



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

-Crotone Museo REL struttura 02-2014

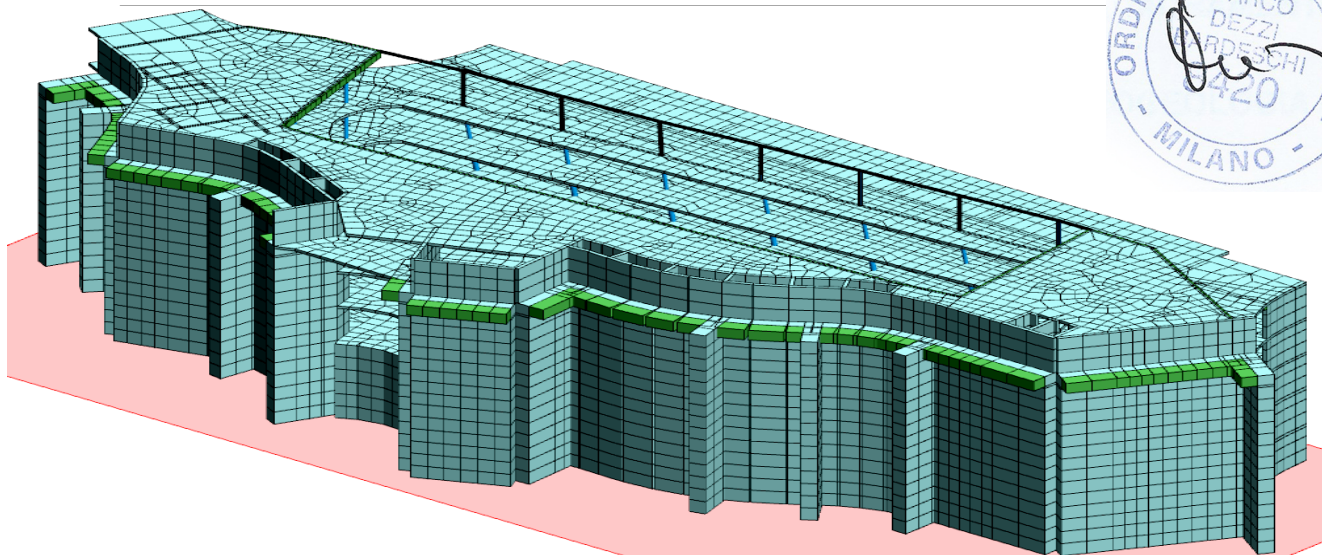
**REALIZZAZIONE DEL “NUOVO MUSEO ARCHEOLOGICO NAZIONALE”
(Da ricavarsi internamente alla “Cortina Sud” del Castello di Carlo V a Crotone)**

**(5)- PROGETTO STRUTTURALE
ELABORATO: (ST.2.01)**

*- RELAZIONE ILLUSTRATIVA SULLE OPERE STRUTTURALI
*- RELAZIONE DESCRITTIVA SUI MATERIALI

Il R.U.P.:
STRUTTURA:

Elisabetta Antonia Dominijanni
Vincenzo Felice Maria Dragonetti



Progettista e coordinatore : **Marco Dezzi Bardeschi**
Il Tecnico strutturista: **Alessandro Melani**

CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Il progetto prevede la realizzazione del museo, internamente al Castello di Carlo V, a Crotone. La nuova costruzione verrà inserita in adiacenza alla cosiddetta “Cortina Sud”, prospiciente alla via “Discesa Castello”. Su quel lato, la parete perimetrale, addossata al terrapieno, presenta un’ altezza di quasi **18,00** mt, e si sviluppa con andamento rettilineo, per circa **70,00** mt. La cortina muraria risulta limitata, all’ estremità Ovest dalla cosiddetta “Torre del Comandante”, ed all’ estremità Est dal “Bastione di San Giacomo”. Il muro fu completamente ricostruito negli anni ’70 del secolo scorso, a seguito di un precedente crollo del manufatto preesistente. Il nuovo corpo di fabbrica, inserito in adiacenza al muro, previo svuotamento del terrapieno retrostante, avrà un ingombro massimo di $\approx(70 \times 25)$ mt. ed una collocazione quasi



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

completamente ipogea. Nella posizione indicata, proprio in conseguenza al crollo, in terrapieno fu ricostituito con riporti recenti e perciò non presenta stratificazioni storiche di interesse.

L' area di scavo, coincide approssimativamente con l' attuale zona pavimentata che troviamo presente all' interno della fortezza, nella fascia retrostante alla "Cortina Sud", (quota piazzale: **+38,70-+39,00** mt) Unico manufatto di un qualche interesse, presente entro l' area, sull' angolo Nord-Est, è un' antica cisterna, attualmente ridotta allo stato di rudere. La piccola costruzione, priva della copertura, appare livellata sulla quota terreno e completamente riempita da detriti. E' stata valutata la possibilità di integrare il manufatto nella nuova edificazione, ma si è dovuto rinunciare constatandone l' impossibilità operativa. Qualora si ritenga di voler salvaguardare il rudere, potrà essere effettuato il trasferimento del manufatto, possibile senza alterarne la sua monoliticità, Lo spostamento potrebbe avvenire, imbracando la cisterna entro una gabbia d' acciaio di sufficiente rigidità, dopo averla liberata dal terreno. Una slitta su rulli ne consentirebbe a quel punto lo spostamento per circa **15 mt verso Nord** rispetto all' attuale posizione fino a trasferirla fuori dal perimetro di cantiere.

Tornando alla nuova costruzione, occorre rilevare anzitutto le possibilità d' incertezze di un progetto eseguito a priori e relativo ad un' opera da incastonarsi entro il terreno, fra i due torrioni e la cortina muraria. (con un terzo torrione parzialmente conservato entro il terrapieno, di cui s' immagina l' esistenza, in prossimità del bastione di San Giacomo).

Il rilievo delle condizioni attuali risulta esauriente per tutte le parti accessibili, ma non è stato possibile effettuare nessun saggio di scavo diretto. Nonostante l' assenza di prove dirette, dovrebbe essere sufficientemente attendibile la ricostruzione della cortina muraria, nella sua sezione trasversale. Non sono ancora completi i risultati di natura geognostica sui terreni d' imposta fondale e di scavo, ma, in attesa di questi dati, è stato possibile formulare ipotesi plausibili al riguardo.

A differenza di quanto era lecito attendersi sulla natura della Cortina Muraria ricostruita nel Novecento, il manufatto risulterebbe ben stabile anche dopo la rimozione del terreno che attualmente lo contrasta sul lato di monte. La notevole altezza della cortina ed un fuori piombo di oltre 3,00 mt sul paramento esterno, avevano indotto inizialmente a ritenere necessarie opere provvisoriale e permanenti di consolidamento.

In realtà, con i dati in nostro possesso, si può desumere che il paramento esterno della cortina sia stato ricavato tamponando alla sua estremità, una sequenza continua di volte a botte disposte affiancate in linea e sovrapposte in ben cinque ordini. La sequenza modulare prevede nove, (forse dieci) volte, aventi luce di **7,00** mt, e realizzate in C.L.S. che si presume essere debolmente



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

armato. I due ordini di volte basamentali, avrebbero uno sviluppo in lunghezza di **7,50** mt al piede (spessore del manufatto), mentre i tre ordini superiori presenterebbero spessore ridotto a **3,00** mt. L'insieme, che potrà essere meglio indagato dopo lo scavo, costituisce un manufatto di notevole stabilità e rigidità, che, ad opere finite, verrà completamente solidarizzato con la struttura portante della nuova costruzione.

La volumetria da ricavarsi in interrato, sarà delimitata verso valle dalla cortina sopra descritta e verso monte da un diaframma in C.A. Quest'ultimo, avrà un andamento curvilineo in pianta, per meglio contrastare le spinte del terreno e per adattarsi alle preesistenze storiche presenti nell'intorno. Si eviterà di tirantare il diaframma, per evitare perforazioni attraversanti stratificazioni di terreno che potrebbero contenere resti archeologici. Questo fatto, come vedremo, condizionerà la realizzazione dell'opera, imponendo alcune complicazioni esecutive. Il tutto verrà meglio descritto al successivo paragrafo.

SEQUENZA COSTRUTTIVA DELLE OPERE

I lavori di natura strutturale si svilupperanno secondo una particolare sequenza, vista l'eccezionalità dell'opera che si andrebbe a realizzare. Lo schema grafico allegato (TAB. n° 1) illustra QUATTRO FASI delle lavorazioni, attraverso le corrispondenti sezioni trasversali del cantiere. Le FASI **1_a** e **2_a** sono ben rappresentative delle modalità di scavo previste, in concomitanza con l'esecuzione della parete interna di contenimento e del secondo impalcato di solaio. La FASE **3_a** illustra l'esecuzione delle membrature in C.A. complete; La FASE **4_a** descrive il completamento di tutte le opere strutturali, con l'aggiunta della copertura, supportata da telai in acciaio. Detti telai simulano una sequenza di alberi disposti in linea entro il volume libero posto al centro della pianta. Le quattro fasi costruttive illustrate, non appaiono coincidenti con le QUATTRO SEZIONI che raccolgono le voci di capitolato descrittive delle opere strutturali tipologicamente affini fra loro. A scanso di equivoci, non esiste perciò corrispondenza fra le fasi temporali delle lavorazioni e le sezioni che raccolgono in contabilità opere di natura affine

INTERVENTI DI **1_a** E **2_a** FASE, (REALIZZAZIONE DI OPERE PROPEDEUTICHE, AVENTI NATURA EXTRA-ORDINARIA)

Si indicano come "extra-ordinarie" tutte quelle opere preliminari alla realizzazione dell'edificio, che si rivelano necessarie per consentire l'esecuzione dell'opera e che verranno descritte in



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

questo capitolo. Essenzialmente trattasi della sequenza di scavo, da eseguirsi in concomitanza con l' esecuzione di particolari manufatti per il contenimento dei terrapieni, quali: diaframmi ricavati su sequenza di pali secanti ed anche pali trivellati di vario diametro. Si tratta infatti di lavorazioni da realizzarsi in condizioni difficili e di manufatti che implicano notevole impegno strutturale ed anche economico per la loro esecuzione. Basta pensare che pur trattandosi di opere in un certo senso propedeutiche all' edificazione vera e propria, esse impegnano oltre il **46% delle somme** preventivate per la totalità delle opere strutturali (Vedi computo metrico).

Gli **Scavi di Splateamento** della volumetria interessata dagli interventi, rimangono compresi fra l' interno della cortina muraria esistente ed il diaframma che verrà creato, a contenimento del terrapieno verso monte. Alle due estremità, gli scavi saranno delimitati dal paramento dei bastioni circolari. (Vedi piante di progetto). Il tutto per una cubatura stimabile in **≈34.800 mc.** Data la particolare configurazione del cantiere e la sequenza costruttiva già illustrata, tutte le modalità di lavoro risulteranno particolarmente complesse. Non ultima v'è considerata anche la difficoltà di operare stretti fra manufatti di interesse storico che verranno via via liberati lungo i fronti di scavo. Complessivamente, lo scavo di splateamento dovrà essere condotto per una profondità di **oltre 19,00 mt.** (Si prevede di raggiungere quota **+19,80 mt.**, partendo dal livello attuale del terrapieno, a **≈+39,00 mt.**) Lo scavo dovrà avvenire in **tre sequenze successive**, intervallate dall' esecuzione dei vari manufatti di contenimento

*- Nella sequenza iniziale ("**A**"), verrà predisposto essenzialmente il piano di lavoro per la trivellazione dei **pali secanti $\phi 1000$** , che andranno a costituire il diaframma di contenimento ai terreni verso l' interno dello scavo. Il livello d' imposta dei pali, sarà previsto a quota **+36,50 mt** , lungo uno sviluppo dall' andamento molto articolato.

Da considerare che in questa fase di lavoro, tutti i mezzi di scavo dovranno essere portati in loco mediante sollevamenti a partire da valle, con grù semoventi piazzate esternamente alla cortina muraria del castello . Per l' allontanamento verso discarica del materiale di risulta occorrerà valutare attentamente le condizioni di cantiere: Non è possibile uscire dal castello con mezzi pesanti, per cui si consigliano tramogge di raccolta collegate a nastri trasportatori per effettuare la discesa verso l' esterno attraverso l' apertura di una o più arcate della "Cortina Sud", preferibilmente scelte fra quelle poste a quota **+31,30 mt**

*- Nella sequenza intermedia ("**B**"), gli scavi riprenderanno dopo l' esecuzione del diaframma in pali secanti, che verrà descritto più avanti. In questa fase, sarà predisposto il piano di lavoro per il getto del secondo impalcato di solaio e per la trivellazione dei pali **$\phi 800$ e $\phi 600$** Il



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

livello previsto in questo caso, sarà a quota **+26,50** mt ma sarà anche possibile effettuare, sotto a questa quota, una rampa per l' uscita dei mezzi di scavo, che dovranno temporaneamente abbandonare il cantiere. A questo punto, gli scavi saranno stati condotti per una profondità di **≈12,50** mt, entro un perimetro ben delimitato dalla presenza di manufatti nuovi ed esistenti.

*- Nella sequenza finale ("C"), potranno essere completati gli scavi, al di sotto del secondo impalcato di solaio, eseguito nel frattempo con la funzione di contrasto sul diaframma (che non può essere tirantato). Lo scavo finale potrà avvenire con ingresso diretto dei mezzi da valle e con l' allontanamento dei materiali, attraverso ben quattro vani, da aprirsi verso l' esterno alla base della cortina muraria. (Arcate di dimensione **≈(6,60 x 3,50)** mt). Il livello previsto sarà quello finale, a quota **+19,80** mt.

Durante l' intervallo fra le sequenze di scavo "A" e "B", dovrà essere realizzato il **diaframma continuo di pali in C.A.** per la delimitazione dei futuri volumi di edificazione. Il diaframma si estenderà per uno sviluppo di **≈101,50** m., praticamente tutto il perimetro dell' opera, esclusa la cortina muraria esistente. Il diaframma, infisso entro banchi sabbiosi consolidati, verrà realizzato mediante una sequenza di pali trivellati posti ad interasse minore del diametro (tecnica dei cosiddetti "Pali Secanti"). Planimetricamente, il diaframma si sviluppa lungo una linea spezzata, con tratti a volte curvilinei, studiati per ottenere un "effetto forma" ed avere una maggior efficacia nel contenimento del terreno (Vedi piante di progetto)

I pali **φ1000**, trivellati ad elica continua (tipo **CFA**), verranno eseguiti in sequenza lineare alternata nei due tempi successivi, con le trivellazioni di fase 2 che vanno ad effettuare la fresatura delle lunette di bordo sulla sezione in C.A. dei pali già realizzati in fase 1. L' interasse finale fra i pali sarà di **0,80** mt. La trivellazione avviene per l' intero sviluppo del diaframma, a partire da quota **+36,50** mt e per una profondità di circa **28,00**mt. Date le caratteristiche finali del progetto, sarà necessario ottenere un buon grado di precisione nella verticalità dei pali: dovranno essere imposte tolleranze di errore fino a **6 cm** alla profondità di **16,00 mt. (0,4%)**. Vista la consistenza delle formazioni sabbiose che verranno attraversate, si prevede che non saranno necessari fanghi bentonitici o incamicature a sostegno delle pareti del foro in fase di trivellazione. Proprio per la natura del sottosuolo, è stata esclusa la possibilità di eseguire i diaframmi nel modo più convenzionale e cioè impiegando nello scavo benne mordenti con impronta di almeno 2,50 mt di lunghezza. Con questa macchine, che pur sarebbero risultate più economiche, non sarebbe stato possibile raggiungere la profondità necessaria.



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

Anche per l'esecuzione dei pali, occorre considerare che trivelle, impianti di miscelazione-iniezione, silos, serbatoi, pompe ed altri mezzi, dovranno essere conferiti in loco mediante sollevamenti con gru semoventi a partire dall'esterno della cortina muraria del castello. Nelle posizioni di estremità ai diaframmi, in adiacenza con manufatti antichi interrati, occorrerà, prima di avviare la trivellazione, accertarsi di non andare ad intercettare opere esistenti; si ritiene

perciò necessario eseguire un certo numero di pre-fori di piccolo diametro a scopo indagativo. A completamento del diaframma, viene prevista l'esecuzione di una **trave irrigidente in C.A.**, posta alla sua sommità. Detta trave seguirà l'andamento planimetrico del diaframma e riposerà sul terreno a quota **+36,50 mt.** Si prevede una sezione costante di **(100 x 240) cm.** nella quale verranno inglobate tutte le teste dei pali. Grazie alla trave di sommità, potrà essere sfruttata favorevolmente la forma tridimensionale della parete per migliorarne l'effetto contenitivo sul terrapieno. Lungo lo sviluppo del diaframma, in posizione mediana, si può notare una sua interruzione per un tratto di $\approx 6,00$ mt. Attraverso questo varco, ad opere finite, rimarranno a vista dall'interno, in concomitanza con un volume a tutta altezza, i banchi di sabbie consolidate con il loro andamento stratificato. Una sorta di stratificazione geologica in sintonia con i contenuti del museo archeologico.

Sempre in intervallo fra le sequenze di scavo "B" e "C", verranno **trivellati i pali in C.A.** diametro **$\phi 800$** . Detti pali, eseguiti con trivelle ad elica continua (tipo CFA), saranno realizzati a partire da quota **+26,50 mt** e verranno spinti fino alla profondità stimata di $\approx 22,00$ mt.

In questo caso si tratterà di eseguire n° **SETTE** pali isolati fra loro e valgono in generale tutte le considerazioni già svolte per la trivellazione del diaframma. Per i sette pali, occorrerà prevedere anche l'incamiciatura con tubo-forma in acciaio **$\phi 800/7,1$** da utilizzare per il tronco sommitale dei fusti; il tutto per un'altezza di almeno **7,50 mt.** Il tratto incamiciato in acciaio verrà poi scavato e corrisponderà ai due livelli inferiori del museo. Assieme a questi, è prevista anche l'esecuzione di altri **pali trivellati in C.A.** di diametro e lunghezza minore. Detti pali, di tipo **$\phi 600$** , realizzati con le medesime attrezzature precedenti, verranno eseguiti, a partire da quota **+26,50 mt.** in sequenza lineare lungo zone limitate del perimetro di scavo. Le palificate sono previste in corrispondenza dei tratti di interruzione del diaframma principale.

BREVE DESCRIZIONE DEL NUOVO EDIFICIO



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

Una volta effettuati scavi e diaframma, rimane delimitata la volumetria entro la quale potrà essere realizzato il nuovo museo. Trattasi di un' area di forma irregolare, con dimensioni massime di **(79,20 x 33,60)** mt ed una superficie netta di \approx **1.730** mq. Le pareti di questa grande cavità appaiono molto varie e ricche di stimoli: sono presenti a tutt' altezza i paramenti murari di due torrioni circolari; il diaframma in C.A. sviluppato secondo un andamento planimetrico irregolare e la facciata interna della cortina Sud, perfettamente rettilinea, che si apre in una sequenza di volte a botte, allineate in successione e sovrapposte in cinque ordini.

La costruzione andrà ad occupare interamente la cavità che si è creata, con CINQUE livelli ipogei ed un sesto in esterno, impostato alla quota del percorso di guardia, già esistente in sommità alla "Cortina Sud". Dei SEI piani interni, avremo i DUE inferiori, essenzialmente adibiti a deposito delle opere ed i QUATTRO superiori adibiti a percorso museale. I due livelli inferiori si prevedono chiusi al pubblico e compartimentali per il rischio d' incendio. I quattro superiori, aperti al pubblico, saranno tutti comunicanti fra loro attraverso un grande atrio centrale, aperto a tutta altezza. L' atrio avrà una lunghezza di quasi **50,00** mt e porterà luce dall' alto verso i piani sottostanti. I collegamenti verticali verranno espletati attraverso due vani scala circolari e relativi ascensori, che si collocano verso le estremità Est ed Ovest. Il percorso museale prevede l' accesso e la salita obbligatoria fino all' ultimo piano dalla scala Ovest, la discesa verso il basso, con visita dei diversi piani ed uscita, dalla scala Est. Esiste un grande montacarichi per collegare i depositi con tutti i piani espositivi, con una scala di servizio contigua riservata al personale. Tutti i piani sono connessi con un grande pozzo di areazione dove verranno collocate anche le macchine per il trattamento dell' aria. I due piani inferiori risultano collegati con l' esterno anche attraverso una intercapedine di ventilazione, sviluppata lungo il diaframma e perciò opposta rispetto al lato esterno lungo la "Cortina Sud".

L' intercapedine, che si sviluppa per oltre **30,00 mt** di lunghezza, è aperta in sommità al terrapieno. Gli ingressi principali al museo saranno al piano terreno, attraverso la cortina e direttamente all' esterno del castello. All' ultimo livello, attraverso diversi punti del perimetro, sono previste uscite verso il cortile interno al castello. Altri accessi, da utilizzarsi anche come uscite di sicurezza, sono ipotizzabili ai livelli terzo, quarto e quinto, attraverso percorsi ricavati entro le parti esistenti del castello.

Le quote in estradosso ai vari piani, sono previste a **+20,40, +24,10, +27,90, +31,30, +34,90 e +38,50** mt. Gli interpiani rimangono fissati in conseguenza ai livelli dei cinque ordini di volte presenti entro la "Cortina Sud" (Vedi sezioni trasversali).



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

Entro la grande volumetria centrale del museo, dove si affacciano tutti i quattro livelli aperti al pubblico, viene inserito un allineamento longitudinale di pilastri in acciaio. Detti pilastri saranno impostati a quota **+27,90** mt. e si biforcano in altezza su tre livelli, simulando l'andamento di ipotetiche alberature disposte in filare. Le alberature saranno complessivamente **SETTE**, allineate ad interasse di **7,00** mt e collegate fra loro attraverso i rami di sommità. Ciascuna alberatura si compone di tre livelli sovrapposti: i **due livelli inferiori** simulano la forma del tronco, suddiviso fin dal piede in **QUATTRO** costolature, progressivamente aperte fra loro verso l'alto. Il **terzo livello** simula la forma dei rami, che si aprono a ventaglio in **DIECI** bracci. Questi ultimi, tutti assieme, sostengono in sommità gli elementi di copertura. Le ramificazioni degli alberi, raggiungono un'altezza massima dal piede di \approx **16,70** mt. Ciascun albero verrà completato utilizzando **DUE lastre modulari di copertura**, variamente sagomate ai bordi per simulare la chioma delle alberature stilizzate in acciaio. Le due lastre saranno collocate in opera orientate verso Sud, con un'inclinazione di **12° 20'** rispetto all'asse trasversale. Complessivamente le lastre da porre in opera, tutte uguali fra loro, saranno **QUATTORDICI** per l'intero filare dei sette alberi. Ciascuna lastra avrà dimensioni massime di **(10,60 x 12,40)** mt. ed una superficie di \approx **81,90** mq. Tutte assieme, le lastre modulari andranno a costituire la copertura dell'ultimo piano, quello emergente fuori dal livello del cortile.

DESCRIZIONE DELLE MEMBRATURE STRUTTURALI IN C.A.

Con l'esclusione delle alberature in acciaio, che svolgono soprattutto un ruolo d'immagine, tutte le altre membrature portanti del nuovo edificio saranno realizzate in C.A., ed eseguite direttamente con getti in opera. Trattandosi di un'opera veramente "incastonata" all'interno del castello, si è cercato anzitutto di ipotizzare uno schema statico di facile esecutività e che risultasse ottimale anche agli effetti del comportamento sismico.

L'impostazione strutturale dell'edificio, nell'ambito della normativa vigente, è del tipo "**a pareti non accoppiate**" così come definita sul D.M. del 14/02/2008. Tutte le membrature verticali in C.A. presenti nei **SEI livelli** interni, risultano disposti opportunamente in pianta, con orientamenti ed interassi tali da realizzare una maglia strutturale ben ottimizzata pur tenendo conto di tutte le esigenze architettoniche.

Naturalmente la componente più rilevante delle azioni sismiche verrà assorbita dal diaframma posto contro il terrapieno. Quest'ultimo, avendo uno sviluppo di ben \approx **101,50** mt e lo spessore di **1,00** mt, rappresenta oltre il **73%** della sezione resistente di tutte le membrature verticali



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

esistenti (livello terreno). A tutti i piani sono presenti anche numerosi ritti in acciaio; questi ultimi, saranno delegati ad assorbire solo carichi assiali e non verranno coinvolti nella neutralizzazione delle azioni sismiche

Il maggior problema affrontato durante la messa a punto dell' impianto strutturale, è stato quello di come prevedere una disconnessione fra la nuova struttura ed i manufatti esistenti che la circondano. Dal momento che la "Cortina Sud" risulta una componente troppo integrata nell' edificio per essere isolata da questo, si è stabilito di inserirla entro la maglia strutturale in modo completamente solidale: In mancanza di saggi sulla consistenza dei CLS impiegati e sulla presenza o meno di armatura, si prevede, al momento, di considerarla solo come elemento inerte. Essa costituirà, nell' ambito dei modelli matematici approntati, una cosiddetta "massa sismica portata" anche se di entità, come vedremo, molto rilevante. Attualmente però, la Cortina risulta essere innestata alle estremità entro il paramento murario dei due torrioni circolari (uno visibile sul lato Ovest, l' altro occultato internamente, sul lato Est). La disconnessione fra nuovo ed esistente dovrà avvenire in tali due posizioni, ed essere completa, sia sull' altezza che sullo spessore della parete. Le modalità dell' operazione saranno composite e vengono ben descritte sulle voci di capitolato e sui grafici di progetto.

Ad intervento compiuto la cortina Sud dovrà risultare conclusa alle estremità Est ed Ovest, su due setti in C.A. che la mantengono distaccata mediante un giunto sismico rispetto ai torrioni circolari adiacenti. I nuovi setti in C.A. con altezza di **18,50** mt e sviluppo da **3,00 a 7,50** mt a seconda del livello, dovranno essere perfettamente raccordati con le volte a botte della cortina, per tutti e cinque gli ordini. Da notare che i setti di estremità, seguiranno l' andamento dei torrioni circolari e perciò avranno sviluppo curvilineo e potranno essere strapiombanti in altezza. Una volta completata la separazione della cortina alle estremità, il distacco fra le strutture murarie esistenti ed il nuovo edificio, potrà completarsi, mantenendo le solette di ogni impalcato ben giuntate lungo quei tratti in cui andrebbero a contatto. La decisione di solidarizzare la vecchia cortina muraria con le strutture del museo comporta un notevole onere da pagarsi a livello di sicurezza sismica. Con le sue dimensioni: lunghezza di **61,00** mt, altezza di **18,50** e spessore variabile fra **3,00 e 7,50** mt, la massa è stimabile in **2.970** tonn. per i due livelli inferiori ed in **1.950** tonn. per i tre sovrastanti. D' altra parte il legame fra Museo e Cortina muraria risulta inscindibile, e perciò se ne accettano le conseguenze, effettuando gli opportuni dimensionamenti delle membrature verticali

Per tutti i livelli in elevato a partire dalla quota **+20,40** (estradosso platea), si è cercato di ottenere



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

con buoni risultati, la miglior coincidenza possibile fra centri di massa e rigidità. Gli effetti torsionali che si rilevano in conseguenza delle eccentricità, risultano modesti percentualmente sul totale e perciò verranno neutralizzati facilmente

Tutti i SEI orizzontamenti in elevato dell' edificio, verranno realizzati con l' impiego di **solette continue indifferenziate in C.A.**. In tal modo, si riesce ad ottenere impalcati con luci libere ragguardevoli, riducendo così la necessità di utilizzo di membrature verticali interne alla pianta.

Risultava inoltre essenziale contenere al massimo gli spessori d' impalcato, in quanto gli interpiani dei vari livelli risultano veramente esigui. (Partendo dal basso avremo le seguenti altezze: **3,70, 3,80, 3,50, 3,60, 3,60** mt) Ciò in conseguenza all' aver integrato nel museo la "Cortina Sud", facendo propri, con piccoli aggiustamenti, gli interpiani delle sue volte a botte.

Gli spessori delle solette risultano limitati generalmente in **25** cm., escludendo i primi due livelli (intradosso a quota **+23,75 e +27,45** mt). In questi casi avremo spessori rispettivamente di **28 e 32** cm, ma trattasi di impalcati che svolgono anche ruoli diversi, fra cui in particolare, un' azione di contrasto sul diaframma posto contro terra. In genere, per tutti i solai, si prevedono carichi agenti, in aggiunta al peso proprio, pari ad **800** kg/mq., comprensivi sia delle azioni permanenti che accidentali. La presenza delle solette consente di realizzare senza problemi statici i tagli curvilinei dell' atrio mediano, ed i vani delle scale circolari. Anzi, in corrispondenza dei bordi di taglio si prevede anche una rastremazione degli spessori per un miglior effetto estetico.

Avendo un edificio con un notevole sviluppo in altezza, si è assegnato importanza ai collegamenti verticali. Le due scale circolari destinate al pubblico, risultano completamente aperte nei piani alti e consentono uno spaccato panoramico del museo. Staticamente le scale a sviluppo circolare si presentano impegnative, saranno da eseguirsi mediante soletta continua in C.A., ancorata a livello degli impalcati principali e completamente libera lungo tutto lo sviluppo dell' interpiano (240°). Le rampe scala, modulari, avranno raggio esterno di **2,70** mt e larghezza di **1,50** mt. Tutti i gradini hanno pedate di ampiezza variabile fra **20,93 e 47,10** cm. e sottendono angoli al centro di **10°**. Ciascun interpiano si compone di **due rampe** e di **una sosta** intermedia. A seconda dell' altezza d' interpiano, ciascuna rampa sarà formata da **10 od 11** gradini. L' in-tero dislivello coperto dalla scala, a partire dal piano terreno e fino al quinto piano, è fissato, al finito, in **18,10** mt. e verrà superato mediante **CENTOSEI gradini**.

La soletta della scala avrà spessore variabile da **12 a 20** cm. sulla larghezza, per ottimizzarne la portanza e la resa estetica. (Il minimo spessore è previsto al bordo esterno).

Anche al livello d' imposta del piano terreno, (**+20,40** mt al finito), è prevista l' esecuzione di



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

una soletta continua in C.A., sotto forma di **platea superficiale**. Questa avrà spessore di appena **30 cm** ed uno sviluppo di \approx **1.650 mq**.

Come si vedrà più avanti, la platea non è chiamata a svolgere ruoli statici diretti nella distribuzione dei carichi sul terreno, ma avrà il compito prevalente di costituire un orizzontamento rigido planimetricamente e collegare assieme i basamenti dei pali con le strutture di perimetro. La platea si intende estesa per l'intera pianta, anche sotto alle volte a botte della cortina esistente (in questo caso, a seconda della quota di pavimentazione attuale, potrà essere aggiunto maggior spessore di magrone od averlo completamente escluso).

Dal momento che sia il diaframma contro terra, sia i pali trivellati infissi a partire dalla quota **+26,50 mt**, trasferiscono i carichi a quote profonde, la scelta conseguente è stata quella di portare in profondità anche tutti gli altri carichi. Per questo, sia le pareti che i pilastri secondari, spiccano a partire da appositi basamenti che raccolgono gruppi di **micropali** incamiciati con tubo in acciaio. Detti pali, di lunghezza stimabile in **10,00 mt**, verranno eseguiti a rotazione e una volta inseriti i tubolari ϕ **193,7/10**, iniettati a bassa pressione con malta a base cementizia.

Naturalmente i basamenti che raccolgono le teste dei micropali saranno inseriti entro la platea generale, con medesima quota di estradosso.

DESCRIZIONE DELLE MEMBRATURE STRUTTURALI IN ACCIAIO

Parlando delle membrature in acciaio, si intendono le cosiddette "alberature" che a partire da quota **+27,75 mt** verrebbero allineate in un "filare" all'interno del grande vano centrale dove si affacciano tutti e quattro i livelli aperti al pubblico (Vedi schemi di progetto). Tutti assieme i SETTE "alberi" avrebbero il compito di sostenere la copertura del museo ad oltre **16,0 mt** di altezza dal loro piede. I pilastri in acciaio verranno realizzati con notevole ricercatezza formale, per simulare nell'aspetto gli alberi che vorrebbero rappresentare. La geometria spaziale prevede un tronco basamentale, già suddiviso a partire dalla base in quattro costolature, che si aprono progressivamente fra loro verso l'alto. Ogni "albero" si compone costruttivamente di tre livelli sovrapposti, nelle cui giunzioni, ciascuna delle quattro costolature si biforcano variamente. L'inizio del terzo livello simula l'innesto dei rami, che si aprono a ventaglio in DIECI bracci. Questi ultimi, tutti assieme, sostengono alla loro sommità, gli elementi modulari di copertura.

Tutte le aste componenti l'alberatura sono costituite da una sezione-tipo composta da DUE piattabande. Queste ultime, anche se diverse dimensionalmente, risultano sempre affiancate fra



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

loro in una “V” di 60°. per gli elementi del 2° e 3° livello, saranno aggiunte lamiere piegate di minor spessore a completare gli elementi. Nei rami di sommità, le piattabande risultano anche rastremate in lunghezza per offrire un miglior effetto estetico..

Ciascuna alberatura raggiunge un peso complessivo di ≈ 6700 kg e viene realizzata in officina in **DIECI** elementi componenti separati. Le diverse parti verranno assemblati in opera mediante saldatura (Vedi schemi di progetto) La componente più pesante è costituita dal 1° livello, che arriva completo in un tronco unico dall' officina, per un peso di **1900** kg

La struttura degli “alberi”, si completa con la posa in sommità ai rami, delle **lastre modulari di copertura**, variamente sagomate ai bordi per simularne la chioma. Per ciascun albero verranno utilizzate **DUE “lastre-chioma”**, disposte in modo antisimmetrico rispetto all' asse longitudinale (Vista in pianta). Le due “lastre-chioma” saranno collocate in opera orientate verso Sud, su di un asse ruotato di 80° rispetto all' allineamento dell' alberatura. Le lastre avranno un' inclinazione di **12° 20'** rispetto al piano orizzontale

Complessivamente le lastre da porre in opera, saranno **QUATTORDICI**, tutte uguali fra loro, per completare il filare dei sette alberi. Ciascuna “lastra-chioma” avrà dimensioni massime di

(10,60 x 12,40) mt. ed una superficie di $\approx 81,90$ mq. Ogni “lastra-chioma” verrà posata su **SETTE punti di appoggio**, corrispondenti alle estremità dei rami sottostanti. Da notare che **DUE** di questi punti collegano assieme, contemporanea-mente **QUATTRO** lastre, così da realizzare una solidarizzazione di tutta la copertura.

Costruttivamente le “lastre-chioma” saranno prodotte in piccola serie a piè d' opera, su di un banco di dimensione opportuna. Ciascuna lastra sarà dotata di un' intelaiatura in acciaio composta in loco, saldando assieme profili del tipo **HEA 120** con una piattabanda perimetrale sagomata opportunamente. Detta intelaiatura verrà annegata entro un getto in C.A. alleggerito (**Leca 1400**). Il getto rimarrà confinato entro la sagoma del piatto perimetrale, dando così forma alla “lastra-chioma”. Questa ultima avrà spessore di **16** cm ed un peso stimabile in **20.100** kg. Naturalmente saranno inseriti nel getto, in posizioni ben precise, piastre e manicotti in acciaio, per ottenere una rapida connessione con le sommità dei rami, al momento del montaggio. Dovranno anche essere annegate sul lato di intradosso, le dime curvilinee sulle quali verrà effettuato il fissaggio dei nastri in acciaio **COR-TEN** previsti a completamento dell' albero.(Vedi progetto). Staticamente il ruolo degli “alberi” non appare rilevante in quanto l' intero impalcato di copertura, composto dalle **14 “lastre-chioma”** verrà stabilizzato sismicamente dalla



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

presenza delle solette poste a quota +42,05 mt. che sono presenti alle due estremità Est ed Ovest. Inoltre le chiome degli alberi vengono intersecate per l'intera lunghezza da due infissi vetrati che corrono paralleli fra loro alla distanza di 14,20 mt e chiudono il sesto livello del museo. I montanti inseriti nell'infisso, intercettano il ramo più esterno di ciascun albero e gli porgono sostegno. Il modello matematico che simula le alberature assieme con tutti i vincoli al contorno, mostra che quasi il 40% dei carichi trasmessi dalle "lastre-chioma", si trasferisce verso i montanti dell'infisso, alleggerendo l'albero stesso.

Si conclude la relazione descrittiva sulle opere strutturali, fornendo le caratteristiche dei materiali da impiegarsi nella realizzazione.

MATERIALI DA IMPIEGARSI NELLA REALIZZAZIONE DELLE STRUTTURE SOPRA DESCRITTE

Tutti i materiali da utilizzarsi durante l'esecuzione delle opere, dovranno soddisfare i requisiti richiesti dal D.M. 14/01/08. In particolare vengono richieste le seguenti caratteristiche:

-* **Per il getto in C.A.** dei pali trivellati, delle opere fondali e del diaframma, ("pali-secanti" e trave irrigidente di sommità), tutti da eseguirsi in opera, prevedere l'impiego di CLS. "a prestazione garantita" in conformità alla EN 206-1/2006 e con le seguenti caratteristiche:

C28/35, classe di esp. **XC1** $\phi_{\max} \text{inerti} \leq 30$ mm. Spessore di copriferro **C_{ferro} ≥ 50** mm.

Solo per la trave irrigidente, data la grossa cubatura di getto, prevedere l'aggiunta di un ritardante che limiti opportunamente la temperatura di presa

-* **Per tutti gli altri getti in C.A.** da eseguirsi in opera in elevato, (Pareti, solette) prevedere l'impiego di CLS. "a prestazione garantita" in conformità alla EN 206-1/2006 e con le seguenti caratteristiche:

C32/40, classe di esp. **XC1** $\phi_{\max} \text{inerti} \leq 20$ mm. Spessore di copriferro **C_{ferro} ≥ 25** mm.

-* **Per il solo getto in C.A. alleggerito** delle "lastre-chioma" poste a completamento degli "alberi", prevedere l'impiego di CLS. Avente $\gamma \leq 1400$ kg/mc e con le seguenti caratteristiche:

C25/30, classe di esp. **XC1** $\phi_{\max} \text{inerti} \leq 15$ mm. Spessore di copriferro **C_{ferro} ≥ 20** mm.

-* **Per le armature a tutti i getti** di cui sopra, prevedere l'impiego di barre e reti elettrosaldate in acciaio del tipo **B450C**, opportunamente controllato in stabilimento.



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

-* **Per le opere in carpenteria d' acciaio**, (pilastri tubolari ed orditure degli "alberi"), prevedere l' impiego di piattabande e profili in acciaio laminati a caldo, classificabili come del tipo **S355** (Ex Fe510), secondo Norme UNI EN 10025-2. Medesime caratteristiche anche per i tubi di incamicatura dei micropali. Tutte le giunzioni saldate, in officina ed in cantiere, saranno di **II Classe**, effettuate con sistemi codificati secondo le UN 4063:2001 (DM '08-11.3.4.5c). Dadi e bullonature, qualora necessitassero per collegamenti in opera anche provvisori, saranno di **Classe 8.8** secondo UNI EN ISO 898-1:2001

Aglia, 06/10/2013

Il Tecnico: A. Melani