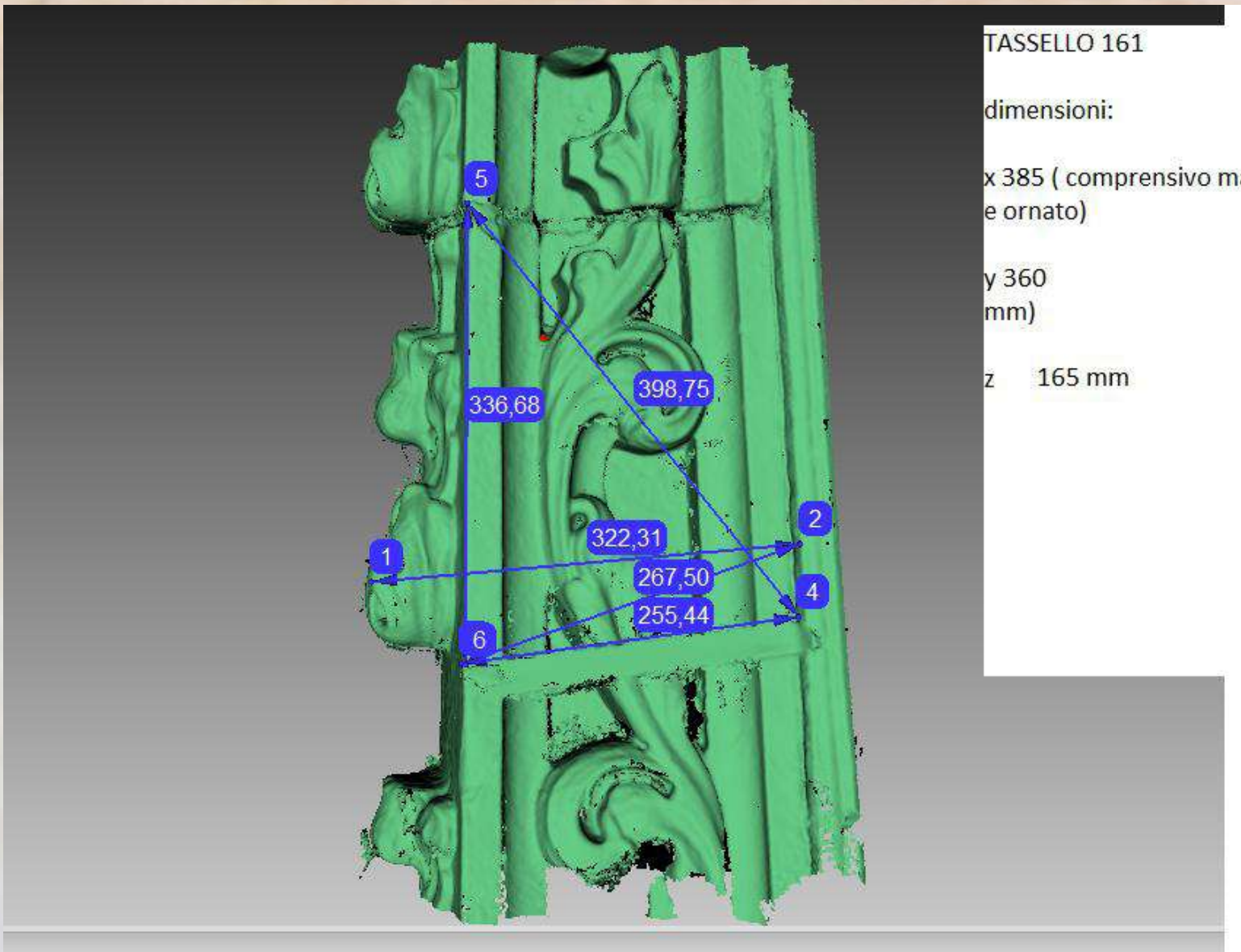
NUVOLE DI PUNTI PER LA VOLUMETRIA 3D



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE

RICOSTRUZIONE TRAMITE SOFTWARE DI MODELLAZIONE VIRTUALE



TASSELLO 161

dimensioni:

x 385 (comprensivo maschio 60 mm e ornato)

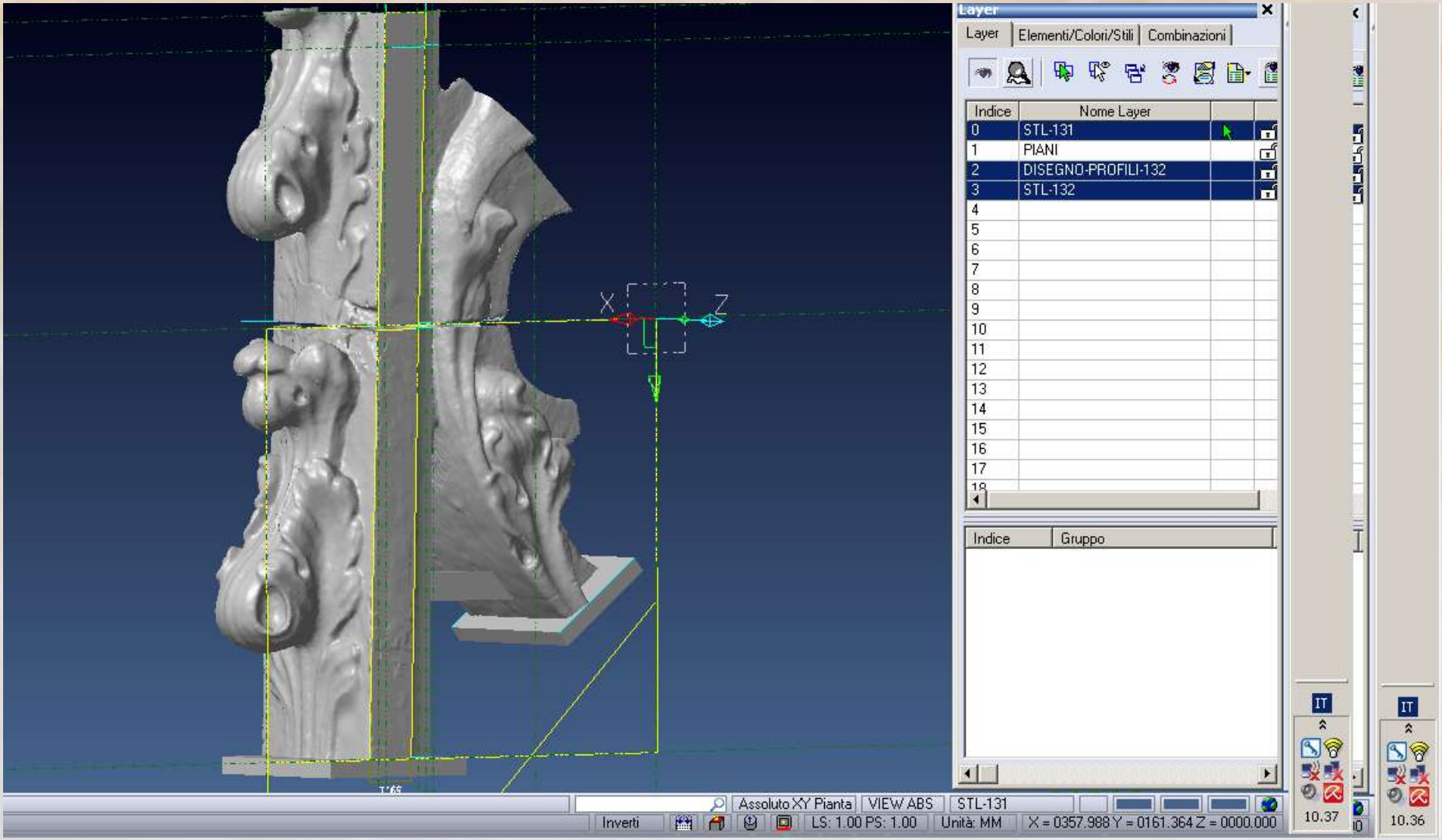
y 360 mm)

z 165 mm

RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

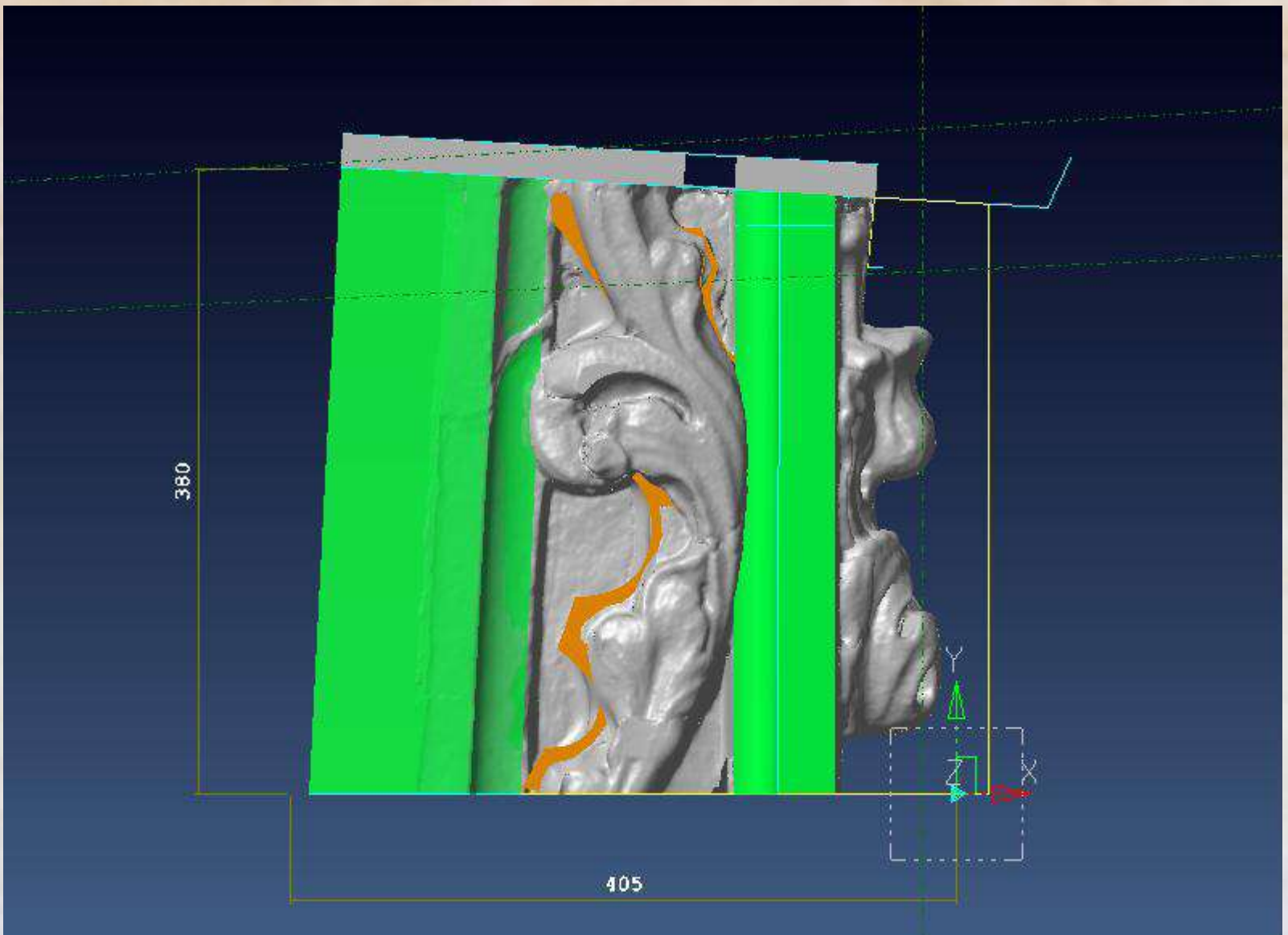
RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE

VALUTAZIONE DIMENSIONALE GENERALE E CALCOLO TASSELLATURE



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

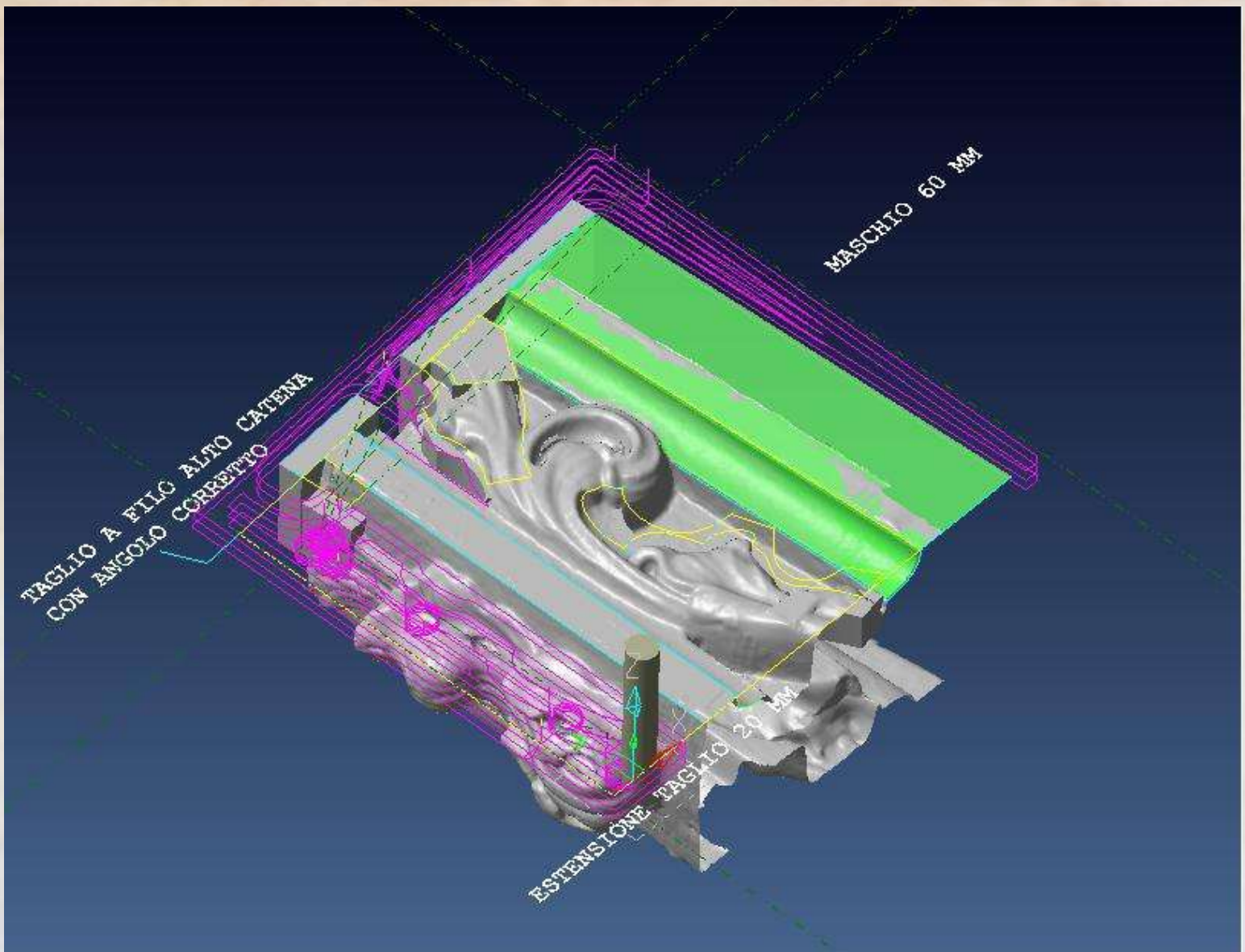
RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE
CORREZIONE GEOMETRIE ATTRAVERSO SOFTWARE CAD



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE

ELABORAZIONE FASI DI CALCOLO CAM PER LAVORAZIONE



RESTAURO GUGLIA MAGGIORE

RIPRODUZIONE TASSELLI CUSPIDE
LAVORAZIONE A CONTROLLO NUMERICO

STABILA

GEN
MOB

CICLO DELLA CONSERVAZIONE DEL DUOMO

MANUTENZIONE E CONSERVAZIONE DEL DUOMO

MONITORAGGIO STATO DI CONSERVAZIONE

PROGRAMMAZIONE INTERVENTI (CANTIERI)

MODELLAZIONE E ALTRE VERIFICHE PRELIMINARI

ESECUZIONE INTERVENTI

MONITORAGGIO IN CONTINUO DELLA SITUAZIONE

CONCLUSIONE INTERVENTO

VERIFICA RISULTATI E MONITORAGGIO DEL DEGRADO

PROGRAMMAZIONE NUOVO INTERVENTO

NUOVO MODELLO DI CONSERVAZIONE:
INTEGRAZIONE TRA MONITORAGGIO E PROGRAMMAZIONE

NUOVO MODELLO DI CONSERVAZIONE

INTEGRAZIONE TRA MONITORAGGIO E PROGRAMMAZIONE

↓

SISTEMA PERMANENTE DI MONITORAGGIO

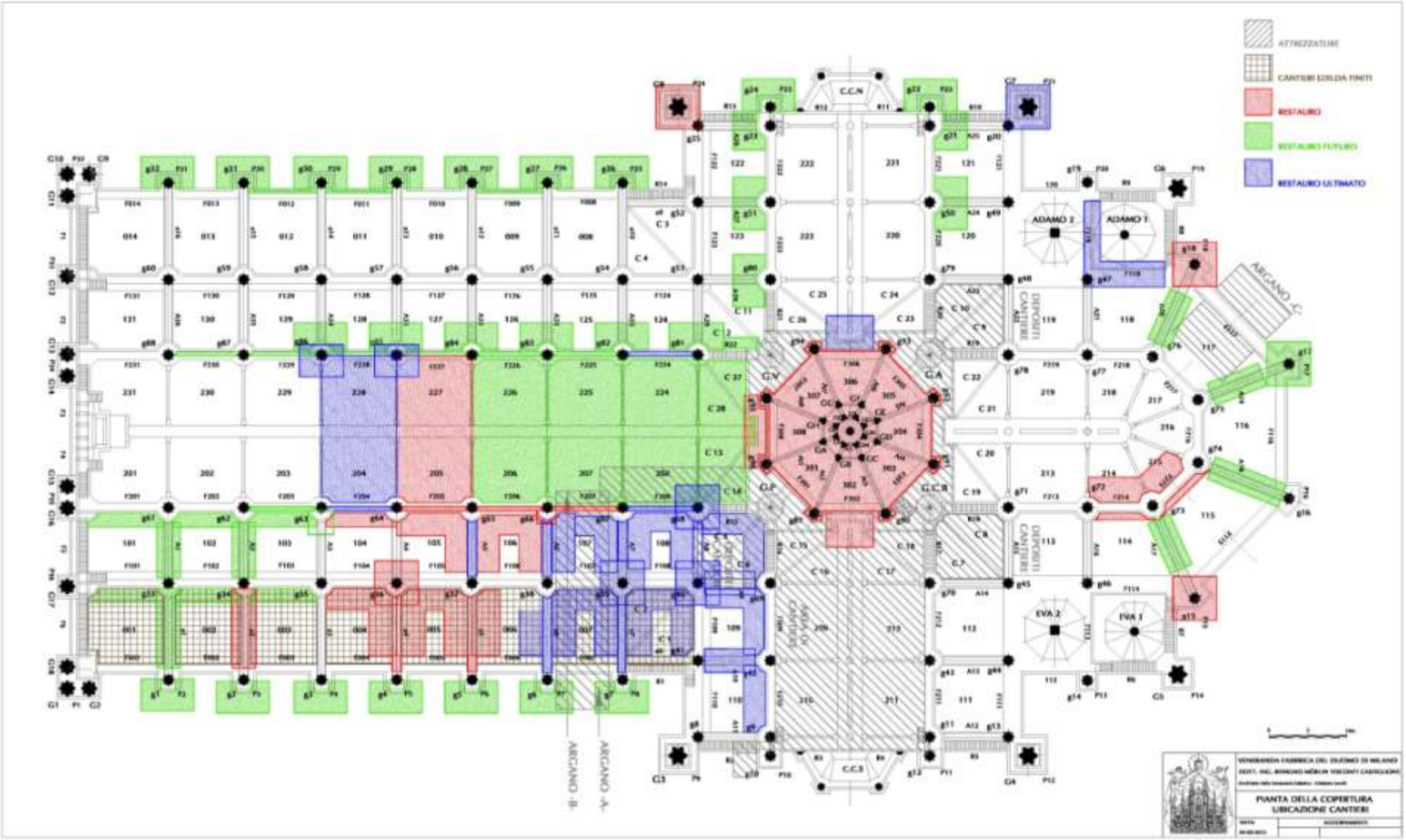
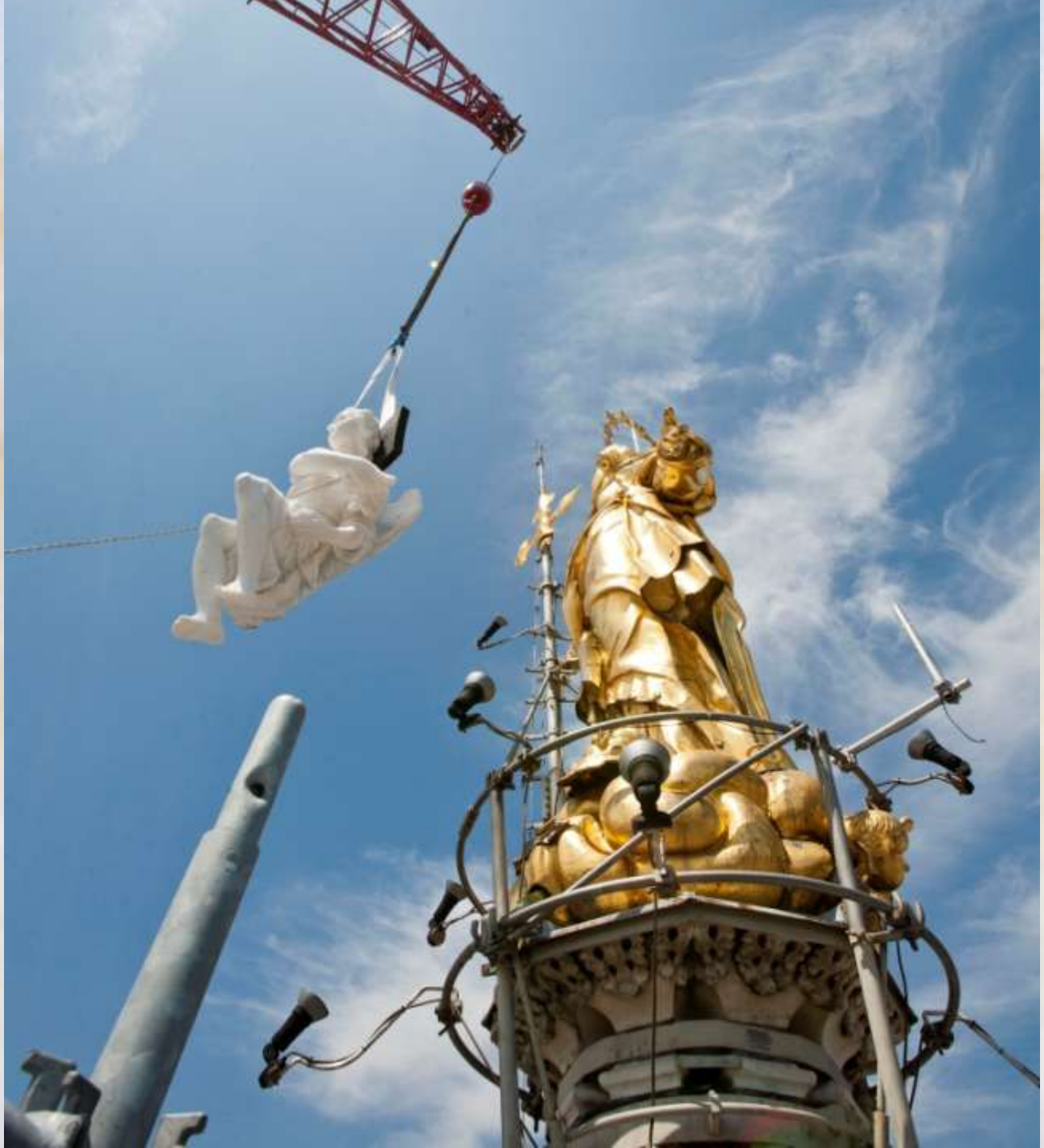
↓

INTERVENTI DI MANUTENZIONE E CONSERVAZIONE

TEMPESTIVI

MIRATI

CIRCOSCRITTI

MENO LUNGHI E COSTOSI

PROGRAMMA INTERVENTI RESTAURO ESTERNO DEL DUOMO 2012 - 2016