

Re-use of scrap from stone cutting as filler in lime mortar: the case of leccese stone

Riutilizzo di scarti della lavorazione della pietra nelle malte: il caso della pietra leccese

G. Centonze¹, M.S. Sciolti¹, M. Frigione¹, M.A. Aiello¹

¹ *Department of Engineering for Innovation, Università del Salento, Lecce, Italy*

ABSTRACT: Usually the processing cycle to obtain different products using stone (construction blocks, ornamental elements, etc.) is carried out by cutting massive blocks with CNC system using water as lubricant. As a consequence, large amounts of fine powders are generated, compacted and stored in outdoor spaces. The production of this scrap amount depends on the processing cycle performed. In recent years recycling of waste by-products to reduce environmental impact, promoting sustainability in construction has become a relevant issue for the scientific community. Recent research studies proposed the use of several materials recycled from waste in construction technologies, even for mortar production. The objective of the experimental work herein discussed is to reuse scrap powders, based on waste products of local stone as filler in mortar formulations. The formulation of a new, sustainable, lime based mortar was designed and optimized with the aim of being used for the reinforcement of masonry structures. / Il ciclo produttivo per ottenere prodotti in pietra (blocchi da costruzione, elementi decorativi, ecc.) prevede il taglio di blocchi massivi attraverso sistemi CNC che usano acqua come lubrificante. La conseguenza è la produzione di grandi quantità di polveri fini che vengono compattate e stoccate in depositi esterni. La produzione di tali quantitativi di scarti è legata allo specifico ciclo produttivo. Negli ultimi anni il riciclo di prodotti di scarto per ridurre l'impatto ambientale promuovendo la sostenibilità è diventato un aspetto rilevante per la comunità scientifica. Recenti studi sperimentali hanno trattato l'applicazione di diversi prodotti di scarto nelle tecniche costruttive, anche nella produzione di malte. L'obiettivo del lavoro presentato è quello di riutilizzare polveri di scarto provenienti dal taglio della pietra locale come filler nella composizione di malte. Pertanto è stata ottimizzata una nuova malta sostenibile a base di calce da impiegare nel consolidamento di strutture murarie.

KEYWORDS: Mortar, filler, recycling / malta, filler, riciclo

1 INTRODUZIONE

La riduzione del consumo di energia dovuto alla produzione dei materiali per l'edilizia, strettamente connessa alle ben note problematiche di riciclo e impatto ambientale degli scarti di produzione è diventata una tematica molto discussa negli ultimi anni e su cui gli studi della comunità scientifica sono ancora in evoluzione. L'obiettivo principale della maggior parte degli studiosi è quello di conseguire uno sviluppo sostenibile riducendo l'impatto ambientale legato alle tecnologie costruttive e l'emissione di gas in atmosfera dovuto alla produzione dei materiali.

In letteratura sono disponibili diversi lavori in cui viene studiata la composizione di malte impiegando aggregati provenienti da materiale riciclato di diversa natura (Frigione 2010; Corinaldesi et al. 2011; Ge et al. 2015; Thang et al 2016). L'obiettivo del presente lavoro è quello di realizzare una malta a base di calce che utilizzi il materiale di scarto delle lavorazioni della pietra leccese come inerte. Il materiale proviene da una ditta che produce manufatti in pietra leccese, utilizzando la tecnologia di taglio ad acqua.

Pertanto lo sfrido delle lavorazioni consiste in una fanghiglia di acqua e polveri fini che viene successivamente convogliata in un silo per drenare l'acqua in eccesso (Figure 1), poi compattata e stoccata all'esterno.

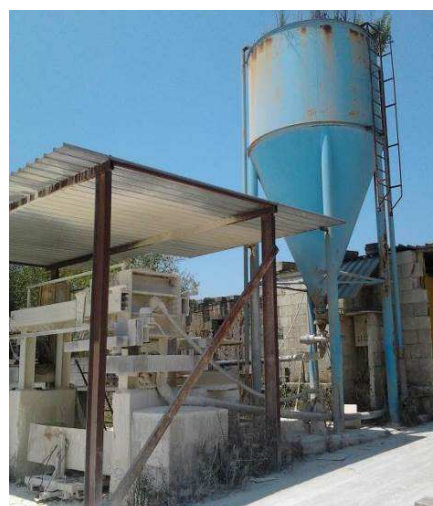


Figure 1. Powders compacting system / Sistema di compattamento delle polveri.

La malta di nuova formulazione è stata sviluppata con l'obiettivo di essere impiegata per il rinforzo di elementi strutturali in muratura: la malta, armata con una apposita rete in materiale composito, potrà essere applicata su pannelli realizzati con conci in pietra leccese al fine di migliorarne le caratteristiche meccaniche.

Il presente lavoro è stato sviluppato nell'ambito di un progetto di ricerca dal titolo "Prodotti, metodologie e tecnologie originali e sostenibili per la diagnostica e la conservazione dell'edilizia storica", finanziato dalla Regione Puglia nell'ambito del Programma Operativo Regionale FESR 2007-2013, Regione Puglia, Obiettivo Convergenza, ASSE I - Linea 1.2 - Azione 1.2.4, "Investiamo nel vostro futuro". La sperimentazione è stata condotta attraverso la sinergica collaborazione tra i gruppi di ricerca di Structural Engineering e Materials & Technologies for Construction and Cultural Heritage dell'Università del Salento, CNR e alcune aziende locali. Presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università si sono svolte le fasi di studio e ottimizzazione delle miscele e la successiva caratterizzazione delle proprietà reologiche e meccaniche delle malte realizzate.

2 PROGRAMMA SPERIMENTALE

La campagna sperimentale è stata focalizzata sull'ottimizzazione e sulla successiva caratterizzazione di malte a base di scarti della lavorazione della pietra leccese. L'attività si è articolata nelle seguenti fasi operative:

1. Analisi granulometrica delle polveri, precedentemente essiccate, provenienti dallo sfrido del taglio della pietra leccese;
2. Sviluppo, formulazione e selezione delle miscele di malte per intonaco sperimentale secondo le specifiche tecniche di prodotti utilizzabili nel campo della bioedilizia;
3. Caratterizzazione meccanica della malta selezionata allo stato indurito;
4. Prove sperimentali di aderenza tra fibre in GFRP e matrici di malta.

Nella prima fase dello studio sono stati essiccati i fanghi provenienti dalla ditta. Il materiale essiccato è stato macinato tramite un mulino a sfere e la polvere proveniente dalla frantumazione è stata vagliata meccanicamente mediante setaccio con apertura delle maglie di 0.075 mm. Il materiale passante è stato ritenuto un filler adatto ad essere impiegato per la composizione di malte. I grumi più grossolani di materiale trattenuti al setaccio sono stati sottoposti ad un ciclo aggiuntivo di macinazione ed addizionati alla frazione passante.

Nella seconda fase dell'attività, sono state individuate le materie prime che potessero garantire elevate prestazioni meccaniche in assenza di cemento ed evitando l'uso di additivi sintetici provenienti

dall'industria petrolchimica. Infatti, ipotizzando un impiego della malta nell'ambito delle strutture esistenti in muratura, spesso appartenenti al patrimonio dei beni culturali, ci si trova frequentemente in condizioni tali da dover escludere l'utilizzo di malte a base cementizia per una migliore compatibilità con il substrato murario.

3 MIX-DESIGN

Tenuto conto della necessità di non utilizzare cemento nella composizione delle malte, è stato ritenuto opportuno aggiungere una carica minerale che sviluppa una spiccata attività pozzolanica favorendo la reazione chimica con la calce. Tale reazione garantisce maggiore idraulicità e maggiore resistenza meccanica al prodotto finale. Riguardo alla scelta della calce adatta allo scopo, sono state percorse due strade: sono stati realizzati una serie di mix con differenti dosaggi di calce idraulica naturale NHL 3.5 ed altri con calce idraulica HL 3.5. A seguito della valutazione del comportamento reologico, le caratteristiche in fase plastica, la facilità di applicazione, l'assenza di ritiro plastico e le resistenze intermedie, è stata scelta una delle miscele a base di calce HL 3.5 e metacaolino. La miscela è stata infine sviluppata utilizzando sia filler calcareo naturale, sia filler riciclato dalla pietra leccese e due differenti frazioni di sabbia calcarea (Figure 2).

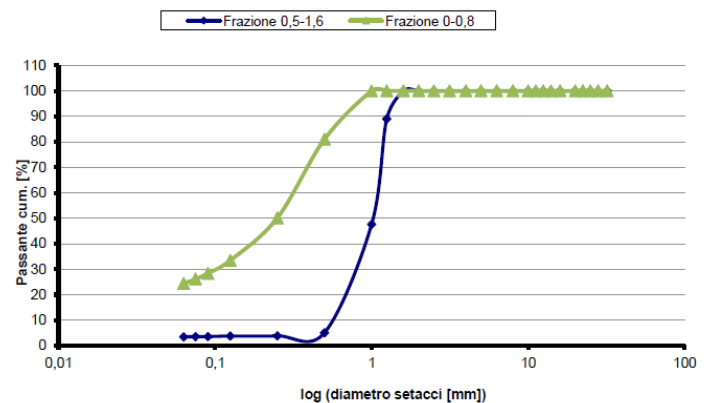


Figure 2. Granulometric distribution of the sand aggregates / Distribuzione granulometrica delle frazioni di sabbia impiegate come aggregati nella miscela.

All'interno della miscela sono state impiegate anche due differenti tipologie di derivati della cellulosa, nella fattispecie sono stati aggiunti una idrossipropil-metil cellulosa modificata (MethocelTM 228) ed una metil-idrossi-etil cellulosa modificata (Tylose[®] 15002 P6). Questi additivi modificano la reologia della malta migliorandone le proprietà allo stato fresco, soprattutto consistenza e lavorabilità, e favoriscono l'adesione al supporto. È stato utilizzato inoltre un agente tensioattivo con la funzione di aerante (Silipon[®] RN 6031) che ha il compito di stabilizzare il volume ed il diametro dei pori d'aria presenti nella matrice, conferendo una migliore traspirabilità al materiale. Infine è stato necessario im-

piegare un additivo superplasticizzante riduttore d'acqua (Melflux[®] 2651 F) per ottenere migliori prestazioni meccaniche. Rispettando le indicazioni del protocollo italiano per la certificazione di intonaci per la bioedilizia, redatto dall'Associazione Nazionale Architettura Bioecologica e dall'Istituto per la Certificazione Etica e Ambientale (ANAB-ICEA 2006) è stato possibile introdurre del cemento bianco, presente comunque in percentuale molto bassa nella malta sperimentale.

Sono state sviluppate fundamentalmente due tipologie di malta, diverse per la natura del legante. Il primo gruppo è stato realizzato con calce idraulica naturale NHL 3.5 in aggiunta ad una carica minerale che sviluppa attività pozzolanica. Il secondo gruppo è stato formulato grazie all'utilizzo di calce idraulica HL 3.5 anche in questo caso è stato addizionato un legante pozzolanico. E' stato ritenuto opportuno testare diversi dosaggi di legante e diverse tipologie di additivi in polvere. Grazie alle prove preliminari, valutando il contenuto d'aria, la consistenza e la massa volumica, sono stati selezionati 6 mix partendo da 24 miscele. Sono state, quindi, eseguite applicazioni in piccola scala per valutare l'assenza di fenomeni fessurativi causati dal ritiro plastico. Le 6 miscele, già testate in malta fresca, sono state sottoposte alle prove su malta indurita, in conformità alla norma UNI EN 998-1 (2010). In seguito a tali valutazioni è stata individuata la miscela ottimale rispondente alle specifiche esigenze di progetto (Table 1).

Table 1. Final mix-design / Miscela definitiva.

Components	[%]
Calce HL 3.5	22.02
Metacaolino	2.94
Cemento bianco	0.34
Filler riciclato	12.40
Filler calcareo	4.89
Aggregato I (0-0.8)	28.87
Aggregato II (0.5-1.6)	28.38
Methocel TM 228	0.03
Tylose [®] 15002 P6	0.03
Silipon [®] RN 6031	0.04
Melflux [®] 2651 F	0.03

3.1 Proprietà della miscela

La malta in polvere sviluppata è stata miscelata con il 19.1% di acqua, necessaria per rispettare i valori di spandimento indicati dalla norma UNI EN 1015 (2010). Successivamente, la malta selezionata è stata caratterizzata (Table 2) sia allo stato fresco sia allo stato indurito secondo quanto indicato nella norma UNI 998-1 (2010).

I risultati ottenuti collocano il prodotto nella famiglia delle malte di tipo GP (general purpose) che, secondo le indicazioni riportate nella norma UNI EN 998-1 (2010), rappresentano le malte per scopi generali per intonaci interni/esterni. Sulla base della caratterizzazione meccanica a compressione, la suddet-

ta norma classifica la malta studiata nella categoria CS III. Per quanto riguarda, invece, l'assorbimento capillare la malta viene classificata nella categoria W2 ($c \leq 0.2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$), che rappresenta il limite inferiore della scala.

Table 2. Mortar properties / Caratteristiche della miscela.

Properties		Average	UNI EN
Fresh consistence	mm	165.7 (± 0.6)	1015-3
Fresh consistence (15')	mm	165.3 (± 0.6)	1015-3
Fresh consistence (30')	mm	161.7 (± 1.5)	1015-3
Fresh consistence (60')	mm	159.3 (± 1.2)	1015-3
Fresh density	kg/m ³	1646.8 (± 6.6)	1015-6
Air content	%	14.5 (± 0.6)	1015-7
Flexural strength (28gg)	MPa	1.57 (± 0.07)	1015-11
Compressive strength (28gg)	MPa	6.01 (± 0.15)	1015-11
Hardened density	kg/m ³	1426.7 (± 6.3)	1015-10
Water Absorption	kg/m ² · min ^{0.5}	0.14 (± 0.01)	1015-18
Standard substrate adhesion	MPa	0.78 (± 0.01)	1015-12
Lecce stone substrate adhesion	MPa	0.77 (± 0.03)	1015-12

L'applicazione del prodotto è facile ed rimane lavorabile per circa 60 minuti, come evidenziato dai valori di consistenza (Table 2). Il dato rilevante è rappresentato dall'ottima adesione dell'intonaco al supporto, infatti la rottura è di tipo B, cioè avvenuta all'interno della matrice (Figure 3) con un valore di resistenza pari a 0.78 MPa. In figura si osserva un particolare della prova, con una frattura di tipo B avvenuta all'interno della malta, pertanto il valore di 0,78 MPa è assimilabile alla resistenza a trazione dell'intonaco.



Figure 3. Powders compacting system / Prova di aderenza, frattura tipo B.

4 ADERENZA MATRICE-FIBRA

Nell'ambito dell'applicazione dei compositi per il consolidamento statico delle strutture, è di fondamentale importanza la zona d'interfaccia tra matrice e rinforzo. In tale zona, infatti, avviene il trasferimento della sollecitazione dalla matrice alle fibre, che è il principale fattore dell'effetto del "rinforzo" e determina le proprietà meccaniche finali del materia-

le composito. L'aderenza tra fibra e matrice generalmente viene valutata attraverso apposite prove sperimentali che hanno l'obiettivo di determinare la tensione di aderenza della fibra. Tuttavia, i codici e le linee guida sia nazionali che internazionali non indicano una prova standard per la determinazione del legame tensione di aderenza-scorrimento, infatti in letteratura si possono trovare diverse tipologie di test, quali microbond test, prova di pull-out, broutman test, ecc.

Pertanto l'obiettivo del presente lavoro è di valutare il comportamento all'interfaccia tra fibra e matrice, al fine di caratterizzare il composito, definendo un opportuno set up di prova (Figure 4).



Figure 4. Bond test set-up / Set-up della prova di aderenza,

La matrice utilizzata per realizzare i campioni è costituita dalla malta a base di scarti di pietra leccese, illustrata nel paragrafo 3. Sono stati preparati inoltre campioni con una malta commerciale di riferimento, di cui si riportano le caratteristiche tecniche (Table 3), al fine di confrontare i risultati ottenuti.

Table 3. Commercial mortar properties / Caratteristiche della malta di riferimento.

Properties		Average	UNI EN
Fresh consistence	mm	170	1015-3
Fresh density	g/cm ³	1.65 (±0.05)	1015-6
Flexural strength (28gg)	MPa	3.5	196-1
Compressive strength (28gg)	MPa	20	196-1
Elastic modulus	MPa	7500	13412

Le fibre utilizzate sono costituite da maglie di rete rigida preimpregnata in GFRP (Table 4). In particolare, le reti sono costituite da fibre di vetro AR (Alkali-Resistant), con contenuto di zirconio pari o superiore al 16%, in una resina termo-indurente (vinilestere epossidica con perossido di benzoile come catalizzatore); inoltre, i fili trasversali sono stati intrecciati per formare le maglie della rete in modo tale da fissare i fili longitudinali in corrispondenza delle intersezioni. Le principali caratteristiche tecniche delle fibre di vetro si esplicano in

un'elevata resistenza a trazione lungo la loro direzione di disposizione e in una considerevole inerzia alle aggressioni da parte degli agenti chimici e atmosferici in genere.

Table 4. Fibre mesh properties / Caratteristiche delle fibre.

Properties		
Average nominal section	mm ²	3.80
Weight	g/m ²	500
Mesh spacing	mm	66x66
Tensile strength	kN	3.5
Elastic modulus	N/mm ²	23000
Elongation at ultimate strength %		3

Per ciascuna tipologia di malta sono stati preparati tre campioni cilindrici, di diametro 100 mm e altezza 200 mm (Figure 5), all'interno dei quali sono stati introdotti, in posizione centrale, singoli fili di rete, uscenti da un lato del provino. I fili trasversali della rete sono stati tagliati in modo da sporgere dal filo uscente di mezza maglia (33 mm) per lato. Tale tipologia di campione è stata proposta in analogia con le prove di pull-out che vengono comunemente svolte per determinare le caratteristiche di aderenza delle barre di armatura d'acciaio in elementi in c.a.



Figure 5. Specimens for the bond test / Campioni per la prova di aderenza

Per l'applicazione della forza di trazione è stata utilizzata una macchina universale elettromeccanica equipaggiata con una cella di carico di 50 kN. I campioni sono stati collocati all'interno di un telaio di contrasto appositamente progettato (Figure 4), tale da consentire l'aggancio alle ganasce poste nella parte superiore della macchina tramite il dispositivo di afferraggio predisposto all'estremità superiore delle fibre uscenti dal campione. La struttura metallica di contrasto è costituita da due piatti d'acciaio dello spessore di 3 mm collegati rigidamente per mezzo di quattro barre filettate $\Phi 14$ nei quattro spigoli e solidarizzata alle ganasce inferiori della macchina di prova (Figure 4). Il piatto metallico superiore ha anche la funzione di garantire un'uniforme distribuzio-

ne delle tensioni sull'intera sezione del cilindro durante la fase di applicazione del carico.

Le prove sono state condotte in controllo di spostamento, con velocità costante pari a circa 0.3 mm/min fino al raggiungimento del collasso del campione (per rottura del filo o per sfilamento dello stesso).

I campioni realizzati sono identificati attraverso un codice alfanumerico composto di tre parti: la prima parte indica la presenza di fibre inglobate (FB= Fibre), la seconda parte indica la matrice (PL= malta con scarti di pietra leccese; CM= malta commerciale), la terza parte indica il numero sequenziale del campione testato. Durante l'esecuzione delle prove sono stati registrati i dati sperimentali in termini di carico massimo e di modalità di rottura (Table 5). Come si può osservare, in tutti i casi si è verificata una modalità di crisi per trazione della fibra.

Table 5. Experimental results / Risultati sperimentali.

Sample	P_{max} [N]	Failure mode
FB-PL_1	4.72	Tension along the fibre
FB-PL_2	4.48	Tension inside the clamps
FB-PL_3	4.18	Tension along the fibre
FB-PL_5	3.78	Tension along the fibre
FB-CM_2	3.99	Tension along the fibre
FB-CM_3	3.62	Tension along the fibre
FB-CM_4	3.62	Tension along the fibre
FB-CM_5	5.13	Tension along the fibre

La modalità di crisi riscontrata è simile per entrambe le tipologie di campioni, come si può osservare nelle immagini di seguito riportate (Figure 6).

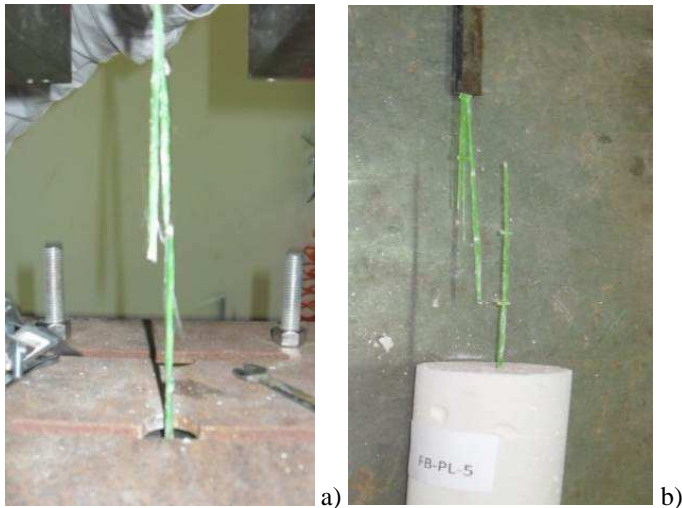


Figure 6. Bond test failure mode: a) CM sample; PL sample / Modalità di rottura nella prova di aderenza: a) campione del tipo CM; b) campione del tipo PL.

Confrontando le curve sperimentali determinate per i campioni realizzati con matrice a base di scarti di pietra leccese (Figure 7b) e per i campioni realizzati con matrice commerciale (Figure 7a), si può osservare il tipico andamento di una crisi determinata dalla rottura per trazione della fibra al raggiungimento del carico ultimo.

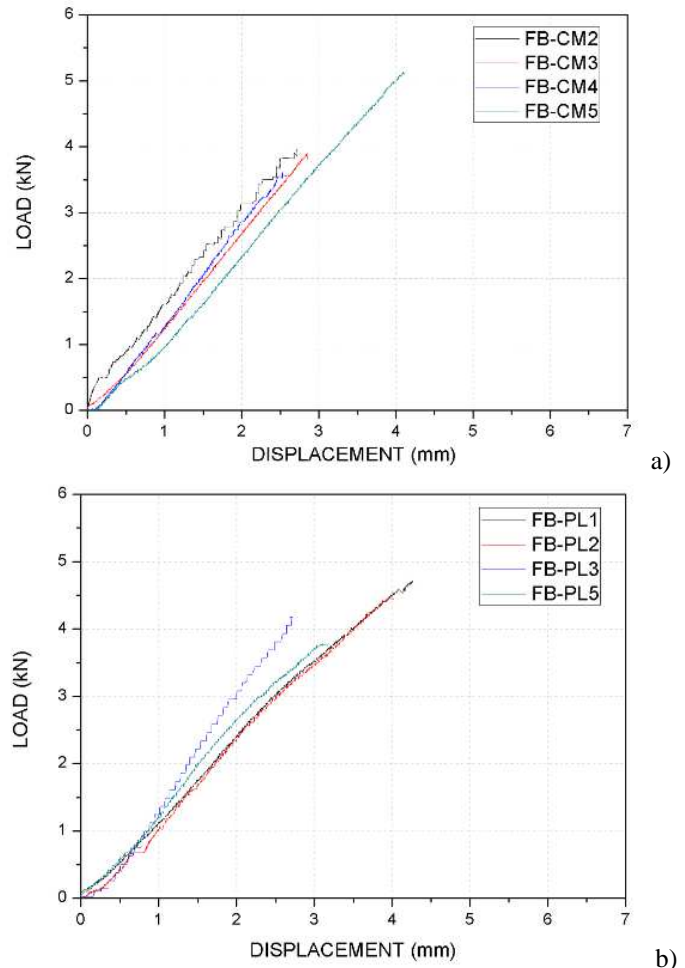


Figure 7. Experimental bond behavior for the specimens with: a) Control mortar; b) Recycled stone mortar / Curva sperimentale di aderenza per i campioni realizzati con: a) malta commerciale; b) malta con scarti di pietra riciclata,

5 APPLICAZIONE INTONACO

La fase finale della campagna sperimentale è stata dedicata alla posa in opera del sistema sperimentale. In particolare, lo scopo di tale attività è stato verificare l'applicabilità del materiale e valutare l'assenza di fenomeni di ritiro plastico. L'acqua utilizzata per la prova in campo può variare dal 16.5% al 18.5% rispetto alla miscela. Nell'applicazione eseguita è stata impiegata una percentuale pari al 17% d'acqua.

L'attività della prova sul campo è stata suddivisa nelle seguenti fasi operative:

- Fase 1 : Ripulire il supporto da eventuali impurezze, polvere o residui organici.
- Fase 2 : Posizionare le guide verticali.
- Fase 3 : Bagnare la superficie della muratura.
- Fase 4: Versare il 90% dell'acqua di impasto all'interno di un contenitore dal volume adeguato alla quantità di malta da miscelare.
- Fase 5 : Introdurre gradualmente il premiscelato nel contenitore, mescolando con trapano miscelatore. Evitare, se possibile, l'utilizzo di alte velocità di miscelazione. Se necessario, introdurre l'acqua rimanente.

- Fase 6 : Stendere il primo strato di circa 1 centimetro tramite frattazzo rettangolare metallico.
- Fase 7 : Posizionare la rete nel primo strato di malta, annegandola parzialmente.
- Fase 8: Ricoprire la rete con un secondo strato di pochi millimetri di malta, applicata con frattazzo rettangolare metallico.
- Fase 9 : Il giorno seguente applicare lo strato finale tirando la malta dal basso verso l'alto lungo le guide utilizzando una staggia.
- Fase 10 : Se necessario, attendere circa tre ore, in modo che la malta rapprenda e regolarizzare la superficie con frattazzo in plastica. Stendere un altro strato di malta come finitura.

La fase finale della campagna sperimentale è stata dedicata alla posa in opera del sistema sperimentale (Figure 8), applicandolo su un supporto in pietra leccese. In particolare, lo scopo di tale attività è stato verificare l'applicabilità del materiale e valutare l'assenza di fenomeni di ritiro plastico.



Figure 8. Reinforced plastering application / Prova di applicazione di intonaco rinforzato.

L'applicazione del sistema di rinforzo, dal punto di vista della posa in opera non ha evidenziato particolari problematiche, né ha evidenziato formazione di fessurazioni da ritiro successivamente.

6 CONCLUSIONI

On the basis of the experimental results shown in the present paper, the following conclusions can be summarized:

- A new lime-based mortar using waste from local stone cutting was designed in order to be used with non-metallic reinforcement;
- The developed mixture is considered “bio” as it fulfils the requirements of an Italian guideline for “bio” construction materials;

The proposed mixture has good mechanical properties and is classified by the reference code as CS III, guaranteeing good mechanical properties for lime-based plastering, as provided by UNI 998-1;

The mortar develops a good adhesion on the substrate and it is compatible with the use on local stone blocks. Moreover, the application in real conditions did not show cracking phenomena due to shrinkage.

Finally, bond tests matrix/fibre shown good results, in terms of maximum peak loads and failure modes, which were very close for both commercial and recycled mortar.

Sulla base dei risultati sperimentali presentati in questo lavoro, si può concludere che:

È stata efficacemente sviluppata una miscela di malta a base di scarti della lavorazione della pietra leccese da applicare in combinazione con una rete di armatura in fibra non metallica;

La miscela ottimizzata può essere considerata “bio” in quanto soddisfa i requisiti di uno dei protocolli italiani per i materiali da costruzione biologici;

Il prodotto possiede buone prestazioni meccaniche e rientra nella categoria CS III, che garantisce buone prestazioni meccaniche per gli intonaci a base calce secondo il prospetto 1 di UNI 998-1;

L'intonaco, che sviluppa forte adesione al substrato, si è dimostrato, nei test di determinazione dell'aderenza, compatibile con l'applicazione su blocchi in pietra leccese. Inoltre, la prova di applicazione in campo non ha evidenziato fenomeni di fessurazione causata da ritiro.

Infine, le prove di aderenza fibre/matrice hanno evidenziato buoni risultati, con modalità di crisi per rottura a trazione della fibra. Peraltro, sia i valori di carico massimo raggiunti, sia la modalità di crisi sono molto simili a quanto riscontrato per i campioni di riferimento con malta commerciale.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano la Regione Puglia per il cofinanziamento al progetto di ricerca dal titolo “Prodotti, metodologie e tecnologie originali e sostenibili per la diagnostica e la conservazione dell'edilizia storica”. Inoltre, si ringrazia la ditta Decor s.r.l., partner del progetto, per la fornitura del materiale e per la disponibilità di mezzi e personale in ogni momento della presente sperimentazione.

REFERENCES

- ANAB-ICEA 2006, Standard per la certificazione degli intonaci per la bioedilizia.
- Corinaldesi V., Mazzoli A., Moriconi G. 2011 Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. *Materials and design*, 32: 1646-1165.
- Frigione M. 2010 Recycling of PET Bottles as Fine Aggregate in Concrete. *Waste Management*, 30: 1101-1106.

- Ge Z., Yue H., Sun R. 2015 Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. *Construction and Building Materials*, 93: 851-856.
- Thang L., Sébastien R., Gwenn L., Eric G. 2016 Fresh behavior of mortar based on recycled sand – Influence of moisture condition. *Construction and Building Materials*, 106: 35-42.
- UNI EN 1015 2010 Methods of test for mortar for masonry.
- UNI EN 998-1 2010 Specification for mortar for masonry – rendering and plastering mortar.