



**AZIENDA REGIONALE PER L'EDILIZIA ABITATIVA
DISTRETTO DI CARBONIA**

**INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FONDALE DI DUE
PALAZZINE (N. 8098 e N. 8122) SITE A BACU ABIS NEL
COMUNE DI CARBONIA**

PROGETTO ESECUTIVO

Viale della Libertà e Via Cogne - BACU ABIS



OGGETTO:
RELAZIONE TECNICA, GEOTECNICA E GEOLOGICA
Palazzina n.8098 - Viale della Libertà

AII. C

Febbraio 2016

A.R.E.A.

Il tecnico
Dott. Ing. Marco Martis

Azienda Regionale per l'Edilizia Abitativa

Distretto di Carbonia

Corso G.M. Angioy N°2 - 09013 CARBONIA (CA) - Tel. 0781 / 61672900 - email: distretto.carbonia@area.sardegna.it



L'AZIENDA A.R.E.A. ha in corso di realizzazione gli "Interventi per la messa in sicurezza dell'abitato di BACU ABIS (Carbonia)" di cui al programma d'interventi D.G.R. 71/32 del 16-12-2008.

Poiché sono presenti lesioni alle strutture murarie, si è posto il problema di verificare se non siano necessari preliminari lavori di consolidamento che potrebbero danneggiare i lavori di ristrutturazione.

Dopo uno studio dell'ampio materiale d'indagine disponibile, lo scrivente ha effettuato una perizia strutturale - geotecnica che ha portato a restringere il numero di edifici di maggiore interesse.

Su questi è stato poi ripreso ed ampliato il monitoraggio delle lesioni per oltre un anno arrivando a concludere quali fossero destinati alla demolizione e quali al consolidamento.

La presente Relazione riguarda la Progettazione strutturale della messa in sicurezza fondale e lavori connessi dell'edificio, 8098 nella fase definitiva.

Dallo studio del monitoraggio eseguito a suo tempo si è rilevata una sostanziale stabilizzazione delle lesioni con variazioni stagionali che indicano la presenza di porzioni limoso argillose entro il materiale d'impasto delle fondazioni.

L'indagine geologica e geognostica fatta eseguire dall'Agenzia ha prodotto una ricca documentazione che si può riassumere come segue per gli aspetti geotecnici:

- 1) La presenza di un reticolo di gallerie minerarie può generare fenomeni non prevedibili di subsidenza superficiale per il crollo delle gallerie medesime;
- 2) La qualità eterogenea del riporto (scarti di miniera) con presenza di porzioni fini limoso argillose è esposta alle variazioni del grado d'umidità ed al dilavamento, cioè all'asportazione di tali porzioni da parte delle acque, sia meteoriche, sia di rete, mentre la falda trovandosi a profondità di oltre 20m dal p.c. non ha alcuna influenza al riguardo;
- 3) Alcuni tipi di lesioni sono fisiologiche per il tipo di struttura muraria e per l'età raggiunta con carenze di manutenzione.

Dall'esame dei quadri fessurativi si è giunti a distinguere tre tipi di lesioni:

- A) Cedimento fondale
- B) Lesione strutturale
- C) Lesioni nei corpi aggiunti.

Dall'alto verso il basso la stratigrafia può riassumersi come segue:

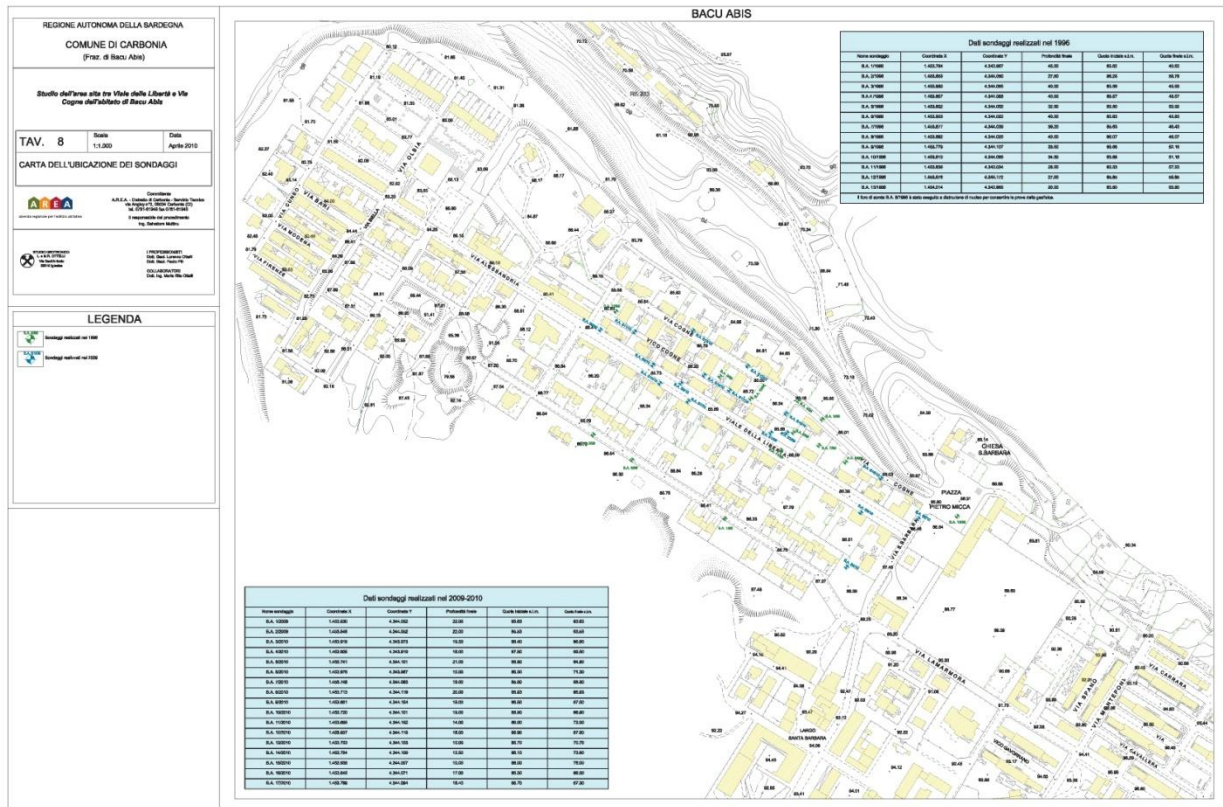
- a) – Materiale di riporto (scarti di miniera) con più o meno frazione fine e con vuoti; sino a -15m
- b) – Argillite grigia, carbone e vuoti; sino a 22m;
- c) Calcare grigio fossilifero con passaggi di carbone.

Dalle prove sulle argilliti si evidenziano le notevoli variazioni della resistenza a compressione, della coesione, dell'angolo d'attrito e del grado d'umidità, mentre il peso di volume è praticamente costante per i tre sondaggi esaminati.

Avendosi un range dell'angolo d'attrito $20^{\circ} \div 28^{\circ}$ circa, il contenuto in sabbia è variabile.

Si rammenta che i dislivelli del p.c. sono dell'ordine di $0,50 \div 0,70$ m e l'argillite è compresa tra $-5,40 \div 17/18$ m per i sondaggi B.A.9 e B.A.10, mentre è tra $-2,5 \div 10$ m in B.A. 11; quindi, il tetto delle argilliti ha una sensibile pendenza da B.A 11 verso B.A. 9 e 10 e ciò

spiega il basso grado di umidità nei livelli superficiali di B.A. 11 nel quale, peraltro, è stato rilevato un vuoto al contatto con le argilliti a testimoniare una circolazione idrica dilavante. (v. planimetria).



Allora, la circolazione idrica, sia meteorica, sia per perdite di rete è comandata dalla morfologia delle argilliti (praticamente impermeabili) sottostanti il riporto e, quindi, una perdita di rete determina dilavamento per distanze ben al di là dell'intorno del punto origine.

3.0. – ESAME DEL QUADRO FESSURATIVO

Come accennato, l'esame delle lesioni di ogni tipo presenti negli edifici porta a concludere che esse possono essere raggruppate in tre categorie di cause, indipendenti tra loro:

- A) - cedimento fondale
- B) – effetti connessi ad ammaloramento strutturale

C) – applicazione di nuovi carichi concentrati e/o eccentrici tramite strutture aggiuntive.

A. – CONSIDERAZIONI SUI CEDIMENTI

Si tratta di filature con il tipico andamento a taglio (cioè a 45° circa), non recenti e sostanzialmente stabilizzate; la loro ampiezza è inferiore all'ordine del millimetro e non costituisce elemento di pericolo statico con l'eccezione dell'edificio 8054 nel quale, oltre ad una ben maggiore ampiezza, si osserva la ripetizione della filatura medesima così da interessare gran parte della parete ed, infatti, è già stato destinato alla demolizione.

Gli altri edifici interessati da cedimenti fondali sono l' 8098 e, in parte, 8122.

In generale, quindi, resta da esaminare il consolidamento e, a seguire, una cucitura delle murature in pietrame mediante barre incrociate.

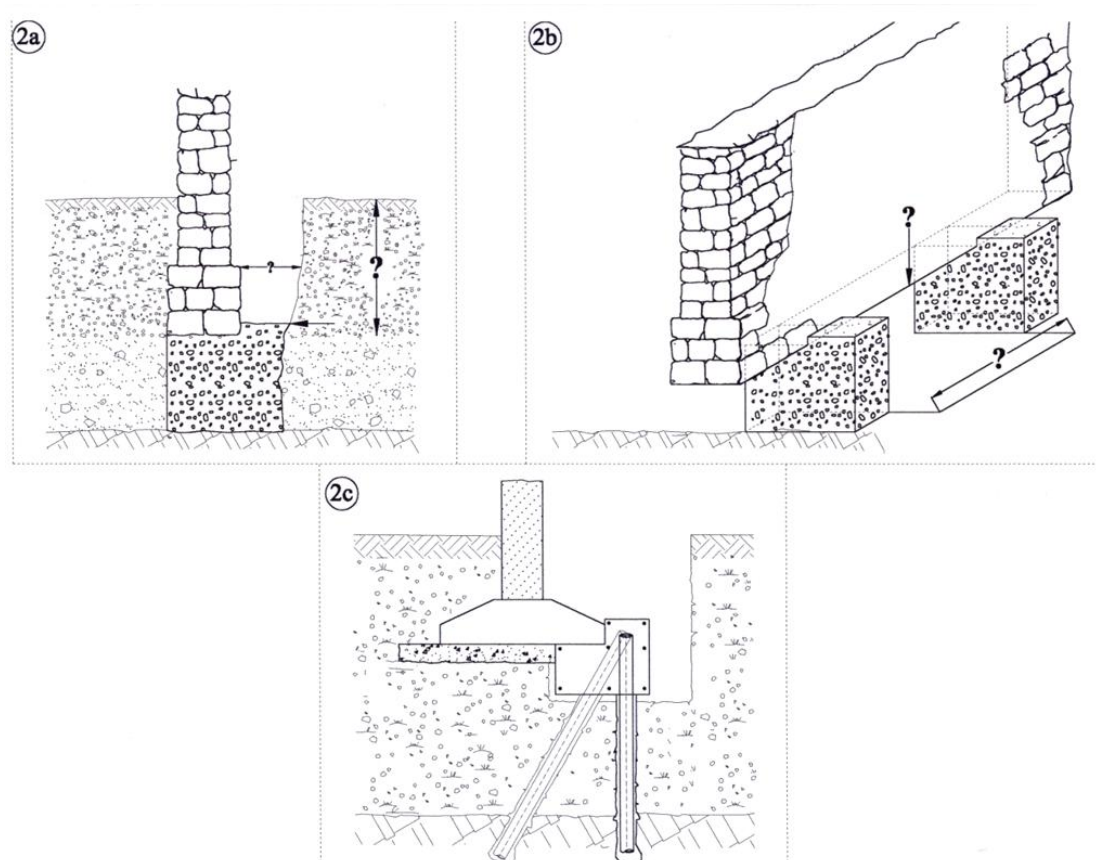
Nei casi segnalati di gallerie sottostanti o in prossimità dell'edificio, i pali di consolidamento devono superare la quota delle gallerie e, quindi, per l' 8098 si tratta di lunghezze dell'ordine dei 18-19m + 3m di incastro, escludendo l'appoggio sulle argilliti; infatti, posto che la scelta dei pali tende a conseguire la massima sicurezza, non c'è motivo di rischiare possibili cedimenti a lungo termine per fenomeni di creep indotti dall'acqua di perforazione o della stessa malta sulle pareti del foro.

Per il consolidamento si sconsiglia il generico metodo di letteratura con micropali incrociati in quanto l'altezza della fondazione in pietrame (0,50÷0,80m) non garantisce il necessario ammorsamento.

L'affidabile metodo "a pinza" (micropali esterni ed interni collegati da un cordolo in c.a. tirantato) risulta invasivo e molto oneroso.

Resta il metodo "a cavalletto" come da schema **2c)** allegato, quale variante della sottofondazione per conci **2b)**, particolarmente idoneo per i casi di limitata estensione dell'intervento come per gli spigoli di 8098, con congruo tratto oltre la lesione.

L'elemento verticale garantisce la stabilità e fornisce il sostegno all'elemento inclinato di circa 10°÷15° che riceve il carico della muratura potendo reagire cautelativamente per il solo "taglio" dell'armatura tubolare.



VERIFICA DELLA PORTANZA E DIMENSIONAMENTO DEL CONSOLIDAMENTO

Per l'equivalenza indicata nelle NTC con il parametro V_{s30} , la categoria di sottosuolo risulta essere "B":

Classe B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Per quanto descritto, la parametrizzazione del calcare intercettato nel sito non può essere univoca ed allora lo scrivente ritiene opportuno riferirsi alla casistica sperimentale di letteratura, quale quella proposta da "A. Segre – TECNICAVI S.p.A."

Il metodo consiste nella stima del valore di resistenza al taglio secondo la formula di Coulomb e nelle successive verifiche di estrazione; allora, piuttosto che i più elevati valori del calcare si consigliano quelli di "ardesia – dolomite e arenaria" con circa $1,8 \text{ MPa} \cong 18 \text{ kgf/cm}^2 \cong 1,8 \text{ t/m}^2$.

Al fine di non attuare un intervento troppo invasivo con grossi macchinari, si propone il ricorso a pali del Ø160mm.

Ne consegue una superficie laterale $SI = 50,26 \text{ cm}^2 + 5 \div 10\% = 52,8 \div 55,3 \text{ cm}^2$ per metro di palo.

Come già detto, in base all'esperienza diretta, il palo può considerarsi validamente incastrato con l'inserimento di un tratto di circa 3m nella roccia calcarea e, quindi, si ha una resistenza a taglio $\tau = 1,8 \cdot 300 \cdot 52,8 \div 55,3 = 28512 \div 29862$, cioè una media di 29000 kgf = 29t con coefficiente di sicurezza pari a 1, ma trascurando il contributo della punta e con le assunzioni molto cautelative riguardo la resistenza della roccia.

Per l'armatura tubolare si considera il profilo Ø88,9mm e spessore 8mm; il fornitore indica la qualità Fe 510 corrispondente ad un limite di snervamento $\sigma_s = 3550 \text{ daN/cm}^2$ ed una tensione ammissibile a trazione e compressione $\sigma_{adm} = 2400 \text{ daN/cm}^2$ come da Norme per spessori $s \leq 40 \text{ mm}$; la resistenza a taglio è data da $\tau_{adm} = 0.577 \sigma_{adm} \cong 1385 \text{ daN/cm}^2$.

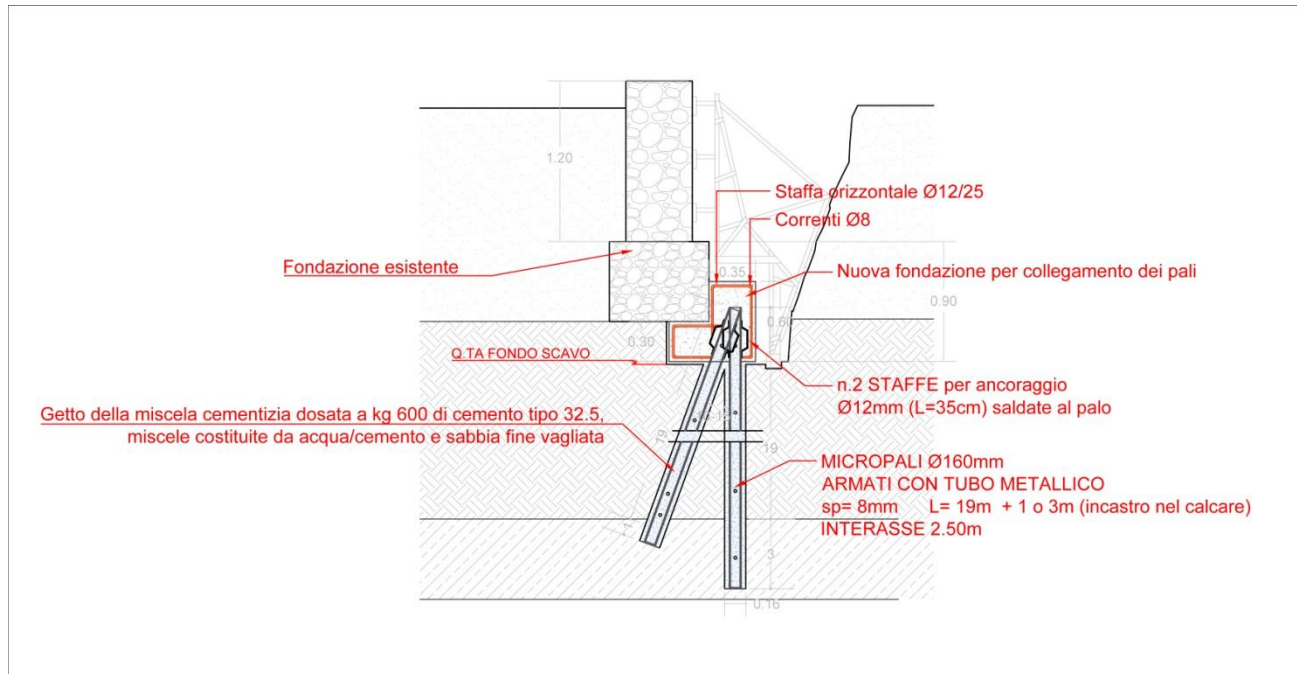
La sezione è $A_{f88,9} \cong 20.33 \text{ cm}^2 = 0.00203 \text{ m}^2$ e, quindi, la portata assiale è pari a 48,85t e quella a taglio è pari a $= 28157 \text{ daN} = 28\text{t}$ circa che costituisce il limite inferiore nel sistema a "cavalletto".

Si prevede l'uso di malta o boiaccia con $R'_{bk} = 300 \text{ daN/cm}^2$ associabile ad una resistenza a taglio $\tau_{cam} = 6 \text{ daN/cm}^2 = 60 \text{ t/m}^2$. Per analogia dell'armatura tubolare d'acciaio con le barre lisce, l'aderenza armatura-malta è $\tau_{aam} = 1,5 \tau_{cam} = 90 \text{ t/m}^2 = 9 \text{ daN/cm}^2$.

Con questi elementi, posto che l'analisi dei carichi ha fornito 6,2 t/m di muratura in pianta, l'interasse i del cavalletto è pari a $28/6,2 = 4,52 \text{ m}$ che appare eccessivo in rapporto alla resistenza a taglio della muratura.

Secondo tabelle sperimentali (cfr. B. Ortolani – 2012) per una muratura a conci di pietra tenera la resistenza media a taglio è valutata $\tau_0 = 2,8 \div 4,2 \text{ N/cm}^2$; assunto il cautelativo valore minore, per larghezza di muratura 0,40m e per una lunghezza pari a 1m si ottengono $(28 \cdot 0,4) = 11,2 \text{ t}$ e, per arrotondamento, l'interasse si riduce a 2,5m ($= 28/11,2 \cdot 1,25$) con l'ulteriore coefficiente di sicurezza pari a 1,25 e prevedendo un piccolo allargamento della testa di collegamento/sottofondazione.

Poiché la tratta interessata è lunga circa 11m + circa 5m, il numero di cavalletti (compresi quelli d'estremità) è pari a 4+1 dove l'ultimo è condiviso con l'altra tratta e, quindi, 2 nella seconda tratta per complessivi 7x2 elementi; ora, confermato l'incastro di circa 3m per gli elementi verticali, per quelli inclinati di 10° ÷ 15° che lavorano come “puntoni” del sistema, è sufficiente un incastro minimo, ad es. 1m; si perviene allora a (7*22m + 7*20m) per un totale di (154 + 140)= 294m.



B. – CONSIDERAZIONI SULLE STRUTTURE

Nel gruppo B) rientrano numerosi casi con scostamenti stagionali dell'ordine del decimo di millimetro, ma non è stato rilevato alcun indicatore di cedimento fondale e, pertanto, l'intervento sarà limitato alla cucitura della muratura.

L'intervento sulle murature viene effettuato attraverso differenti applicazioni in base alla grandezza e pericolosità della lesione.

Per le lesioni evidenti ma superficiali (non passanti), cioè che interessano un solo lato della muratura si procederà attraverso consolidamento con maglie in fibra di vetro, mentre per le lesioni di maggiore intensità, ovvero lesioni profonde (anche passanti), si procederà con interventi che prevedono in aggiunta l'inserimento di barre d'acciaio perpendicolari alla

lesione al fine di ripristinare la connessione tra i paramenti murari, disposte con un interasse di 50cm tra loro lungo tutta la lesione.

Le barre saranno inserite dalla parte esterna del muro in corrispondenza dei giunti di malta, al fine di non danneggiare l'elemento lapideo.

Lesioni superficiali:

- a) preparazione locale della parete in muratura, eseguendo lo scrostamento della finitura del muro con idoneo mezzo ed attrezzatura fino alla messa a nudo e successivamente un lavaggio accurato della superficie muraria con getto d'acqua per eliminare le polveri ed eventuali detriti, per una fascia larga circa 110-120cm a cavallo della lesione. La muratura, in corrispondenza della zona di intervento, deve essere bagnata con supporto portato a saturazione a superficie asciutta, per evitare la sottrazione del lattice alla matrice del sistema di rinforzo da parte delle pietre;
- b) preparazione della matrice (malta premiscelata bicomponente ad elevata duttilità a base calce idraulica (NHL) ed ecopozzolana, bicomponente, rinforzata con l'aggiunta di fibre di vetro) e predisposizione di rete a maglie quadrate bilanciata ($0^\circ - 90^\circ$) in fibra di vetro di qualità alcali-resistente (vetro A.R.) o in fibra di basalto, apprettata durante la preparazione della matrice (malta). La polvere è additivata con il lattice per migliorarne l'adesione al supporto;
- c) esecuzione delle fasce di rinforzo applicando, per una fascia larga minimo 100cm a cavallo della lesione, con spatola metallica piana, un primo strato uniforme di malta fino a realizzare uno spessore minimo di 4mm. Se la superficie muraria di supporto presenta sensibili irregolarità da pareggiare, con un livellamento anche di alcuni centimetri, la malta viene applicata in più strati, ciascuno di spessore massimo 6mm, in sequenza "a fresco", fino a raggiungere lo spessore richiesto. In alternativa è possibile utilizzare lo stesso tipo di malta con carica di inerti finì formulata per applicazioni fino a 25cm per mano;
- d) sullo strato di malta ancora "fresco" si posiziona la rete esercitando una leggera pressione con una spatola metallica piana in modo da farla aderire perfettamente alla malta applicata;
- e) applicazione di un secondo strato di malta per la ricopertura della rete fino a completa regolarizzazione con le superfici adiacenti.

Per ricoprire la lesione in ogni sua parte dello sviluppo lineare ed adattarsi al relativo andamento, la rete di rinforzo può essere applicata in forma di segmenti sequenziali a

forma di “spezzata” avendo cura di assicurare nelle zone di sovrapposizione dei segmenti contigui un sormonto = 15-20 cm.

Lesioni profonde:

- a) preparazione locale della parete in muratura, eseguendo lo scrostamento della finitura del muro con idoneo mezzo ed attrezzatura fino alla messa a nudo e successivamente un lavaggio accurato della superficie muraria e della lesione con getto d'acqua per eliminare le polveri ed eventuali detriti, per una fascia larga circa 110-120cm a cavallo della lesione. La muratura, in corrispondenza della zona di intervento, deve essere bagnata con supporto portato a saturazione a superficie asciutta, per evitare la sottrazione del lattice alla matrice del sistema di rinforzo da parte delle pietre;
- b) formazione di apposita sede (scasso sulla parete) per l'inserimento di barra d'acciaio inox Ø8mm con lunghezza pari ad almeno 50cm per parte e distanziate tra loro con un passo di 50cm.
- c) chiusura dello scasso con boiaccia realizzata con un legante premiscelato idraulico fillerizzato esente da cemento a base di eco-pozzolana ed inerti selezionati. Il legante utilizzato per la miscela da iniezione (boiaccia) dovrà essere esente da sali idrosolubili (non deve interagire negativamente con gli eventuali Sali solfatici preesistenti nella struttura da consolidare, né deve apportare componenti alcalini – sodio, potassio – capaci di innescare pericolosi fenomeni espansivi con gli elementi lapidei alcali-reattivi) ed avere stabilità dimensionale raggiunta in tempi brevi.
- d) applicazione rete a maglie quadrate bilanciata (0° - 90°) in fibra di vetro di qualità alcali-resistente (vetro A.R.) o in fibra di basalto, apprettata durante la preparazione della matrice (malta) e successivamente stesura di un secondo strato di malta, con finitura simile a quella esistente, per la ricopertura delle barre e della rete fino a completa regolarizzazione con le superfici adiacenti, sempre rispettando le prescrizioni chimico fisiche della boiaccia inserita nello scasso.

Resta confermata l'esigenza di una revisione di tutta la rete di adduzione e di scarico delle acque che è stata affidata a terzi.

Analogamente, si era rilevato il problema della capriata centrale con la catena in legno ammalorata e la sua sostituzione rientra in altro intervento.

Cagliari lì, Febbraio 2016

IL PROGETTISTA
DOTT. ING. MARCO MARTIS