

L'ACCIAIO INOSSIDABILE NEL CONSOLIDAMENTO DELLE STRUTTURE

Lorenzo Jurina

Ingegnere, Professore associato di Tecnica delle Costruzioni, Politecnico di Milano

Marco Jadiccio Spignese

Architetto, specializzando alla Scuola di Specializzazione in Restauro dei Monumenti, Politecnico di Milano

Introduzione

L'utilizzo dell'acciaio nel consolidamento delle strutture, è una delle scelte possibili nell'articolato e spesso confuso panorama dei materiali che ci vengono proposti per l'intervento di "risanamento" strutturale, nel quale alcune tecnologie vengono presentate come cure miracolose. Nella conservazione degli edifici di valenza storica la scelta dell'acciaio ed in modo particolare dell'acciaio inox, sta assumendo un ruolo centrale e ciò a buona ragione per tutta una serie di evidenti vantaggi: ridotto ingombro, costi contenuti, grande resistenza, immediata riconoscibilità e reversibilità dell'intervento e da ultimo una durabilità confrontabile con quella della struttura che lo contiene.

Viene spesso paventata una presunta incompatibilità dell'acciaio con i materiali che fanno parte della fabbrica storica. Se ne critica spesso, e talora senza ragione, la differente rigidità e la ridotta durabilità nel tempo. Riguardo alla rigidità è certamente vero che, come materiale, l'acciaio è più rigido della muratura (vale a dire a parità di parametri geometrici si deforma meno della muratura) ma è da osservare che le quantità di nuovo materiale in gioco sono assolutamente ridotte rispetto a quelle del materiale originario. La rigidità globale non può risultare pertanto particolarmente diversa da quella globale della struttura prima dell'intervento.

Riguardo alla durabilità, si deve riconoscere che nel recente passato, e talora anche oggi, l'uso improprio del materiale acciaio, soprattutto se poco protetto, ha portato a fenomeni gravissimi di degrado a danno del materiale stesso e della fabbrica nel quale è stato utilizzato. Questo però non significa che non si possa utilizzare l'acciaio nel consolidamento di edifici monumentali; significa solo che in certi casi è stato usato male, come è successo con tutti gli altri materiali impiegati nel consolidamento, legno, calcestruzzo ed oggi i materiali sintetici di varia natura.

L'acciaio in generale non solo è compatibile con l'edilizia storica da un punto di vista sia di resistenza che di rigidità ma, nel particolare caso dell'acciaio inox, anche il pregiudizio della scarsa durabilità risulta del tutto infondato.

Dal medioevo in poi l'impiego di catene, cerchiature, grappe ed elementi metallici di connessione si è diffuso come soluzione privilegiata per assorbire gli sforzi di trazione prodotti dalla componente orizzontale delle forze negli archi e nelle cupole, oppure per migliorare collegamenti difettosi o per ripristinare quelli del tutto mancanti. Esempi illustri si possono rintracciare in numerosi monumenti del passato. Si pensi alle componenti metalliche adottate per la cupola di S. Maria del Fiore nel progetto di Brunelleschi; si pensi ai molti interventi del passato per gli incatenamenti di archi e volte spingenti o per la cerchiatura di colonne fessurate.

La scelta di componenti metalliche, sia in interventi di consolidamento a posteriori, sia all'atto stesso della costruzione della fabbrica, ha frequentemente caratterizzato l'edilizia storica.

Sostenere l'incompatibilità tra acciaio e muratura è quindi una forzatura contraddetta dalla presenza stessa degli edifici storici.

Superato questo pregiudizio, fortunatamente sempre meno presente nel mondo del restauro e della conservazione, quello che interessa è invece dimostrare come l'acciaio sia un materiale capace di risolvere, con efficienza e talora con eleganza, gran parte dei problemi statici.

Alcune premesse importanti

La *prima osservazione* da formulare è che il consolidamento di un manufatto storico, deve essere inteso quale azione non fine a se stessa, ma parte di un processo più ampio che potremmo chiamare “la pratica della conservazione”.

Questa pratica deve essere dichiarata nei suoi principi. Si deve anzitutto accettare lo stato di fatto del dato storico (edificio è la fonte prima di conoscenza), quale testimonianza significativa nella sua complessità, ed è quindi necessario massimizzare una conoscenza globale, attribuendo pari valore, pari dignità, pari importanza e pari diritto di tutela a tutte le componenti e le testimonianze materiali presenti nella fabbrica. Le ipotesi di intervento non saranno quindi determinate da formulazioni generalizzanti e aprioristiche, ma saranno determinate solo attraverso osservazioni e analisi puntuali, specifiche, di tipo indiziario - diacronico. In altre parole si sottolinea l'importanza di un approccio conoscitivo del **singolo** oggetto, inteso come *unicum irripetibile*.

La *seconda osservazione* è direttamente conseguente. Il consolidamento, inteso sia come intervento singolo ed eccezionale, oppure come parte di una ampia gamma di interventi pensati per un edificio, deve essere organizzato con un approccio conoscitivo e scientifico dei fenomeni di degrado e dissesto per valutare **se e dove** si riscontri una effettiva esigenza di intervento.

*“[...] è possibile esercitare il massimo rispetto della conservazione, limitando le operazioni al minimo indispensabile e fermandole “prima del giusto” [...]”*¹ al fine di minimizzare l'impatto dell'intervento, scegliendo la soluzione maggiormente compatibile e rispettosa dello stato di fatto.

La conservazione è quindi un obiettivo al quale tendere, un metodo che deve accompagnare le indagini, la conoscenza, le scelte progettuali, comprese quelle legate alla manutenzione.

In quest'ambito diventa maggiormente significativo il dettaglio di per se stesso piuttosto che la sua verifica con astratti modelli di carattere generale.

L'insostituibilità si applica ad un oggetto in nome della sua individualità, in ragione degli elementi di cultura materiale, per la sua storicità, per il fatto di essere relazionabile ad altri eventi, perché studiabile attraverso altre forme di lettura.

Si ritiene quindi che nella formulazione di un progetto di consolidamento sia indispensabile il raggiungimento di **alcuni obiettivi** che garantiscano la massimizzazione del rispetto dell'opera, essendo al contempo coscienti che qualsiasi tipo di intervento è per sua natura una modificazione dell'opera stessa.

Si espongono di seguito alcuni di questi obiettivi:

- 1. Massimizzare la permanenza della materia autentica**, limitando le trasformazioni (demolizioni, sostituzioni, ripristini, etc.) allo stretto necessario in base alla sola necessità di posticipare i fenomeni indotti dal degrado e/o dal dissesto, ossia, in altre parole, “intervenire per necessità comprovata”;
- 2. Riconoscere la variabile tempo come un segno positivo** capace di aggiungere valore e non sottrarlo alla fabbrica, la quale deve essere intesa come palinsesto sul quale si stratificano significati differenti, la memoria storica stessa.
- 3. Utilizzare conoscenze oggettive, puntuali e strettamente correlate all'edificio** o alla situazione patologica specifica ;
- 4. Formulare decisioni solamente sulla scorta di valutazioni tecniche** supportate da una conoscenza approfondita e mai in base a soli giudizi storici, critici, od estetici ;
- 5. Realizzare** (per quanto possibile) **interventi riconoscibili e reversibili** (soprattutto per patologie di dissesto) **che siano un'aggiunta o che affianchino l'esistente**, al fine di rendere possibile nel tempo il controllo, il monitoraggio, ulteriori interventi manutentivi a scadenze

¹ Pratali Maffei S., “conservazione e manutenzione del costruito :Ipotesi e proposte per un Capitolato Speciale d'Appalto, tesi di dottorato di ricerca in Conservazione dei beni architettonici, facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, 1993,

programmate ed eventualmente la loro rimozione (si pensi ad esempio all'introduzione di nuove tecnologie, o di sistemi di maggior efficacia);

6. Stabilire un corretto programma di manutenzione nel tempo, finalizzato non ad interventi di sostituzione a scadenze prestabilite, quanto ad un monitoraggio attento, basato sull'osservazione e la conoscenza costante dell'evoluzione dei fenomeni nel tempo, realizzabile con controlli da effettuare sull'intero edificio e sulle singole parti, al fine di prevenire possibili situazioni a rischio (cultura della manutenzione). La finalità ultima è insomma quella di rallentare il processo di invecchiamento dell'edificio .

Sulla scorta di queste valutazioni, si deve determinare la scelta dell'intervento e della tecnologia che meglio soddisfa il raggiungimento di questi obiettivi.

L'acciaio, e in particolare l'acciaio inox, consente interventi capaci di affiancare l'esistente, permettendone la lettura. Senza alcuna sostituzione e sottrazione si può intervenire con un'aggiunta riconoscibile (il concetto di "stampella"), caratterizzante e facilmente rimovibile e quindi reversibile. Stai poi alla capacità progettuale inventare soluzioni esteticamente piacevoli e ben armonizzate con l'insieme.

Il materiale acciaio favorisce naturalmente anche questa possibilità di uso compositivo delle aggiunte, permettendo ingombri minimi in ragione della notevole resistenza.

Alcune soluzioni di consolidamento innovative, come quella proposta da uno degli autori con il nome di "arco armato" (utilizzata in alcuni esempi che sono di seguito proposti), sono state possibili solo grazie alle possibilità offerte dal materiale acciaio. /rif.1/

Gli interventi che saranno di seguito illustrati, debbono essere intesi non solo come esempi di utilizzo dell'acciaio nel consolidamento, ed in modo specifico dell'acciaio inox, ma anche come scelte progettuali specifiche che hanno di volta in volta "individuato" la soluzione ritenuta ottimale per quel caso specifico, considerando tutte le valenze derivanti da un approccio attento alla realtà complessiva della fabbrica.

L'acciaio inossidabile

L'acciaio è una lega di ferro e carbonio ($\leq 2\%$) suddiviso in due grandi categorie, l'acciaio non legato e l'acciaio legato. L'inox fa parte degli acciai legati.

Quando alla lega ferro e carbonio si aggiunge il cromo (nella percentuale minima dell'11%), entriamo nel campo degli acciai definiti impropriamente in italiano acciai "inossidabili".

La definizione è impropria in quanto l'acciaio inossidabile in realtà è ossidabile. La sua protezione deriva infatti dalla capacità che ha il materiale di creare una pellicola superficiale di pochi micron, che si rinnova e si ricostruisce, capace di proteggere dall'ossidazione e quindi dal degrado, gli strati profondi. Questa pellicola si genera a contatto con l'aria e quindi per ossidazione.

Abbiamo appena definito un concetto importante: l'acciaio inox si "automantiene".

E' naturalmente una definizione provocatoria e non vera in assoluto, ma che determina di per se uno dei motivi di scelta di questo materiale.

Esistono tre grosse categorie di acciai inox :

- inossidabili martensitici (13% cromo) – serie 400;
- inossidabili ferritici (17% cromo) – serie 400;
- inossidabili austenitici (18% cromo, ma anche nickel e per alcuni molibdeno) – serie 300

L'acciaio che viene utilizzato negli interventi di consolidamento di seguito proposti è, nella maggior parte dei casi, l'acciaio inox AISI della classe 300 (AISI 316).

E' un tipo di acciaio molto resistente a trazione e lavorabile a freddo, ma la sua principale caratteristica è appunto la **durabilità** a fronte di limitati accorgimenti.

Uno di questi è, come sempre, l'attenzione al modo di uso, evitando contatti galvanici con altri metalli, in particolar modo zinco e alluminio ed in genere i materiali anodici, essendo l'inox un

materiale catodico. Altra attenzione è quella di favorire il contatto con l'aria, questo perché la sua "inossidabilità" deriva appunto dalla sua limitata ossidabilità.

Ulteriore attenzione va riservata alla fase di saldatura, ove prevista, perché la saldatura costituisce un momento di "indebolimento" del materiale.

L'intervento di consolidamento in funzione dei costi

Ogni intervento che viene previsto su un edificio, deve sottostare ad uno dei parametri che incidono maggiormente sulla scelta della soluzione finale, vale a dire **il costo**.

E' importante quindi ottenere gli obiettivi indicati in premessa, con il minimo impatto economico sulla committenza, anche se la variabile più importante deve essere la conservazione del Bene Culturale.

Le strade per arrivare a questo obiettivo sono fortunatamente molteplici ed è possibile perseguirlo anche contenendo i costi senza diminuire la qualità estetica degli interventi.

Da questo punto di vista, un intelligente utilizzo dell'acciaio determina risposte del tutto soddisfacenti. I costi dell'acciaio normale sono competitivi nei confronti di ogni altro materiale da costruzione e quelli dell'inox sono valutabili in un rapporto di circa 3,5:1, rispetto ad un acciaio comune, a fronte di un ciclo di vita e una durabilità notevolmente superiori.

Il trasporto dei singoli componenti è semplicissimo e consente di arrivare in luoghi difficilmente accessibili con mezzi ingombranti e tecnologie differenti da quella proposta.

Il trasporto dei singoli componenti è semplice e consente di arrivare in luoghi difficilmente accessibili.

Nel settore della conservazione di Beni Storici ci si deve confrontare con materiali che hanno un ciclo di vita lunghissimo e una durabilità che ha permesso al monumento di attraversare i secoli.

Nel momento in cui si interviene su un edificio (sia esso di edilizia "minore" o un monumento) ci si deve porre una serie di obiettivi (quelli indicati nella premessa) tra i quali quelli della durabilità dell'intervento nel tempo e quello della manutenzione.

Non è possibile in sostanza pensare ad interventi che abbiano un'aspettativa di vita 20/30 anni.

La soglia minima che ci si deve proporre è quella dagli 80-100 anni in su, proprio considerando la poca manutenzione che spesso viene dedicata all'edificio e alle sue componenti.

Sul lungo periodo il "cycle-cost" dell'acciaio inox è decisamente vantaggioso rispetto a quello di un acciaio normale, richiedendo poca manutenzione. Si pensi anche solamente al fatto che l'acciaio inox non deve essere verniciato e può restare esposto alle intemperie.

Alla luce della nuova normativa che richiama esplicitamente a considerare la durabilità degli interventi, prevedendo opportuni programmi manutentivi, i costi debbono essere intesi non sul breve ma sul lungo periodo e la fase di manutenzione ha costi che spesso sono maggiori di quelli di posa in opera.

Si pensi ad esempio ai costi di montaggio di un ponteggio o comunque di una struttura provvisoria, per effettuare operazioni di riverniciatura di componenti in acciaio a vista, considerando inoltre la necessità di ripetere l'operazione a cadenza regolare nel tempo.

Si consideri ancora l'impatto negativo che può avere nei confronti del monumento e della sicurezza, un materiale che sia abbandonato al suo degrado e quindi i costi che ne nascono.

Alla luce di quanto esposto, l'acciaio inox deve essere considerato un ottimo materiale da utilizzare nel settore del consolidamento degli edifici di valenza storica con elevate possibilità di successo statico, accompagnate da elevate potenzialità espressive.

A sostanziare le precedenti osservazioni desideriamo commentare brevemente alcuni interventi realizzati sul patrimonio storico, nei quali è stato determinante l'utilizzo di acciaio ed in particolare modo di acciaio inox.

Bisogna ulteriormente considerare che tali interventi sono caratterizzati tutti da una serie di specificità di seguito elencate, cui l'utilizzo dell'inox ha contribuito a dare risposta:

1. **L'aspetto manutentivo** - come parametro determinante da valutare già in fase progettuale, per definire la scelta finale dell'intervento.
2. **Il controllo nel tempo** - delle prestazioni del manufatto realizzato e il monitoraggio sia della nuova struttura aggiunta che dell'intero edificio, attraverso un approccio conoscitivo programmato.
3. **La conoscenza della struttura attraverso un modello "tarato"**, vale a dire un modello quanto più possibile rappresentativo del reale, in grado di aiutare a prevedere situazioni di degrado e/o dissesto nel tempo, di simularne gli effetti fisico-meccanici, di analizzare le risposte dell'edificio in termini di sicurezza, nonché di stabilire le "soglie" di intervento, ossia gli indicatori che portino ad una manutenzione sotto condizione.
4. **La metodologia progettuale** - che tende a risolvere i problemi "caso per caso", dove la definizione "caso per caso" non deve significare assoluta libertà di scelta, mancanza di metodo e di regole, ma all'opposto deve identificare un approccio sostenuto da una metodologia dichiarata, che supporti le varie fasi dell'iter progettuale, fino alla sua realizzazione ed oltre nel tempo.
5. **L'iterattività dell'approccio conservativo-manutentivo** - come indissolubile connessione tra le scelte supportate da una metodologia dichiarata e i risultati determinati dalla volontà di cercare e sperimentare strade nuove per rendere massimo l'ottenimento degli obiettivi metodologicamente stabiliti.

Alcune applicazioni

La Torre S. Dalmazio a Pavia

L'intervento di consolidamento ha previsto una struttura metallica, parte in acciaio al carbonio e parte in **acciaio inox**, perfettamente a vista e completamente rimovibile ma ubicata tutta all'interno della torre, in modo da non essere visibile all'esterno se non attraverso alcuni segnali discreti che la rendono percepibile. In altre parole si è realizzata "*una torre nella torre*". /rif.2/ (**vedi scheda n.1**)

La nuova struttura tiene in debito conto la cultura della conservazione e i dettami ad essa collegati quali l'adozione di un intervento di consolidamento che affianchi l'esistente (si potrebbe chiamarlo intervento "stampella", se questo termine non avesse implicazioni tanto negative), la reversibilità dell'intervento, la sua riconoscibilità storica. Il nuovo presidio collabora strutturalmente con la torre in muratura, dove il termine "collabora", deve essere inteso in un'ampia accezione. Oltre a fornire un aiuto statico rimuovendo parte dei carichi verticali e favorendo una maggiore resistenza a carichi orizzontali ed una maggiore duttilità, la nuova torre contribuisce alla effettiva possibilità di mantenere se stessa e la vecchia torre in muratura. All'interno della torre metallica infatti si è trovato spazio per realizzare un ascensore a cremagliera che, consentendo un'agevole accessibilità dello spazio interno, rende possibili i controlli e sicure e costanti le operazioni di manutenzione programmata.

Favorire l'accessibilità significa quindi sicuramente favorire anche la manutenibilità dell'opera.

L'aver creato all'ultimo piano un ambiente che permetta al contempo l'ispezionabilità della copertura e la possibilità di avere un punto di vista panoramico e suggestivo su Pavia, consente una maggior frequenza di entrata nella torre che viene spesso utilizzata come percorso didattico per scolaresche ed anche per professionisti del settore.

Detto per inciso, il problema della ridotta frequentazione dovuta a mutate condizioni o a scarsa accessibilità si evidenzia con frequenza nei campanili, dove la movimentazione automatica delle campane effettuata elettricamente dal basso, ha fatto diminuire in modo drastico le occasioni di sopralluogo nella cella campanaria, comportando ritardi deleteri nelle operazioni di manutenzione ordinaria.

L'accessibilità dunque è una componente importante della manutenzione, in quanto favorendo l'uso della struttura in tutte le sue parti se ne sollecitano gli interventi legati all'uso stesso, non fosse altro per quanto riguarda serramenti, copertura, finiture, che rappresentano fonti di innesco del degrado strutturale.

Nel progetto di consolidamento gli elementi in acciaio inox sono stati utilizzati per creare tiranti passanti nelle buche pontate, con la funzione di confinare lateralmente la muratura e di collegare tra loro i vari strati verticali di cui sono costituite le pareti. In altre parole il materiale più nobile ma più costoso è stato adottato in quelle zone che risultano più esposte all'aria e contemporaneamente a maggiore contatto con la muratura antica.

Il Castello Visconteo di Pavia

Il grande edificio del 1500 costruito a Pavia dalla famiglia dei Visconti presenta oggi, dopo molte vicissitudini, tre lati residui e due torri di spigolo, elementi ripetutamente restaurati modificati.

Agli inizi del '900 la Torre Sud-Ovest presentava un notevole degrado, con fessurazione e depressioni significative della grande volta a vela del primo piano. Nel 1925, su progetto dell'Annoni, è stato completamente rimosso il materiale di rinfiacco e di pavimento lasciando alla volta il solo compito di sopportare il peso proprio. Al di sopra della volta è stato realizzato un solaio in c.a., irrigidito da travi di nervatura incrociate ogni 200 cm circa, allo scopo di reggere i carichi accidentali. Per maggior prudenza (così almeno sembrava!) la volta in muratura era stata appesa al solaio in c.a. mediante venti barre metalliche, di lunghezza variabile tra 300 e 1500 mm e diametro di 30 mm.

Nel 1995 si è proceduto a realizzare la pavimentazione sul solaio rimasto al rustico per molti anni. Pochi mesi dopo il pavimento si è improvvisamente sollevato, fessurandosi in modo vistoso. L'ipotesi diagnostica formulata è che si fosse manifestato un cedimento viscoso del solaio in c.a. sottoposto a carichi permanenti di notevole entità che, abbassandosi, aveva chiamato ad una funzione strutturale il pavimento stesso, sottoponendolo a un "carico di punta" nel suo piano.

A riprova di questa ipotesi, una ispezione del vano compreso tra la volta e il solaio, ha rivelato che una parte dei 20 tiranti metallici "di sicurezza" si erano instabilizzati per carico di punta e quindi, una parte del solaio in calcestruzzo veniva a gravare sulla volta sottostante.

La prima operazione effettuata è stata quella di modificare il vincolo dei tiranti esistenti, trasformandolo da bilateri in monolateri. Si è permesso in altre parole che lavorassero solo come tiranti e non come puntoni. L'operazione è stata quella di eliminare il calcestruzzo che li inglobava superiormente, lasciandoli liberi di scorrere in altezza.

Restava il problema di realizzare una nuova struttura da affiancare al solaio esistente per limitare al massimo ulteriori cedimenti. Il problema da superare era rappresentato dall'esiguo spazio di soli 27 cm esistente in chiave tra la volta e il solaio, che non consentiva di introdurre strutture di sufficiente altezza strutturale.

La soluzione, come spesso capita, è stata quella di aggirare l'ostacolo. Si è creato un "anello ottagonale" del diametro di circa 500 cm in barre di **acciaio inox** e una struttura di barre e puntoni, anch'essa in **inox**, il tutto inserito nell'intercapedine tra l'estradosso della volta e il solaio orizzontale. /rif.3/ (**vedi scheda n.2**)

L'anello posto concentricamente alla volta ma ad una quota inferiore alla chiave, è stato utilizzato come punto in cui convergono otto coppie di tiranti inclinati provenienti dai bordi superiori del graticcio. L'anello serve quindi a garantire la continuità strutturale dei tiranti, consentendo di aggirare la parte alta della volta e rendendo possibile al contempo la corretta altezza strutturale. I cavi sono stati messi in trazione in modo uniforme e controllato, agendo sugli otto puntoni in acciaio inox. Una grossa vite di estremità consente di allungarli e di metterli in contrasto, appoggiandosi al superiore solaio in cemento armato.

Il criterio adottato per il dimensionamento destina al solaio in cemento armato il compito di sostenere i carichi accidentali, e alla nuova struttura in cavi il peso proprio delle travi e dei puntoni.

La possibilità di realizzare una struttura leggera, capace di adattarsi alla situazione dettata dal contesto è stata possibile proprio dalle risorse che l'acciaio mette a disposizione del progettista.

La scelta di utilizzare **acciaio inox** per tutta la struttura è finalizzata al discorso di durabilità che deve sempre essere tenuto in debita considerazione, anche nel caso in cui, come è avvenuto nel presente progetto, ci si adoperi per rendere accessibile e visitabile la struttura, garantendo così la sua manutenibilità.

La Cripta del Santuario del Sacromonte a Varese

Un problema che ha alcuni punti comuni col precedente si è presentato nel progetto di consolidamento della Cripta del Sacromonte di Varese.

L'attuale santuario è stato costruito nel 1600 sui resti di una preesistente chiesa, di cui è sopravvissuto il solo chiostro ipogeo che risale all'anno 1000.

Si tratta di un prezioso locale di 6x6 metri, con un lato arrotondato, finemente affrescato e coperto da nove volte a crociera di piccole dimensioni, poggianti su quattro esili pilastri centrali in pietra. Il primo altare in legno realizzato sopra il chiostro è stato sostituito nel 1700 da un imponente altare in marmo, del peso approssimativo di 70 tonnellate. Il rinforzo dei piastrini centrali con un incamiciamento in muratura, non è stato sufficiente a limitare i danni alla cripta e negli anni '30 si sono poste in opera due travi in acciaio, sostenute da sei nuovi pilastri tozzi in muratura che, pur salvaguardando la staticità delle volte, deturpano la cripta e ne impediscono una visione d'insieme. L'obiettivo progettuale proposto è quello di rimuovere le travi e i pilastri esistenti, senza pregiudicare la sicurezza delle volte e del soprastante altare. Nessuna nuova struttura può essere alloggiata nella cripta e nemmeno apparire a vista nel soprastante santuario. Naturalmente non si può prevedere alcuno spostamento della struttura sovrastante.

Resta quindi a disposizione lo spazio tra la base dell'altare e l'intradosso della cripta: 60 cm circa. Si è proposta allora una prima soluzione che consiste nella realizzazione di una "rete strutturale" in **cavi inox** post tesati al di sotto dell'altare. L'intervento è stato pensato come segue: si realizza anzitutto attorno all'altare un anello di contrasto in cemento armato al di sotto del pavimento, tale da fuoriuscire dai confini della cripta. Si seguono successivamente delle iniezioni di consolidamento dell'intercapedine tra cripta e altare ed in questo spazio, con un utensile a rotazione a testa orientabile, controllato con rilevatori magnetici, si realizzano delle perforazioni di piccolo diametro (70 mm) ad andamento parabolico, con una leggera monta di 40-50cm.

Nelle gallerie così ottenute si introducono cavi in acciaio inox, protetti da una guaina, che vengono poi tesati, trovando contrasto sull'anello in c.a.. /rif. 4/ (vedi scheda n.3)

Questa soluzione, benché tecnicamente realizzabile, comporta un uso delle attrezzature di scavo secondo modalità che non sono mai state sperimentate in precedenza e si è preferito allora analizzare altre due soluzioni alternative che mantenessero tuttavia le stesse caratteristiche, della prima: l'utilizzo della sola fascia di terreno tra la cripta e l'altare, l'esecuzione di piccoli cantieri ripetuti, in modo da potere monitorare i risultati via via raggiunti, e da ultimo la possibilità di un intervento di "tipo attivo", ossia capace di trasferire carico tra la vecchia e la nuova struttura di supporto, prima della rimozione dei sottostanti pilastri in muratura.

A)- Dopo un consolidamento del terreno mediante iniezioni di malta idraulica, si è prevista la realizzazione di 10 perforazioni orizzontali di diametro di 300 mm in ciascuna delle quali viene poi introdotto **un tubo in acciaio inox** della lunghezza di 6 metri, diametro 273mm e spessore di 7 mm, diviso in tre spezzoni giuntati. Dopo la posa di ciascun tubo, questo viene solidarizzato al terreno circostante mediante iniezioni di riempimento dell'intercapedine. Si realizzano poi due travi di appoggio in c.a., esterne al perimetro della sottostante cripta, in cui vengono inglobate le estremità dei tubi. All'interno dei tubi vengono disposti due trefoli prestirati, anch'essi in **acciaio inox**, che sono sagomati in forma parabolica. Al termine della posa in opera di tutti i tubi si procede alla tesatura progressiva dei trefoli, sotto monitoraggio continuo. I trefoli sono dimensionati per fare inflettere leggermente verso l'alto i tubi, in modo da fare loro assumere, al termine di tutta l'operazione, l'intero peso dell'altare, scaricando così i pilastri sottostanti.

L'operazione di tesatura dei trefoli viene ultimata, appena si osservi un minimo sollevamento dell'altare (controllato con puntatori laser) e solo a questo punto è possibile la rimozione delle precedenti strutture di sostegno.

Il meccanismo descritto consente periodiche ritesature dei cavi, suscettibili di rilassamento. Anche in questo caso l'utilizzo dell'acciaio ed in particolare modo dell'**acciaio inox**, ha reso possibile una soluzione innovativa realizzata in spazi ridottissimi.

B) - In alternativa al sollevamento dell'altare mediante inflessione imposta alle travi tubolari da cavi interni, è stata proposta la seguente soluzione: i tubi vengono ancorati alle travi in cemento armato

di estremità e queste ultime vengono sollevate mediante martinetti piatti posti all'intradosso. Anche qui il primo segnale di sollevamento dell'altare individua il momento in cui i sottostanti pilastri sono stati sgravati di carico.

Le volte del Castello Mediceo di Melegnano

In questo caso si trattava di ripristinare un sufficiente margine di sicurezza per le volte di alcune sale del castello Mediceo di Melegnano, nei confronti di un previsto uso pubblico.

La possibilità di ispezionare le parti nascoste ha messo in evidenza che la sostituzione effettuata nel passato delle catene lignee estradossali con catene metalliche posizionate alla quota di imposta della volta a padiglione, in numero inferiore rispetto alle originarie, non ha consentito il totale ripristino della capacità portante della volta e quindi della sua sicurezza.

Ciò è dovuto anche dalla permanenza delle catene lignee che intersecano la volta, interrompendone la continuità facendone diminuire la resistenza. Queste ultime sono state lasciate in opera dopo la loro dismissione strutturale. Questo fatto ha creato una sorta di **giunto** continuo tra varie porzioni contigue di volta che purtroppo non funzionano più in regime di monoliticità.

Tra porzione e porzione di volta viene così a crearsi una sconnessione che lascia sostanzialmente indipendenti le varie porzioni, ad affrontare i carichi che su di esse agiscono. La circostanza evidenziata è maggiormente importante nelle volte a "padiglione" che si comportano approssimativamente come due archi tra loro perpendicolari che vanno da parete a parete. A seguito della sconnessione indotta, uno dei due archi di scarico non può formarsi e quindi non collabora al sostegno dei carichi, siano essi pesi propri o pesi accidentali.

L'intervento ha previsto la ricostruzione della monoliticità della volta mediante demolizione a fasi alterne (cantieri di piccole dimensioni) della catena lignea e sostituzione con nuova muratura ammorsata a quella esistente.

Prima di questa operazione risulta necessario provvedere alla messa in sicurezza della struttura.

Questa usualmente viene fatta dal basso. Una serie di ragioni contingenti impediva questa possibilità. Anche in questo caso se la cosa non può farsi da un lato, si doveva cercare di aggirare l'ostacolo. La puntellazione realizzata operando nel locale soprastante alla volta, mediante utilizzo di funi in acciaio a formare una "catenaria" dalla quale pendono tiranti sub-verticali che attraversano le volte e le sostengono mediante l'utilizzo di un graticcio di ripartizione. Il contrasto orizzontale alle spinte esercitate dalla catenaria viene fornito dalle travi del solaio di sottotetto, in prossimità delle quali le catenarie si ancorano.

Per aumentare la portanza e la sicurezza delle volte è stata proposta una particolare tecnica di intervento che utilizza una serie di cavetti in **acciaio inox** estradossali, tra loro perpendicolari, secondo una tecnica definita tecnica dell' "arco armato". (**vedi scheda n.4**)

Questi cavetti sono collegati alle murature laterali con un sistema di barre filettate, redance, grilli, golfari, sempre in **acciaio inox**, e sono messe in trazione mediante un sistema di tenditori. La volta risulta così sostanzialmente sollecitata da carichi radiali che ne aumentano lo stato di compressione, rendendola maggiormente resistente alla presso-flessione indotta dai carichi accidentali e soprattutto da quelli non simmetrici.

Questa tecnica consente di raggiungere risultati uguali o talora superiori a quelli ottenibili con gli interventi tradizionali (cappa superiore in calcestruzzo collaborante), ma con modalità e rispetto della realtà materica e costruttiva dell'esistente del tutto differenti, dovuti alla sua limitata invasività.

La versatilità di impiego dell'acciaio, la sua resistenza e la durabilità propria dell' **inox**, ne fanno un sistema leggero, reversibile, poco invasivo, manutenibile con facilità e controllabile nel tempo (tesatura progressiva dei tiranti).

Sono così perseguibili tutti quegli obiettivi che debbono condizionare tutte le fasi di intervento sul costruito, anche l'intervento di consolidamento, fase che in molti casi rischia di rappresentare un momento di danneggiamento e perdita della realtà storica dell'edificio.

Bibliografia

1. L.Jurina “L’arco armato: una nuova tecnica di consolidamento di archi e volte in muratura con uso di tiranti metallici”, atti del XVI Congresso C.T.A., l’acciaio per uno sviluppo sostenibile, Ancona ottobre 1997.
2. Jurina L., Il consolidamento strutturale della Torre S.Dalmazio a Pavia, XV Convegno Naz. CTA, Riva del Garda, 1995
3. JurinaL., Demartini R., Pavia, Castello Visconteo (1926-1997) un “sostegno” per Ambrogio Annoni”, ANANKE, n.24, 1998
4. L. Jurina “ i tiranti metallici nel consolidamento degli edifici monumentali” atti del XVI Congresso C.T.A., l’acciaio per uno sviluppo sostenibile, Ancona ottobre 1997
5. Pratali Maffei S., “conservazione e manutenzione del costruito :Ipotesi e proposte per un Capitolato Speciale d’Appalto, tesi di dottorato di ricerca in Conservazione dei beni architettonici, facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, 1993,
6. G.Torraca “Problemi di conservazione delle superfici murarie esterne, in AA.VV. “Superfici dell’architettura :le finiture”, Atti del VI Convegno “scienza e beni culturali”, a cura di G.Biscontin e S.Volpin, Padova, Libreria Progetto editore, 1990,
7. Bellini A. (a cura di) “ Le tecniche della conservazione”, Milano, Editore Franco Angeli, 1986

SCHEDA N°1

TORRE S. DALMAZIO – PAVIA

SCHEDA N°2

SALA AZZURRA del CASTELLO VISCONTEO – PAVIA

SCHEDA N°3

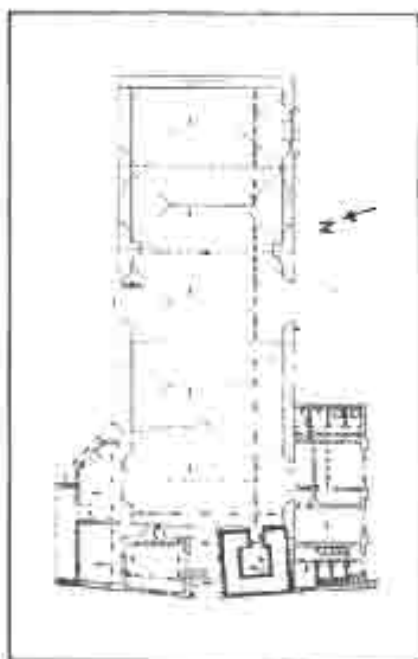
CRIPTA DEL SACROMONTE DI VARESE

SCHEDA N°4

CASTELLO MEDICEO DI MELEGNANO

SCHEDA N°1

TORRE S. DALMAZIO - PAVIA



Punta della Torre e della Chiesa di San Dalmasio



Centralina di monitoraggio e sensori

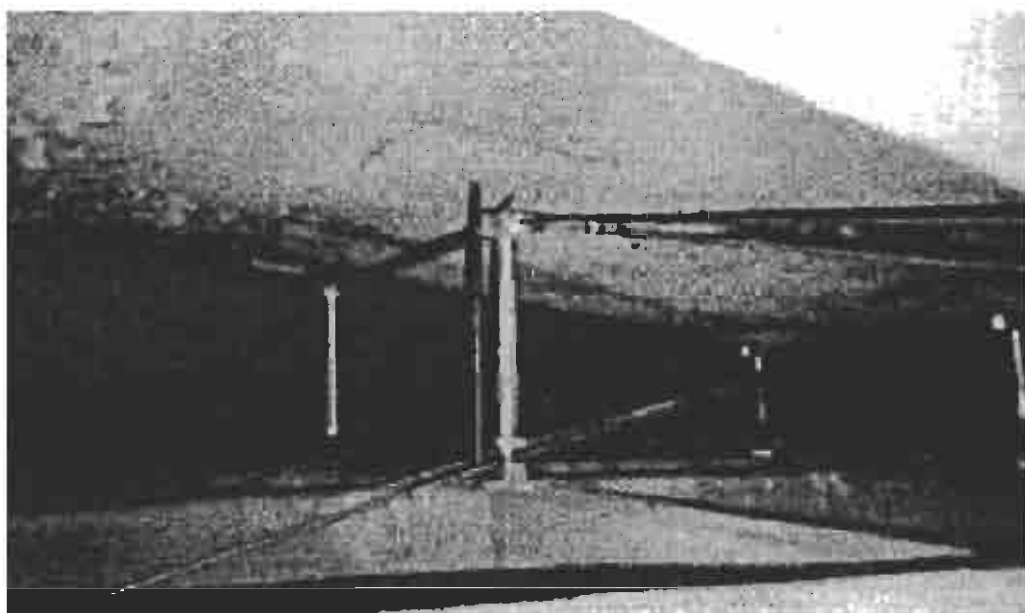
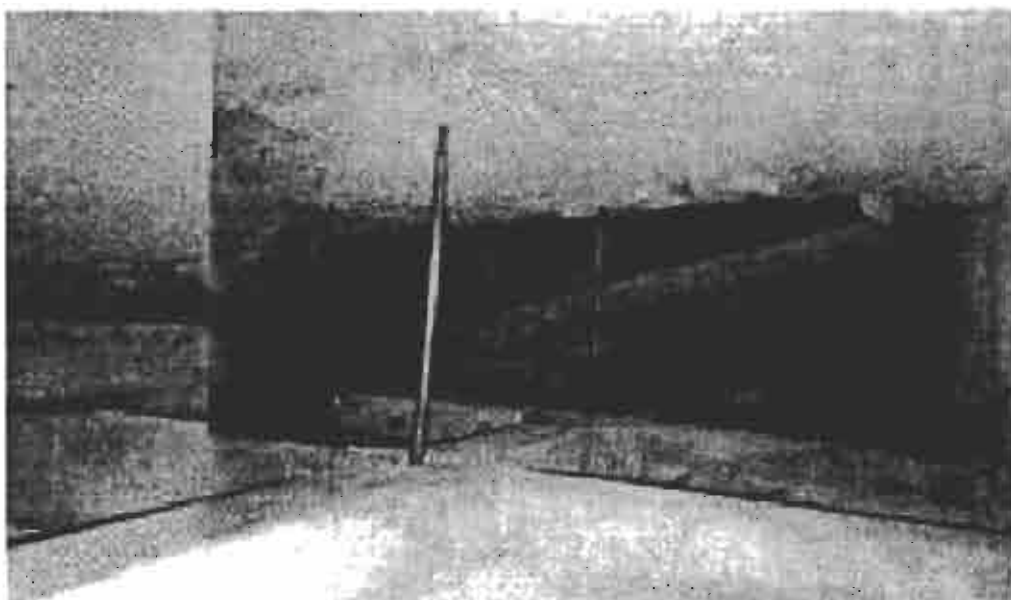
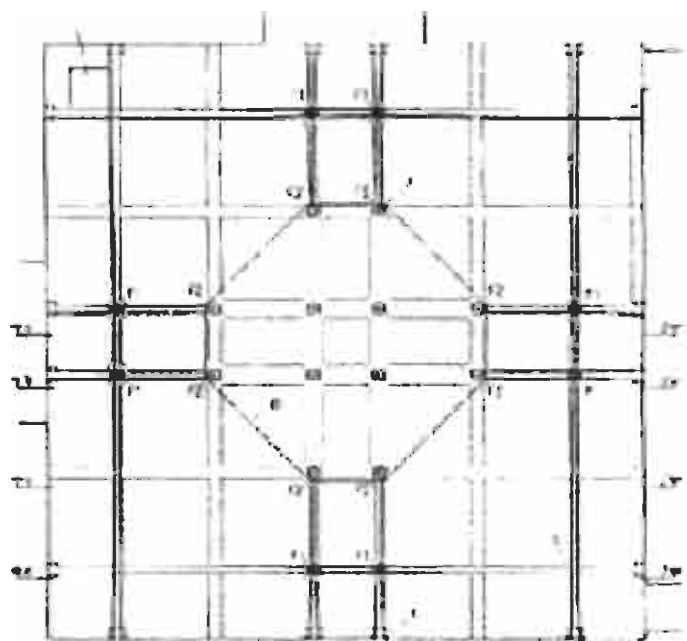
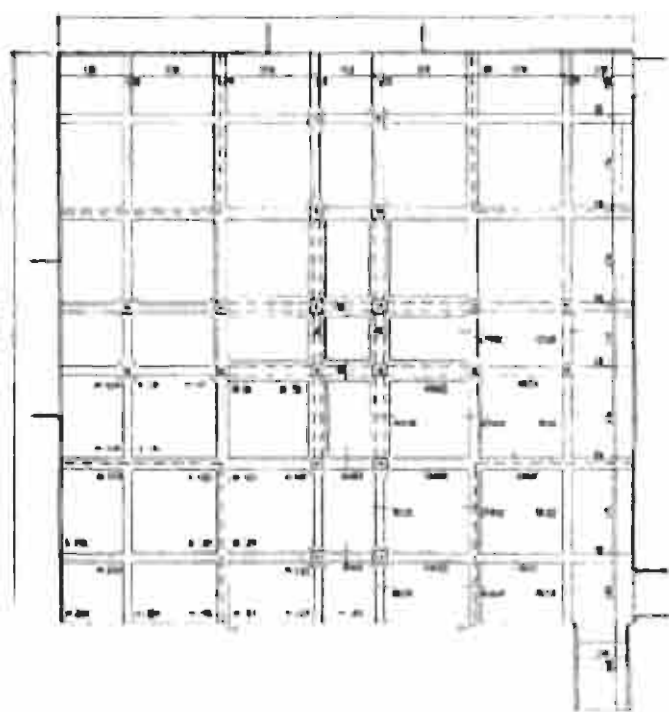
Portione inferiore del traliccio in acciaio, assemblato in officina



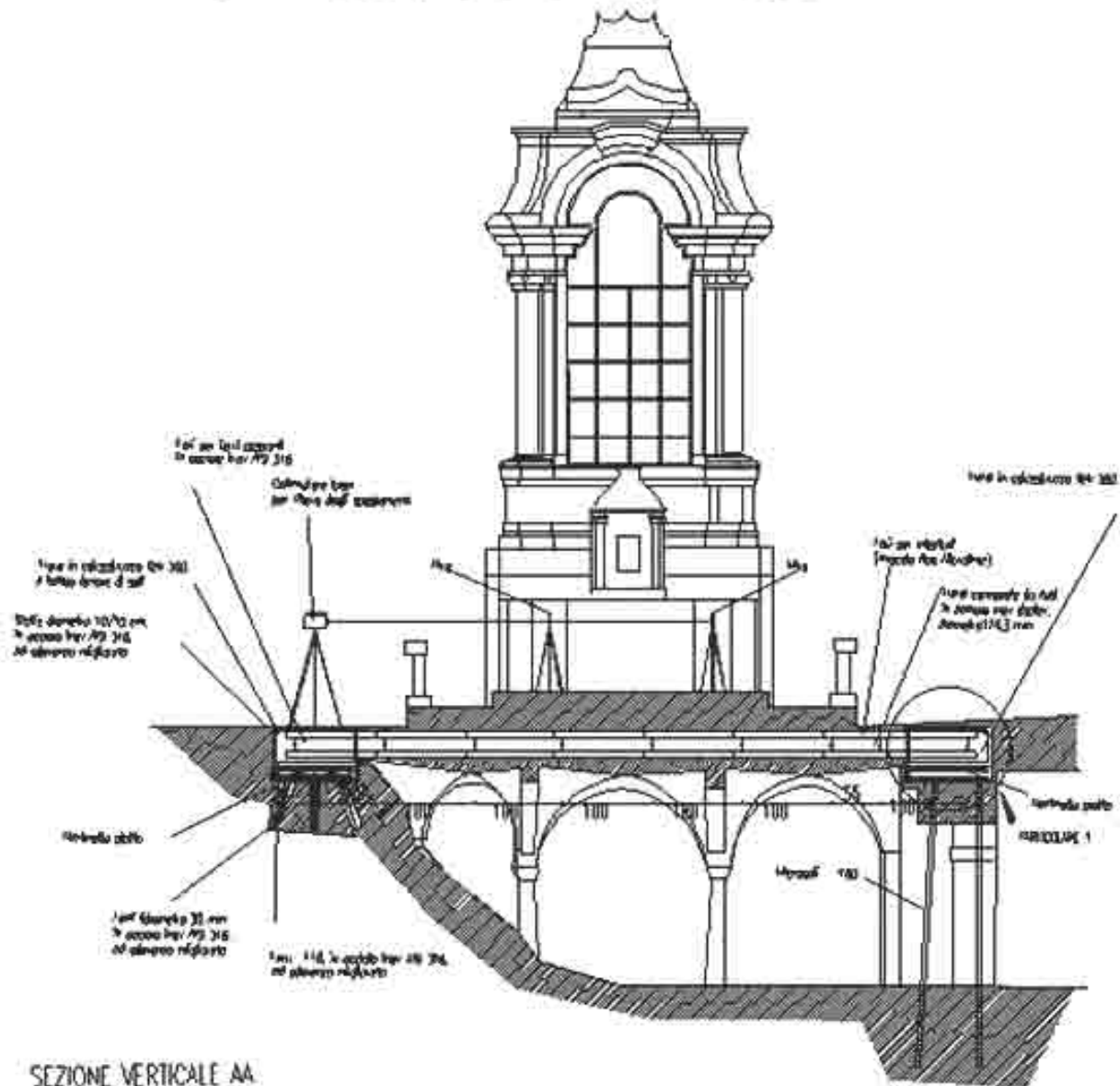
Fano corsa dell'ascensore



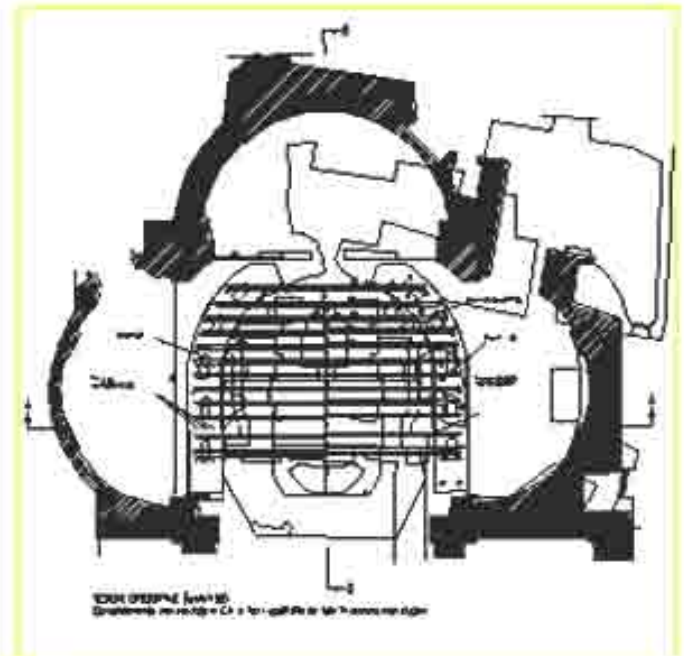
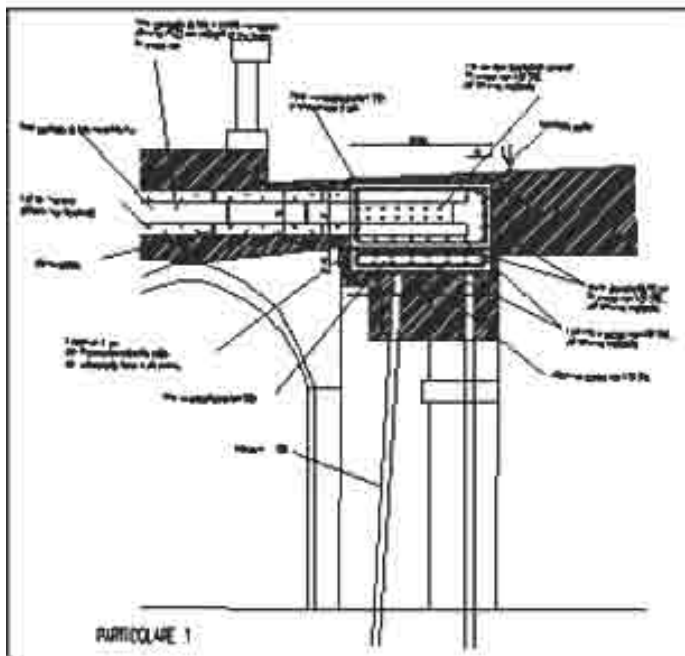
Tiranti inclinati per il trasferimento dei carichi: ancorati nell'intercapedina tra torre e muratura - particolari



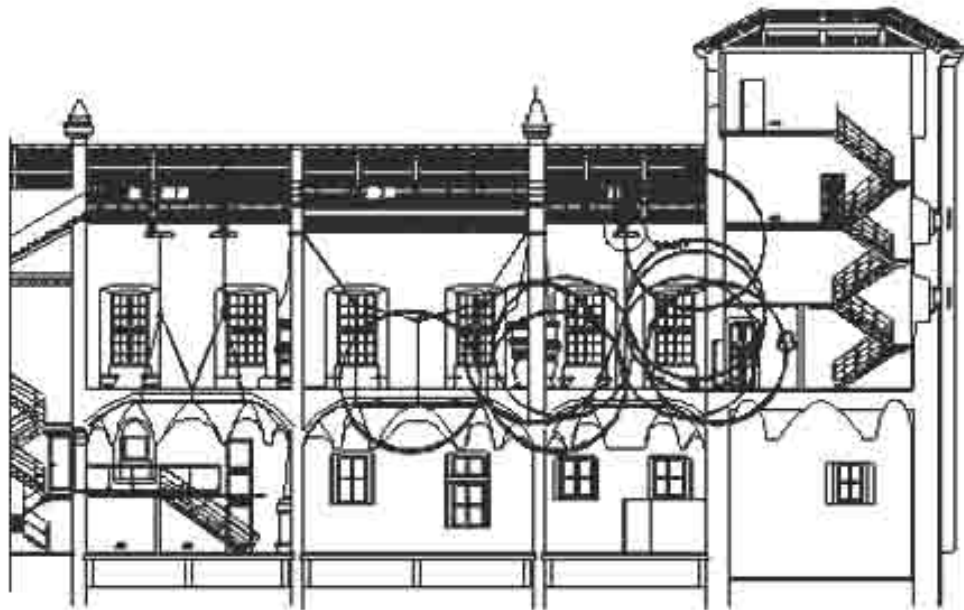
CRIPTA DEL SACROMONTE DI VARESE



SEZIONE VERTICALE AA



SCHEDA N° 4
CASTELLO MEDICEO – MELEGNANO



L'Arco armato

Travi in acciaio n° 45318 piaz. in legno lamare (travi d'ala) solidarizzate alla volta
collegando da sinistra a destra
L'operazione comprende:

- posa in acciaio n° 45318 del davanzo di 14mm con
- saldatura R. 15 - UNI 4899 alle due estremità e chiusura dell'angolo con nastro
- 4 nastri tipo CN 9/16
- travi saranno posate in opera in aderenza alla volta e alla volta, nelle posizioni indicate nel disegno
- travi saranno collegati alla struttura esistente
- ganci d'ala A20 UNI 1947, collegati a
- elementi di ancoraggio costituiti da 2 barre ad estremità ingrandite (Ø: 70/75cm) in acciaio n° 45318.

del davanzo di 18 mm alle quali saranno sovrapposte 2 lastre d'ala
• queste travi del davanzo appenderanno a quelle del fuso presente nella struttura
le barre saranno solidarizzate mediante il sistema apposto, d'ala ad estremità si
• gancio M16 UNI 582 con i ganci si garantirà il collegamento a travi
Gli elementi di ancoraggio saranno posati in opera nei fori precedentemente eseguiti, mediante frangitoia
elettrico a sala rotante.
Incaricamento verticale e orizzontale per nuovo fuso
del davanzo di 25 mm. L'incollatura sarà determinata dalle caratteristiche della volta e saprà una data
parallela di circa 10 cm.
Gli elementi di ancoraggio saranno inglobati con cura e spessità bi-componente.
A prova della usura avverrà la protezione alle fessure da con materiale inerte in cemento e legno in
il caso e la cassa
I lavori saranno realizzati come da disegno, leggeranno i tecnici e apriti a loro mediante scrittura, avendo
strettamente da lei approvati
Si passerà a seconda scrittura, secondo indicazioni della DI dopo congrua prova di tempo.

La calcestruzzo

