

PROGETTO RESTAURARE SOTT'ACQUA

SCHEDE DEGLI STRUMENTI IDEATI E DEI MATERIALI SPERIMENTATI

Iniettore di malta a pressione

Lo strumento realizzato per l'iniezione delle malte entro vaste lacune o profonde lesioni è un erogatore pneumatico a pressione, progettato appositamente per l'utilizzo in immersione. Questo è costituito da un serbatoio in acciaio inox a chiusura stagna, dotato di un coperchio che ospita il manometro e le valvole di sicurezza. Da esso si diparte un tubo di gomma per irrigazione di lunghezza variabile, con rubinetto di erogazione a ugelli intercambiabili di calibro diverso all'estremità, che permette l'uscita della malta. All'interno del serbatoio di acciaio è collocato un contenitore cilindrico in PVC per la malta, della capacità di circa 10 lt. Il suo coperchio è costituito da un pistone a tenuta stagna fornito, sulla sommità, di una apertura per l'innesto di un tubo di gomma di raccordo tra il pistone e il coperchio del cilindro di acciaio. L'aria compressa passa da una bombola ARA da 15 lt all'interno del serbatoio di acciaio e comprime il pistone ad una pressione massima di 5 atmosfere. La compressione determina la discesa del pistone nel cilindro di PVC e l'entrata della malta nel tubo di raccordo che la convoglia verso l'uscita sul coperchio. Da qui, la malta è erogata attraverso il tubo di gomma da irrigazione. Sia la bombola per l'aria che il serbatoio sono alloggiati entro un apposito telaio realizzato con tubolari di acciaio inox, con assetto negativo e stabile sul fondo. L'ideazione dello strumento è di Roberto Petriaggi mentre il progetto e la realizzazione si devono all'ing. G. Santinelli.

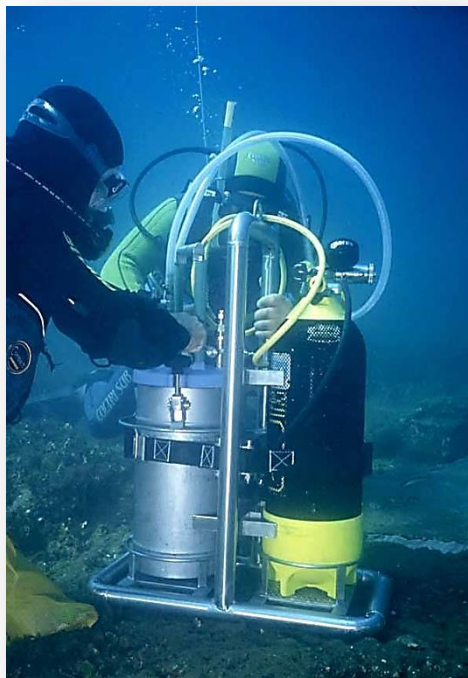


Figura 1. Baia (Napoli). Iniettore di malta a pressione

Sacche in tela idrorepellente per iniezione della malta

Queste sacche del tipo analogo a quello usato in pasticceria, di forma troncoconica, munite di ugelli, di dimensioni adatte a regolare la fuoriuscita della malta e a farla penetrare in maniera ottimale, in particolare all'interno delle piccole lacune, sono utilizzate per il consolidamento dei mosaici e delle strutture murarie. A seconda delle dimensioni, la loro capacità varia da 1,5 kg a 3,00 kg circa. Il riempimento della sacca avviene sull'imbarcazione appoggio; quindi, le aperture di entrata e di uscita sono chiuse ermeticamente. Il restauratore può portare sul fondo la riserva necessaria a compiere un lotto di lavoro senza dovere emergere continuamente ad intervalli ravvicinati. L'applicazione avviene accostando il beccuccio della sacca alle cavità da riempire ed esercitando su di essa una adeguata pressione.



Figura 2. Baia (Napoli). Villa con ingresso a protiro. Iniezione della malta con l'ausilio di sacche in tela idrorepellente

Manipolo porta strumenti

La rimozione dei resti degli organismi bivalve e delle incrostazioni calcaree è particolarmente difficile ed impegnativa con il bisturi, e rischiosa per l'integrità delle superfici sottostanti, impiegando gli scalpelli. Per risolvere questa situazione è stato utilizzato, come porta strumenti, un manipolo di acciaio inox, normalmente usato negli interventi di chirurgia ortopedica, modificato ed adattato al lavoro subacqueo per l'impiego di frese, punte trapanatrici, seghe ecc..



Figura 3. Baia (Napoli). Villa dei Pisoni. Particolare di restauratore mentre rimuove incrostazioni biologiche con l'ausilio del manipolo porta strumenti

Funzionante ad aria compressa, esso è alimentato dalla superficie con un compressore portatile da 4 KW dalla capacità di carica di 10 l/m, per ricarica di bombole ARA. Il compressore è collegato ad un bibombola da 20 lt in serie con un serbatoio, per garantire una riserva d'aria quasi costante. Una manichetta a bassa pressione di lunghezza adeguata fornisce aria allo strumento che è utilizzato sul fondo dal restauratore. Un flusso di aria potente e continuo, alla pressione di circa 10 atmosfere, è necessario per il buon funzionamento del manipolo; se lo spazio a bordo dell'imbarcazione appoggio è disponibile, è preferibile, quindi, l'utilizzo di compressori e serbatoi sovradimensionati.

Caratteristiche delle malte utilizzate dall'inizio della sperimentazione

- Albaria Iniezione Venezia® (dal 2001 al 2004): costituita da un premiscelato in polvere a base di calce, con cariche pozzolaniche fillerizzate e carbonati micronizzati, additivato con superfluidificanti, antidilavante, prodotto tixotropizzante e biocida. La scarsa viscosità della malta, pur se miscelata con minime quantità di acqua, e la presenza di inclusi selezionati, ne permetteva una erogazione costante, ed il flusso in uscita poteva venire efficacemente regolato.
- Albaria Allettamento Strutturale® (dal 2001 al 2004): costituita da un premiscelato in polvere a base di calce e metacaolino pozzolanico, misto ad aggregati silicei di fiume di granulometria selezionata ad additivata con antidilavante e biocida. A questa malta sono state addizionate, secondo le necessità di adeguamento cromatico, terre ventilate e pigmenti (ossido Bayer®). L'utilizzo di questa malta con l'iniettore a pressione ha generato qualche inconveniente, principalmente a causa della maggiore granulometria degli inerti che provocava frequenti intasamenti degli ugelli dello strumento.
- Volteco Microlime Gel® (dal 2005 al 2014): usata sia per allettamento che per iniezione, è una miscela composta da leganti aerei ed idraulici, cariche ad azione pozzolanica ed inerti di elevata finezza, additivata con specifici addensanti tali da conferire un comportamento di tipo pseudoplastico (gel). La malta consente di eseguire iniezioni localizzate garantendo la permanenza del legante nella zona di impiego e ha dimostrato un'ottima resistenza al dilavamento.

Nel 2003 è stato specificatamente studiato e formulato dalla MAC un biocida per la protezione delle malte a base di leganti idraulici. La preparazione non conteneva metalli ma un derivato triazinico con profilo tossicologico migliore rispetto ai tradizionali antialga-erbicidi a base di diuron. Dopo un iniziale impiego sperimentale a Torre Astura, tuttavia, nel 2004 il biocida non è stato più aggiunto alla malta, per una migliore tutela dell'ambiente.

Coperture protettive: Geotessuti

Sono stati utilizzati geotessuti in teli del tipo Terram 2000® e Terram 4000®, forniti gratuitamente dalla Maccaferri S.p.A..

- Teli di geotessuto nero: utilizzato per la copertura del mosaico della Villa con ingresso a protiro (Parco Sommerso di Baia) con lo scopo di limitare al massimo l'irraggiamento della superficie e, conseguentemente, lo sviluppo della colonizzazione biologica. Dopo 48 ore dalla sua applicazione sulla superficie del mosaico erano presenti delle impronte di colore nero, causate dalla solubilizzazione del colorante utilizzato per tingere il tessuto e dalla conseguente migrazione, del colorante stesso, sulle tessere musive. Dopo la nuova pulitura delle superfici, il geotessuto nero non è stato più utilizzato.

- Teli in geotessuto bianco: utilizzati per la prima volta in via sperimentale per la copertura del mosaico della Villa dei Pisoni (Parco Sommerso di Baia) e ancorati sul fondo mediante sacchetti di sabbia; si tratta di un metodo di controllo indiretto dello sviluppo delle colonie infestanti, mirato all'eliminazione dell'irraggiamento solare e alla diminuzione dell'apporto di particolato nutritivo direttamente sulle superfici.



Figura 4. Baia (Napoli). Villa dei Pisoni. Pavimento musivo coperto con geotessuto bianco e sacchetti di sabbia

- Teli in geotessuto con "finestra": sono stati utilizzati per la copertura del pavimento in *opus sectile* delle terme di Punta dell'Epitaffio (Parco Sommerso di Baia) per evitare la colonizzazione di organismi biodeteriogeni e facilitare la visita dei subacquei. Il tessuto è stato appesantito da sacchi riempiti con ghiaio calcareo. Nell'angolo Ovest del pavimento il geotessuto è stato tagliato così da ricavare una sorta di "finestra" (della superficie di circa 0,5 mq) che consenta un'agevole visione della pavimentazione senza necessità di movimentare i sacchi e le coperture. La scelta è stata dettata dalla necessità di coniugare le esigenze



Figura 5. Baia (Napoli). Punta dell'Epitaffio. Pavimento in *opus sectile* coperto da teli in geotessuto con "finestra"

delle guide subacquee che accompagnano gli escursionisti in visita al parco, con quella di salvaguardare i siti su cui si interviene.

-Tappetini imbottiti di ghiaino: i teli di geotessuto sono stati utilizzati occasionalmente anche nella forma di speciali tappeti imbottiti di ghiaia, più stabili ed efficaci, di per sé, anche senza dover ricorrere ai sacchetti di sabbia per il mantenimento in posto. Quest'ultima caratteristica favoriva una più rapida rimozione nel corso delle visite dei subacquei ed una più comoda ricollocazione.



Figura 6. Baia (Napoli). Villa dei Pisoni. Pavimento in mosaico protetto con tappetini di geotessuto riempiti di ghiaino.

Lamine di alluminio per il contenimento del profilo esterno dei pavimenti

Per mantenere la forma e la dimensione dei cordoli durante l'indurimento della malta è stato ideato l'utilizzo di lamine di contenimento di alluminio spesse 2 mm e di altezza variabile. Queste vengono infisse nel fondale per almeno 5 cm o comunque fino a trovare un fondo compatto. La scelta dell'alluminio è stata determinata dalle sue qualità che consentono di sagomare la forma delle lamine per seguire il profilo, spesso irregolare, dei pavimenti. Inoltre l'alluminio denota una buona durabilità in acqua di mare. Le lamine vengono posizionate ad una distanza compresa tra i 5 ed i 10 cm dal perimetro dei pavimenti. Per fornire alla malta una adeguata superficie di presa, la faccia interna della lamina viene preparata a terra spalmando uno strato di resina epossidica bicomponente ricoperta di graniglia di cocchiopesto. La finitura dell'intervento di



Figura 7. Baia (Napoli). Villa dei Pisoni. Il restauratore inietta la malta tra la lamina di alluminio ed il profilo esterno del pavimento a mosaico.

restauro avviene, come di consueto, utilizzando gli strumenti tradizionali e riportando il livello del fondale circostante a filo del profilo del pavimento.

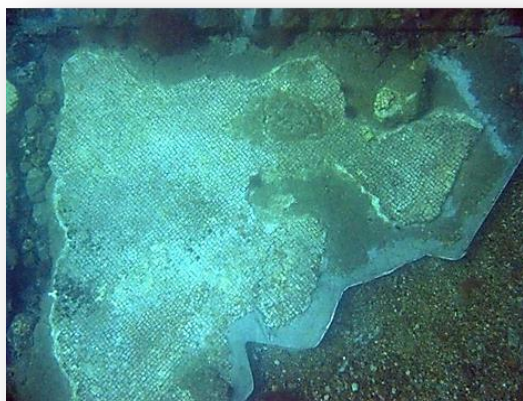


Figura 8. Baia (Napoli) Villa dei Pisoni. Pavimento a mosaico con l'inserimento di lamine di alluminio dopo il restauro.

Controforma in lamine di alluminio

La controforma è stata utilizzata su una semicolonna in muratura della “Villa dei Pisoni” (Parco Archeologico di Baia Sommersa). A causa dell'eccessiva lacunosità della fondazione e del basamento, che aveva causato l'inclinazione della semicolonna, è stato deciso di ricostruirne gli elementi mancanti. La difficoltà dell'operazione consisteva nella scarsa aderenza della malta su superfici verticali; in più, gli elementi di integrazione erano di notevole peso e dimensioni. La controforma in lamine di alluminio, applicata su tre lati del basamento, aveva la funzione di mantenere in posizione gli elementi lapidei durante il tempo necessario all'indurimento della malta. Tale controforma, progettata in tre elementi con innesti ad



Figura 9. Preparazione della controforma in lamine di alluminio



Figura 10. Baia(Napoli). Villa dei Pisoni, muro del *viridarium*. Controforma in lamine di alluminio utilizzata sulla base di una semicolonna in muratura

incastro, è stata messa in opera dopo un accurato rilievo del fondale e del basamento, per evitare la fuoriuscita della malta o lo spostamento dei conci in pietra. Le lamine della controforma presentavano il vantaggio di poter essere rimosse in qualsiasi momento per verificare l'effettiva tenuta della riparazione. Per la sua realizzazione ci si è ispirati alla cassaforma di fondazione romana.

Fasce di plexiglass e policarbonato

Per la messa in sicurezza delle tavole di fasciame della fiancata destra del relitto dell'isola Martana (Lago di Bolsena), è stato progettato e realizzato, un sistema composto da fasce di plexiglass e di policarbonato. Per riposizionare le tavole del fasciame dislocate verso l'esterno e collassate sia per la mancanza di sostegno interno sia a causa della pressione esercitata dal carico di mattoni al momento del



Figura 11. Isola Martana (Lago di Bolsena). Particolare della fiancata del relitto con in primo piano le fasce di plexiglass e di policarbonato.

naufragio, si è proceduto nel seguente modo: il carico di mattoni è stato parzialmente rimosso. Sono state posizionate all'interno del relitto nuove ordinate di policarbonato, materiale resistente, flessibile e trasparente e quindi non invasivo, i mattoni sono stati riposizionati. In corrispondenza di queste ordinate, all'esterno del fasciame sono state accostate delle fasce di plexiglass trasparente, forate all'altezza dei comenti, in modo tale da poter essere collegate alle ordinate di policarbonato per mezzo di sottili perni di acciaio inox fatti passare tra i comenti e attraverso le lacune del fasciame, senza mai forare il legno. In questo modo è stata ricostruita l'unità formale e strutturale del manufatto, assicurando anche una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche.

Protezione Catodica - anodi di sacrificio con perni zinco

La Protezione Catodica è un metodo elettrochimico usato per prevenire, rallentare e stabilizzare la corrosione. Il principio di funzionamento si basa sulla possibilità di abbassare il potenziale



Figura 13. Telaio di acciaio inox.

di un metallo facendo circolare sulla sua superficie una corrente continua in senso catodico, rendendo il metallo immune con annullamento o riduzione della sua velocità di corrosione. Pertanto viene collegato elettricamente il metallo da proteggere con un *anodo di sacrificio* (un metallo meno nobile), sul quale si concentrano le reazioni anodiche di consumo, mentre le reazioni catodiche si localizzano sulla superficie del metallo da proteggere. La tecnica è stata adottata per la conservazione dei cannoni in ghisa presso l'isola di Marettimo (TP), con la consulenza del Dipartimento ICMA Università Sapienza di Roma, grazie alla collaborazione della Soprintendenza del Mare Siciliana. È stato progettato un sistema composto da un telaio di acciaio inox a forma di U installato sui cannoni e collegato a due anodi in lega di zinco contenente alluminio e cadmio in barre cilindriche di diametro pari a 7 cm e lunghezza 10 cm, con cablaggio in filo di rame rivestito.

di un metallo facendo circolare sulla sua superficie una corrente continua in senso catodico, rendendo il metallo



Figura 12. L'anodo di sacrificio con cablaggio in filo di rame rivestito.

immune con annullamento o riduzione



Figura 14. Isola di Marettimo (TP) Cala Spalmatore. Il tecnico misura la velocità di corrosione sul cannone protetto con il sistema di protezione catodica costituito dal telaio di acciaio inox e anodi .

Per garantire un efficace collegamento elettrico con il metallo da proteggere, è stato realizzato un perno di supporto per i cavi di rame. Per ogni cannone sono stati installati due anodi, posti lateralmente al fusto del cannone e collegati al telaio, tramite il perno, all'altezza della culatta. Le misure di potenziale di corrosione effettuate con uno strumento subacqueo Corrintec Rust Reader Device (Corrintect Marine House, Chesterfield, UK) dopo il collegamento agli anodi di sacrificio, hanno confermato che il



Figura 15. Isola di Marettimo (TP) Cala Spalmatore. Particolare del cannone con il sistema ad espansione costituito da un singolo perno collegato agli anodi mediante un cablaggio in filo di rame rivestito.

metallo costituente il cuore del cannone era in una condizione di stabilità, e che la velocità dei processi di corrosione attivi sull'intera superficie era estremamente ridotta. Il sistema composto da anodi e telaio negli anni è stato migliorato per rendere minimo l'impatto visivo ed oggi in sostituzione del telaio è stato messo a punto un sistema ad espansione costituito da un singolo perno collegato agli anodi mediante un cablaggio in filo di rame rivestito.

Pannelli esplicativi

Pannelli didattici innovativi sono stati progettati e utilizzati per la realizzazione di un itinerario di visita subacqueo presso il "Relitto dei Sarcofagi" in San Pietro in Bevagna (Manduria-Taranto). I pannelli, stampati su plexiglass con fondo in colore giallo arancio di cm 70X70, sono stati inseriti in box di acciaio inossidabile con



Figura 16. Relitto di San Pietro in Bevagna (Taranto). Subacqueo mentre consulta il pannello esplicativo inserito nel box in acciaio inox.



Figura 15 Relitto di San Pietro in Bevagna (Taranto). Il Box in acciaio inox chiuso.

coperchio mobile, montati su plinti costituiti da due dadi di cemento, vuoti internamente, collocati uno sull'altro sul fondo marino. L'ancoraggio dei plinti è stato realizzato mediante una barra filettata in acciaio inox da 16 mm, passante attraverso le basi perforate dei dadi e fissata sul fondale roccioso con il cemento. L'interno dei dadi è stato colmato di sabbia e sulla sommità è stato collocato un piano di cemento sul quale sono state vincolate le teche di acciaio contenenti i pannelli. I coperchi delle

teche, dotati di un sistema di bloccaggio a molle, possono essere aperti dai subacquei, per consentire la lettura dei pannelli e, quindi richiusi al termine della visita per assicurare la massima protezione delle superfici del pannello di plexiglass.