



Colloqui.AT.e 2020

New Horizons for Sustainable Architecture

Nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile

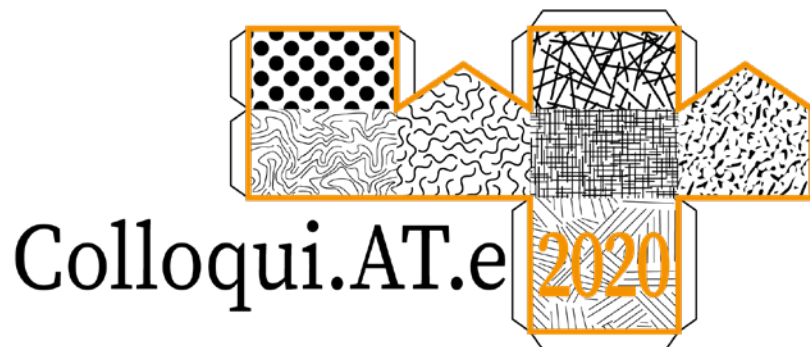
Editors

Santi Maria Cascone

Giuseppe Margani

Vincenzo Sapienza





**NEW HORIZONS
FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE
NUOVI ORIZZONTI
PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE**

Editors

Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza

10 dicembre 2020

Virtual meeting

Organizing Institution: University of Catania

I curatori, l'editore, gli organizzatori ed il Comitato Scientifico non possono essere ritenuti responsabili né per il contenuto, né per le opinioni espresse all'interno degli articoli.

Gli articoli pubblicati, i cui contenuti sono stati dichiarati originali dagli autori stessi, sono stati sottoposti ad un processo di *double-blind peer review*.

Negli articoli l'asterisco accanto al cognome di un autore indica il referente al quale indirizzare la corrispondenza.

The editors, the publisher, the organizers and the Scientific Committee cannot be held responsible either for the content or for the opinions expressed in the articles.

Published articles, whose contents have been declared original by the authors themselves, have been subjected to a double-blind peer review process.

In the articles, the asterisk next to the surname of an author indicates the contact person to whom correspondence should be addressed.

Il volume è a cura di / The volume was edited by:

Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza

EdicomEdizioni
Monfalcone (Gorizia)
tel. 0481/484488
fax 0481/485721
info@edicomedizioni.com
www.edicomedizioni.com
www.edicomstore.it

© Copyright EdicomEdizioni

Vietata la riproduzione anche parziale di testi, disegni e foto se non espressamente autorizzata. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

The reproduction, even partial, of texts, drawings and photos is forbidden unless expressly authorized. All rights are reserved by law and international conventions.

ISBN 978-88-96386-94-1

Prima edizione dicembre 2020 / First edition December 2020

Contents

Indice

INTRODUCTION	18
INTRODUZIONE	20

A – CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION

HISTORY OF CONSTRUCTION

NOTE SULLE COSTRUZIONI PREFABBRICATE TEMPORANEE ITALIANE DEGLI ANNI TRENTA E QUARANTA L. Greco	24
INDUSTRIALIZZAZIONE “SU MISURA”: LE SCUOLE-PILOTA DI LUIGI PELLEGRIN (1967-1975) I. Giannetti	35
DAL TELAIO AL PANNELLO (1940-1950). SPERIMENTAZIONE NELL’EDILIZIA RESIDENZIALE PREFABBRICATA SOVIETICA A. Bertolazzi, U. Turrini, G. Croatto, G. Dorigatti, F. Chinellato, L. Petriccione	48
STAZIONI E FERROVIE COME <i>WORLD HERITAGE SITES</i> . IL PROGETTO DI CONOSCENZA E RECUPERO DELLA PRIMA STAZIONE BAYARD A NAPOLI P. Cucco	62
L’ATTUALITÀ DEL MOTTO “DOV’ERA E COM’ERA”. LA RICOSTRUZIONE SOSTENIBILE DI MONUMENTI E CENTRI STORICI COME STRATEGIA DI COESIONE SOCIALE E TRASFERIMENTO DI VALORI STORICO-CULTURALI F. Ribera, P. Cucco	75
LA SICILIA E LA SCUOLA ITALIANA DI INGEGNERIA: PONTI E GRANDI STRUTTURE (1830-1980) F. Cammarata	86
EVOLUZIONE DEI LINGUAGGI ARCHITETTONICI TRA ’800 E ’900 NELLE CENTRALI IDROELETTRICHE DELLA VAL CELLINA L. Petriccione, F. Chinellato, G. Croatto, U. Turrini, A. Bertolazzi	104
IL SISMA E IL PATRIMONIO STORICO CULTURALE. IL CASO DELLA CHIESA DEL SANTUARIO DELLA MADONNA DELL’AMBRO G. Di Mari, E. Garda, C. Montenovo, A. Renzulli	120
PER IL RILIEVO E LO STUDIO DI MURATURE NEL CENTRO ITALIA POST TERREMOTO, IL CASO DELLA VALLE DEL TRONTO C. Braucher	136
IL CINEMA-TEATRO DI TORVISCOSA: TIPOLOGIA, MATERIALI, TECNICHE E STATO DI CONSERVAZIONE M.V. Santi, S. Vallan, A. Frangipane	151
PROMENADE SU VIA SÃO BENTO A SAN PAOLO, BRASILE: UNA RIFLESSIONE SUL PATRIMONIO CULTURALE R.H. Vieira Santos	164

QUALITÀ EDILIZIA DEGLI ANNI '60: LE CASE GESCAL DI COSENZA A. Campolongo, V. Guagliardi	176
LE COPERTURE LIGNEE DELLA CATTEDRALE DI PALERMO. CONOSCENZA E VALORIZZAZIONE COMPATIBILE C. Vinci, D. Giardina	189
IL RIUSO DEI MATERIALI BELLICI IN ARCHITETTURA. LE PIERCED STEEL PLANK A. Pagliuca, D. Gallo, P. P. Trausi	201
RILEGGERE L'ESPERIENZA INA-CASA: UN NUCLEO EDILIZIO NEL QUARTIERE NESIMA A CATANIA A. Moschella, A. Salemi, A. Lo Faro, A.A. Mondello, A. Roccasalva	211
TOOLS AND METHODS FOR KNOWLEDGE AND GRAPHIC REPRESENTATION	
ARCHIVI DIGITALI GEOREFERENZIATI: ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DELLO SVILUPPO DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE A BOLOGNA NELLA SECONDA METÀ DEL NOVECENTO A. C. Benedetti, C. Costantino, R. Gulli	225
STRUMENTI BIM PER L'ANALISI TERMICA DEL PATRIMONIO EDIFICATO ESISTENTE R. Agliata, R. Macchiaroli, L. Mollo	241
EXTENDED REALITY (XR) AND ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS S. Ahmadzadeh Bazzaz, A. Fioravanti	252
CONSTRUCTION TECHNIQUES AND PERFORMANCE IN EXISTING BUILDINGS	
GLI ISTITUTI DI ELETTRONICA, AUTOMATICA, GEOFISICA E ARTE MINERARIA DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELLA "SAPIENZA" – STRATEGIE PER UN INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA M. Pugnaletto, C. Paolini	262
STORIA DELL'EDILIZIA BOLOGNESE TRA LE DUE GUERRE, 1920-1940 C. Costantino, A.C. Benedetti, G. Predari	277
VINCENZO SINATRA E L'ARTE DEL COSTRUIRE CON LE PIETRE SACRE C. Fianchin	292
AN ENERGY-RESILIENT METHODOLOGY IN CLIMATE CHANGING CHALLENGE FOR HISTORIC DISTRICTS. THE CASE OF A MEDITERRANEAN HISTORIC CENTER E. Cantatore, F. Fatiguso	306
LA BIBLIOTECA TECNICO-SCIENTIFICA NEL CAMPUS DI FISCIANO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO DI NICOLA PAGLIARA C. Sicignano	326
UNA PUNTEGGIATA DI PIETRA IN SIMBIOSI CON IL PAESAGGIO RURALE E URBANO IN SICILIA. ABBEVERatoi, FONTANE, LAVatoi PUBBLICI E CISTERNE NELLA TRADIZIONE COSTRUTTIVA T. Campisi, A. D'Amore, M. Saeli	336
TAMPONATURE PORTATE IN ELEMENTI PREFABBRICATI IN OFFICINA R. Leone, F. Minutoli	350
CENTRI URBANI E VULNERABILITÀ SISMICA. IL CENTRO STORICO DI CATANIA G. Lombardo	368

CINA ITALIA, METODOLOGIE DIFFERENTI DI COSTRUIRE CON LA TERRA CRUDA A. Guida, G. Bernardo, G. Pacente	384
LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ COME STRATEGIA PER LA RICOSTRUZIONE POSTSISMICA DEL CENTRO ITALIA. IL CASO STUDIO DEL CENTRO STORICO DI CALDAROLA L. Bernabei, G. Mochi, G. Predari	398
SUSTAINABLE RETROFITTING OF MODERN AND PRE-MODERN HERITAGE	
IL RECUPERO SOSTENIBILE DEL MODERNO: UN FUTURO POSSIBILE PER IL GRATTACIELO RAI DI TORINO E. Chiffi, G. Di Mari, E. Garda, A. Renzulli	411
RIGENERAZIONE BIOCLIMATICA ED AMBIENTALE DEGLI SPAZI APERTI DEL VILLAGGIO SAN LUCA (MS) B. Gherri, V. Maranhao, D. Poletti	428
INTEGRATED AND SUSTAINABLE RENOVATION OF RC FRAMED BUILDINGS THROUGH A NEW TIMBER-BASED ENVELOPE TECHNOLOGY G. Margani, G. Evola, C. Tardo, E.M. Marino	445
PENSIERO <i>LOW TECH</i> /AZIONE <i>LOW COST</i> . UN PROGETTO IN AUTOCOSTRUZIONE PER GLI SPAZI DELLA SCUOLA DI ARCHITETTURA DI CAGLIARI C. Atzeni, S. Cadoni, A. Dessi, F. Marras	457
PONTI TERMICI NELL'EDILIZIA STORICA IN AMBIENTE MEDITERRANEO: VALUTAZIONI E PROPOSTE DI INTERVENTO A. Lo Faro, G. Evola, A. Salemi, V. Costantino	470
UNA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DELLE FACCIATE DEGLI EDIFICI STORICI G. Ruggiero, R. Marmo, M. Nicoletta	488
PATRIMONIO LIQUIDO: STRATEGIE PROGETTUALI PER LA SOSTENIBILITÀ FUTURA DELLE SALINE DI SANTA POLA S. D'Urso, S. Leanza	500
THERMAL IMPROVEMENTS OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY AN INNOVATIVE PRECAST CONCRETE PANEL SYSTEM S. Martiradonna, F. Fatiguso, I. Lombillo	517
UN APPROCCIO SOSTENIBILE ALLA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO DI EDILIZIA PUBBLICA RESIDENZIALE: ANALISI ENERGETICA SPERIMENTALE E NUMERICA ED ANALISI ARCHITETTONICA F. Rosso, A. Peduzzi, L. Diana, S. Cascone, C. Cecere	529
LA CONOSCENZA DEL MATERIALE E DELL'OPERA PER UNA GESTIONE E UN RECUPERO SOSTENIBILE DEI MANUFATTI LAPIDEI: METODO E APPLICAZIONE SULL'INVOLUCRO DI MARMO DELLA CASA DELLE ARMI DI LUIGI MORETTI M. Ferrero, G. Arena, J. Navarro Navarro, F. Rosso, N. Vannucchi	548
PROTO-BIOCLIMATICA E MOVIMENTO MODERNO: SOLUZIONI FRANGISOLE IN ITALIA 1945-1965 C. Mele, C. Franchini	566
LA RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI ESISTENTI: UNA METODOLOGIA AHP-BASED PER IL SUPPORTO DECISIONALE E. Sicignano, P. Fiore, C. Falce, G. Donnarumma, E. D'Andria	582

MANAGEMENT AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF BUILDING HERITAGE

MODELLI INFORMATIVI PER IL SUPPORTO ALLA DECISIONE NELL'AMBITO DEL MIGLIORAMENTO ENERGETICO DEI PATRIMONI EDILIZI UNIVERSITARI C. Cecchini, M. Morandotti	595
RIGENERARE LE AREE INDUSTRIALI DISMESSE M.P. Gatti, G. Cacciaguerra, A. Lorenzi	609
STRATEGIE PER IL RECUPERO, LA GESTIONE E LA VALORIZZAZIONE DEI SITI ARCHEOLOGICI: IL CASO DELL'ANFITEATRO FLAVIO DI POZZUOLI R. Castelluccio, A. Prota, G. Viotto, V. Vitiello	620
RIFUNZIONALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE PUBBLICO: IL CASO DEGLI OSPEDALI STORICI L. Diana, F. Polverino	634
CATALOGO DIGITALE E GESTIONE SMART DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE DISMESSO IN BASILICATA A. Guida, V.D. Porcari, A. Lanzolla	653

B – CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE

SUSTAINABILITY IN PRODUCT, DESIGN AND PROCESS INNOVATION

IMITARE PER COSTRUIRE: DALLA NATURA ALLA BIOMIMETICA G. Ausiello, M. Compagnone, F. Sommese	666
I PANNELLI IN SCHIUMA DI ALLUMINIO NELLE ARCHITETTURE SOSTENIBILI G. Ausiello, M. Compagnone, F. Sommese	680
JOINTECH: TECNOLOGIA PER COSTRUZIONI IN LEGNO MULTIPIANO S.M. Cascone, A. Siragusa, G. Russo, N. Tomasello	697
L'AGRICOLTURA VA IN CITTÀ. NUOVE FRONTIERE DELLA SOSTENIBILITÀ ALIMENTARE G. Di Mari, E. Garda, C. Longo, A. Renzulli	712
COSTRUIRE SOSTENIBILE: IL CASO STUDIO DEL COMPLESSO "VILLE LE DUE QUERCE" D. Besana, G. Casubolo, M. Mastrangelo	727
VALUTAZIONE COMPARATIVA DELLE PRESTAZIONI MECCANICHE DI MALTE CONFEZIONATE CON INERTI DA RICICLO M. Nicoella, C. Scognamillo, F. Vitale	742
SLICE INNOVATIVE COMPONENTS FOR SMART BUILDING ENVELOPES A. Astuti, F. Giusa, A. Monteleone, G. Rodonò, V. Sapienza, M. Voica	757
LA FILIERA DEGLI ISOLANTI TERMICI SINTETICI VERSO LA CIRCOLARITÀ E L'INFORMATIZZAZIONE A. Cernaro, O. Fiandaca	771
PROGETTARE LA CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO DI UMIDITÀ PER MIGLIORARE COMFORT INDOOR E SOSTENIBILITÀ – UN CASO STUDIO S. Zanon, R. Albatici	790

BIM 7D: LA DIMENSIONE DELLA SOSTENIBILITÀ NEI SISTEMI BIM IN OTTICA DI HEALTHY BUILDINGS A. D'Amico, E. Currà, M. Angelosanti, G. Colò	804
NUOVI STRUMENTI, NUOVE FORME: UNA STRUTTURA VERDE SU UN GRATTACIELO DI MADRID G.D'Angelo, M.Fumo	825
L'ECONOMIA CIRCOLARE E L'INDUSTRIA 4.0 PER LA SICUREZZA DEI LAVORATORI. UN NUOVO PRODOTTO MULTIFUNZIONALE M. Rotilio, P. De Berardinis	834
PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DI ARCHITETTURE PER LA ZOOTECNIA: L'ALLEVAMENTO DEI BOVINI DA CARNE D. Bosia, L. Savio, F. Thiebat	848
ANALISI DELL'ISOLA DI CALORE URBANA E DEI SUOI EFFETTI SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DI COMFORT DEGLI EDIFICI. CASO DI STUDIO DELLA CITTÀ DI BARI F. Iannone, R. Casale	860
GREEN ROOF SYSTEMS: CHARACTERIZATION OF A LABORATORY TESTING METHOD FOR ASSESSING GROWING MEDIA THERMAL CONDUCTIVITY S. Cascone, A. Gagliano, R. Rapisarda, G. Sciuto	874
 DIGITIZATION, ROBOTICS AND INDUSTRIALIZATION FOR SUSTAINABLE BUILDINGS	
I COMPOSITI PULTRUSI: NUOVE FRONTIERE PER L'INGEGNERIA S.M. Cascone, C. Lagona, N. Tomasello	887
APPROCCIO COMPUTAZIONALE ALLA PROGETTAZIONE: DIGITALIZZAZIONE DEI PROCESSI INFORMATIVI PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE V. Giannakopoulos, S. Garagnani, A. Fotopoulou, A. Ferrante	901
DIGITAL ASSET MANAGEMENT ENABLING TECHNOLOGIES: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS L. Rampini, N. Moretti, F. Re Cecconi, M.C. Dejacó	919
 LOW-COST AND LOW-CARBON ARCHITECTURE	
LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DI SCUOLE DELL'INFANZIA <i>CARBON ZERO</i> IN ITALIA F. Bazzocchi, C. Ciacci, V. Di Naso	932
POTENZIALE DI RISCALDAMENTO GLOBALE PER LE FASI DI COSTRUZIONE E GESTIONE DELLE SCUOLE DELL'INFANZIA <i>CARBON ZERO</i> IN ITALIA C. Ciacci, V. Di Naso	950
MATERIALI NATURALI PER L'ISOLAMENTO TERMICO DEGLI EDIFICI S.M. Cascone, N. Tomasello, M. Vitale	964
RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE NEGLI EDIFICI ESISTENTI ATTRAVERSO L'USO DI COPERTURE A VERDE PENSILE L. Guardigli, E. Volpe, P. Buttol, P. Sposato	974
IL DEFICIT ABITATIVO IN ARGENTINA: UN APPROCCIO SISTEMICO ATTRAVERSO LA FILIERA DEL LEGNO P. Piantanida, C. Pilar, A. Vottari	992

UNA PROPOSTA SOSTENIBILE E <i>LOW-COST</i> PER IL <i>SOCIAL HOUSING</i> L. Secchiari	1006
ANALYSIS OF BUILDING ENVELOPE RETROFIT STRATEGIES FOR LOW-RISE HIGH-DENSITY RESIDENTIAL HOUSING STOCK IN FOUR INDIAN CLIMATE CONTEXTS A. Sengupta, A.G. Mainini, G. Iannaccone	1018
METHODS AND TECHNIQUES FOR BUILDING MANAGEMENT AND MONITORING	
AUDIT OF THE COOLING ENERGY PERFORMANCE OF AN OFFICE BUILDING RETROFITTED WITH THERMALLY ACTIVATED BUILDING SYSTEMS (TABS) R. Laera, F. Iannone, I. Martínez Pérez, R. Tejedor López, L. de Pereda Fernández, R. Tendero Caballero	1033
DEMOLIRE O RIQUALIFICARE? <i>LIFE CYCLE COST ANALYSIS</i> E PIANO DI MANUTENZIONE PER IL CASO DI STUDIO <i>PRO-GET-ONE</i> M.A. Bragadin, M. D'Alesio, A. Ferrante	1051
INFLUENZA DI MODELLI DI GESTIONE PER IL FUNZIONAMENTO DI SISTEMI OSCURANTI INTERNI SUL CONSUMO ENERGETICO E IL COMFORT LUMINOSO N. Callegaro, S. Pontillo, R. Albatici	1068
UN PROTOCOLLO DI INDAGINE PER LA GESTIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE. LA TERMOGRAFIA A SUPPORTO DELLA DIAGNOSTICA C. Marchionni, M. Rotilio, P. De Berardinis	1084
MODELLAZIONE NUMERICA DEL PONTE TERMICO TRA PARETE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO E SOLAIO DI INTERPIANO T. Basiricò, A. Cottone	1098
LA SOSTENIBILITÀ COME <i>DRIVER</i> DI PROCESSO PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO UNIVERSITARIO I. Garofolo, C.A. Stival, N. Strazza	1110
FINALITÀ DELL'APPLICAZIONE DEL MOTION MAGNIFICATION AI MODELLI HBIM M. Angelosanti	1130
UNCONVENTIONAL SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS AND TECHNIQUES	
LIFE CYCLE ASSESSMENT DI UN EDIFICIO SCOLASTICO PROGETTATO SECONDO IL PASSIVE HOUSE STANDARD E. Tomasi Morgano, F. Nocera, G. Mangiafico	1145
“C'ERA UNA VOLTA”: PROCESSO COSTRUTTIVO SOSTENIBILE PER LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA DI STRUTTURE TEMPORANEE VOLTATE E MODULARI IN MATERIALE RICICLABILE BIO-BASED M. Bonci, C. Mazzoli, D. Prati	1156
PIÙ LEGGERO DEL BAFFO DI UN GATTO. IL GRAFENE: STORIA DI UN MATERIALE INNOVATIVO G. Di Mari, E. Garda, A. Renzulli, M. Sgro	1173
LA MEMORIA COME MATERIALE DEL PROGETTO DELLA SOSTENIBILITÀ S. D'Urso	1189
SUL VANTAGGIO DEI SISTEMI COSTRUTTIVI MASSIVI IN TERRA BATTUTA PER I PAESI DEL MEDITERRANEO R. Caponetto, G. Giuffrida, F. Nocera	1209

HEMP: PAST, PRESENT, FUTURE FOR A SUSTAINABLE ARCHITECTURE T. Firrone, C. Bustinto	1226
EFFETTO DELLE FIBRE DI BASALTO SULLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA TERRA CRUDA M. La Noce, M. Bosco, G. Sciuto	1241
LA SPERIMENTAZIONE TECNO-TIPOLOGICA NEL PROGETTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO MODULARE AD USO DIREZIONALE: UN CASO STUDIO A L'AQUILA F. Cavalieri, L. Capannolo, G. Di Giovanni, P. De Berardinis	1256
ANALISI ENERGETICA DINAMICA E STRUTTURALE DI MODULI RICETTIVI IN XLAM F.A. Russo, G. Cocuzza Avellino, M. Detommaso, C. Borgia, F. Nocera, N. Impollonia	1268
SHAKE TABLE TESTS ON FULL-SCALE CONFINED STONE WALLS M. Brocato, D. Caraccio, D. Cascone, L. Jonard, F. Lo Iacono, M. Liuzzo, G. Navarra, M. Oliva, K. Rahmouni, J. Skinazi, G. Tesoriere, S. Tumbarello	1280
MALTE CEMENTIZIE A BASE DI GRAFENE: PROCESSO PRODUTTIVO E PROPRIETÀ S. Polverino, F. Bonaccorso, A. Brencich, A.E. del Rio Castillo, L. Marasco, R. Morbiducci	1294

C – BUILDING AND DESIGN TECHNIQUES

SUSTAINABILITY PRINCIPLES AND PRACTICES FOR BUILDING REUSE AND RENOVATION

DALLO STUDIO ARCHEOLOGICO DELLE MALTE STORICHE ALLA PROGETTAZIONE DELLE MALTE DA RESTAURO. CASE STUDY: LE TERME ACHILLIANE DI CATANIA S.M. Cascone, G.A. Longhitano, L. Longhitano, N. Tomasello	1310
NUOVE TECNOLOGIE PROGETTUALI PER IL RIUSO E LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILI DI AMBIENTI IPOGEI DI VALORE CULTURALE E. Quagliarini, G. Bernardini, M. Lucesoli, B. Gregorini, M. D’Orazio	1326
APPROCCI PROBABILISTICI ALLA VALUTAZIONE DEI COSTI GLOBALI DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI G. Maracchini, E. Di Giuseppe, F. Stazi, M. D’Orazio	1338
ELEMENTI DI RIFLESSIONE TEORICO-PRATICA PER LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILE E. Conte	1355
STRATEGIE DI DENSIFICAZIONE PER LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILE DELLE CITTÀ. IL CASO DEL QUARTIERE KALLITHEA AD ATENE A. Ferrante, A. Fotopoulou, C. Mazzoli	1368
STUDIO DELLA METODOLOGIA PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO TECNICO-ECONOMICO NEGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: IL PROGETTO EENVEST G. Salvalai, G. Paoletti, M.M Sesana, A. Andaloro	1386
RECUPERO E RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA DELLE SCUOLE DEL REGNO A ROMA: STRATEGIE DI INTERVENTO ENERGETICO SOSTENIBILE E. Currà, M. Russo, L. Severi, E. Habib, M. Morganti, S. Grignaffini	1398
VALUTAZIONE DI STRATEGIE DI INTERVENTO PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI INVOLUCRI EDILIZI TRASPARENTI S. Colajanni e A. Schifano, E.A. Altopiano	1414

ANALISI STORICO-ARCHITETTONICA E RIUSO SOSTENIBILE DEI CONVENTI CAPPUCCINI DELL'ANTICA PROVINCIA RELIGIOSA DI BASILICATA-SALERNO L. Gargano, G. Donnarumma	1431
RECUPERO FUNZIONALE DI PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO MEDIANTE TRATTAMENTO SUPERFICIALE CON POLIUREA E FINITURA ACRILICA: PROVE DI LABORATORIO E TEST APPLICATIVO F. Manzone, S. Errico, E. Portigliatti, D. Vasquez	1442
GLI INTONACI TRADIZIONALI: UNA SOSTITUZIONE (POCO) SOSTENIBILE A. Lo Faro, A. Mondello, A. Moschella, A. Salemi	1451
UN PROGETTO DI RIGENERAZIONE BIM-BASED: L'ESPERIENZA DI ELISIR – ENERGY, LIFESTYLED & SEISMIC INNOVATION FOR REGENERATED BUILDINGS L.C. Tagliabue, A.L.C. Ciribini	1465

TOOLS FOR BUILDING DESIGN AND MANAGEMENT

METODOLOGIA PER LO SVILUPPO DI UN SISTEMA DI SUPPORTO DECISIONALE PER LA RIQUALIFICAZIONE SISMICA ED ENERGETICA DI EDIFICI A STRUTTURA INTELAIATA A. Artino, R. Caponetto, G. Evola, G. Margani, E.M. Marino	1483
DAL DETTAGLIO COSTRUTTIVO ALL'ANALISI DEL PONTE TERMICO ATTRAVERSO IL BIM G. Desogus, A. Sanna, M. Soddu, E. Quaquero	1496
THE DESIGN CRITERIA SYSTEM (DCS): A MULTICRITERIA EVALUATION MODEL TO IMPLEMENT ADAPTIVE REUSE STRATEGIES IN ABANDONED INDUSTRIAL CONTEXTS C. Vizzarri, F. Fatiguso	1508
PROGETTAZIONE E VERIFICA DEL SISTEMA DI ESODO CON STRUMENTI ALTERNATIVI: LA REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA R. Vancetti, E. Cereda	1526
VERSO LA NORMALIZZAZIONE DEL MATERIALE TERRA CRUDA IN ITALIA M. Achenza, A. Agus	1535

INTEGRATED DESIGN

INNOVATION FOR INCLUSION: THE 3D PRINTING TECHNOLOGY TO ENJOY THE CULTURAL HERITAGE F. Auricchio, A. Greco, G. Alaimo, V. Giacometti, S. Marconi, V. Mauri	1549
UN BIVACCO DI MONTAGNA PER GLI APPENNINI P. De Berardinis, G. Di Giovanni, M. Paolucci	1563
UN <i>FRAMEWORK</i> MULTISCALARE PER L'AUMENTO DI RESILIENZA E SOSTENIBILITÀ NELLE AREE URBANE: METODO E APPLICAZIONE AD UNO SCENARIO ESPLORATIVO AL 2050 S. Mannucci, F. Rosso, A. Peduzzi, C. Cecere, M. Ferrero	1579
RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA E SOSTENIBILE DI EDIFICI ESISTENTI CON ESOSCHELETRI A GUSCIO PREFABBRICATI: IL CASO STUDIO ADESA J. Zanni, S. Cademartori, A. Marini, A. Belleri, E. Giuriani, P. Riva, B. Angi, G. Franchini, A.L. Marchetti, P. Odorizzi, G. Luitprandi	1596

LA VENTILAZIONE URBANA NELLA CITTÀ COMPATTA MEDITERRANEA: UNA METODOLOGIA OPERATIVA MULTIDISCIPLINARE PER MIGLIORARE LA SOSTENIBILITÀ E LA RESILIENZA DELLE AREE URBANE O. Palusci, C. Cecere	1609
UNA CONCEZIONE UNITARIA PER UN COSTRUIRE SOSTENIBILE P. Fiamma	1628
SENSIBLE NETWORKED FAÇADE UNIT FOR A HEALTHY AND COMFORTABLE ENVIRONMENT T. Poli, A. G. Mainini, A. Speroni, J.D. Blanco Cadena, F. Re Cecconi, S. Rinaldi, P. Bellagente, L. Tagliabue, A. Ciribini	1643
LA “SOSTENIBILITÀ PAESAGGISTICA” NELL’ERA GLOBALE: L’OPERA DI FERNANDO MENIS TRA ARCHITETTURA E PAESAGGIO S. Calvagna	1654
ARCHITECTURE FOR EMERGENCIES	
MAM: UN MODULO ABITATIVO TEMPORANEO PERSONALIZZABILE E AUTOCOSTRUIBILE S. De Gregorio, P. De Berardinis, P. Rossi	1668
PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DI UN MODULO ABITATIVO PER L’EMERGENZA G. Sciuto	1681
COOLING ISLANDS: MICROARCHITETTURE PER IL BENESSERE DELLE UTENZE DEBOLI DURANTE LE ONDATE DI CALORE IN AMBITO MEDITERRANEO R. Corrao, A.R. Cataldo, G. L. Danesi	1696
ARCHITETTURE ADATTIVE MEDIANTE UN NUOVO MODULO TENSEGRALE PIEGHEVOLE DI TIPO T4 G. Ruscica, A. Micheletti	1714
PARTICIPATORY PROCESSES (DESIGN AND CONSTRUCTION)	
APPROCCIO <i>USER-ORIENTED</i> PER IL RINNOVAMENTO ENERGETICO: L’ANALISI ETNOGRAFICA APPLICATA AI PROGETTI DI RIQUALIFICAZIONE D. Prati, S. Spiazzi, G. Cerinšek, A. Ferrante	1724
I QUADERNI DEL LUMASSÌN. CRONACHE DI CANTIERE A. Renzulli, R. Mazelli, A. Bocco	1743
BENI CULTURALI COME BENI COMUNI: MODELLI DI GESTIONE PARTECIPATA PER UNA EFFICACE VALORIZZAZIONE M.R. Pinto, S. De Medici	1759
VALUING HERITAGE FROM A COMMUNITY-BASED PERSPECTIVE. SOME REFLECTIONS FOR THE MAKING OF THE ECOMUSEUMS IN SICILY, IT G. Pappalardo	1776

COMMITTEES

Ar.Tec. Council

Riccardo Gulli – President
Marco D’Orazio – Vice-president
Rossano Albatici – Board member

Santi Maria Cascone – Board member
Fabio Fatiguso – Board member
Manuela Grecchi – Board member

Scientific committee

Rossano Albatici
Frida Bazzocchi
Carlo Caldera
Rosa Caponetto
Santi Maria Cascone
Rossella Corrao
Giorgio Croatto
Marco D’orazio
Enrico Dassori

Enrico De Angelis
Pierluigi De Berardinis
Flavia Fascia
Fabio Fatiguso
Annarita Ferrante
Marina Fumo
Ilaria Garofolo
Maria Paola Gatti
Manuela Grecchi

Antonella Guida
Riccardo Gulli
Tullia Iori
Raffaella Lione
Grazia Lombardo
Angelo Lucchini
Giuseppe Margani
Marco Morandotti
Renato Morganti
Stefania Mornati

Angela Moschella
Placido Munafò
Tiziana Poli
Francesco Polverino
Enrico Quagliarini
Angelo Salemi
Vincenzo Sapienza
Gaetano Sciuto
Enrico Sicignano
Gabriele Tagliaventi

Organizing committee

Steering committee
Santi Maria Cascone
Giuseppe Margani
Vincenzo Sapienza

Professional conference organizer

Antonio Artino
Stefano Cascone
Gianluca Rodonò

SUPPORTERS

Patrons



Sponsors



Associazione Nazionale Costruttori Edili di Catania



Fondazione dell'Ordine
degli Ingegneri della Provincia di Catania



I.G.C. S.r.l.



Ordine Ingegneri della Provincia di Catania

Prince Tourist S.r.l.

S.C.S. Costruzioni Edili S.r.l.



VICA S.r.l.

Friends



Città Metropolitana di Catania



Comune di Catania



Ordine Architetti Pianificatori Paesaggisti
Conservatori Provincia di Catania



REGIONE SICILIA

Dipartimento dell'istruzione
e della formazione professionale



REGIONE SICILIA

Assessorato regionale
delle infrastrutture e della mobilità



REGIONE SICILIA

Assessorato regionale dell'Energia
e dei Servizi di Pubblica Utilità



New Horizons for Sustainable Architecture

Valutazione comparativa delle prestazioni meccaniche di malte confezionate con inerti da riciclo

M. Nicolella^{1*}, C. Scognamillo², F. Vitale³

^{1*} Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, 80125, Napoli, Italia, maurizio.nicolella@unina.it

² Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, 80125, Napoli, Italia, claudio.scognamillo@unina.it

³ Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, 80125, Napoli, Italia, federica.vitale@unina.it

Abstract

La scarsità di risorse naturali e la crescente produzione di rifiuti sono problematiche di interesse scientifico rispetto alle quali il settore edilizio è tra le attività antropiche più impattanti. L'industria degli aggregati, in particolare, componente più utilizzato nelle costruzioni dopo l'acqua, consuma notevoli quantità di risorse naturali e di energia nelle fasi di estrazione e di preparazione all'utilizzo. Negli ultimi anni, quindi, la ricerca ha verificato la possibilità di sostituire gli aggregati naturali con elementi di scarto di lavorazioni industriali, processi demolitivi e costruttivi. Numerosi studi hanno misurato le proprietà fisiche e meccaniche di calcestruzzi confezionati con materiali da riciclo polimerici, ceramici e ferrosi. È stato osservato, tuttavia, che l'uso di inerti leggeri riduce di molto le prestazioni meccaniche del conglomerato limitandone l'impiego nei calcestruzzi. Le malte, al contrario, offrono margini di utilizzo più ampi poiché i requisiti strutturali fissati dalla normativa sono inferiori. L'obiettivo del presente lavoro di ricerca è stato, dunque, quello di confrontare le prestazioni esibite da malte confezionate con aggregati di diversa natura, provenienti da lavorazioni edili, e di verificarne, inoltre, l'utilizzabilità in malte da muratura e/o da intonaco. Sono state misurate e comparate, allo scopo, le proprietà fisiche e meccaniche di due gruppi di malte distinti sia per tipo di legante (cemento e calce idraulica) che per tipo e percentuale di aggregato riciclato (XPS, residui ceramici e calcestruzzo aerato autoclavato). I risultati hanno evidenziato che la densità dell'aggregato incide notevolmente sulle proprietà fisiche e sulle prestazioni meccaniche del conglomerato, discriminandone il campo di impiego ed escludendo, per alcune miscele, la possibilità di utilizzo come malta da muratura. Tutte le formulazioni eccetto una, invece, hanno soddisfatto i requisiti meccanici previsti da normativa per le malte da intonaco.

1. Introduzione

Il mondo delle costruzioni si stima “consumi” ogni anno circa 25 miliardi di tonnellate di conglomerati il cui volume è composto per più del 50% da aggregati [1]. L'utilizzo degli inerti impatta

sulle risorse naturali poiché essi sono estratti da depositi fluviali o da cave di pietra ed il prelievo del materiale è seguito da ulteriori trasformazioni energivore, finalizzate a rendere la granulometria dell'inerte idonea al suo impiego. La consistente domanda di aggregati ha condotto negli ultimi decenni al quasi esaurimento delle risorse naturali di approvvigionamento [2]. Questa condizione, unitamente alla mole di rifiuti prodotti dai processi edilizi [3], ha spinto il mondo della ricerca a valutare la suscettività di impiego di materiali di scarto come aggregati per il confezionamento di conglomerati, in sostituzione degli inerti naturali.

Diversi ricercatori, dunque, hanno indagato le prestazioni di calcestruzzi e malte con aggregati provenienti da residui di lavorazioni industriali [4-5-6-7] o da processi di demolizione e costruzione degli edifici [3-8-9]. Le ricerche hanno evidenziato che l'utilizzo degli aggregati riciclati è condizionato ed allo stesso tempo avvantaggiato dalla loro grande variabilità chimico-fisica dipendente dalla provenienza dell'inerte, dalla granulometria delle particelle, dalla percentuale di impiego e dalla compatibilità con la matrice del legante[10]; caratteristiche, queste, che rendono gli inerti da riciclo variamente adattabili alle prestazioni richieste alle miscele.

Volendo riferirsi alle tipologie di materiali, numerose sono state le indagini sul reimpiego di residui ceramici provenienti da lavorazioni industriali e demolizioni edilizie come aggregati in calcestruzzi non strutturali [1-7-11-12] e malte [8-13-14] che hanno evidenziato un maggiore assorbimento d'acqua, una riduzione della densità e delle prestazioni meccaniche rispetto ai conglomerati di riferimento con inerte siliceo. Altre sperimentazioni hanno studiato malte e calcestruzzi con inerti in plastica riciclata [15-16-17-18] ottenendo risultati contrastanti in merito all'incidenza dell'aggregato plastico sulla resistenza a compressione e flessione dei conglomerati. Relativamente alle percentuali di impiego, la letteratura ha considerato la possibilità di sostituire interamente la sabbia con gli inerti riciclati [18-19] ovvero ne ha individuato delle soglie massime oltre le quali il decadimento delle prestazioni non rende utilizzabile le malte o i calcestruzzi [14]. Un altro parametro di variabilità è rappresentato dalla distribuzione granulometrica degli aggregati riciclati, in particolare in caso di utilizzo nelle malte [10]. La frazione fine degli inerti riciclati, infatti, modifica la risposta meccanica [20-21] e le proprietà di termoisolamento dei conglomerati [22]. Nonostante il crescente interesse per la tematica, non è compiutamente nota l'utilizzabilità come aggregati riciclati di alcune tipologie di materiali quali argilla espansa, polistirene e calcestruzzo aerato autoclavato, leggeri e dunque potenzialmente con ottime proprietà di isolamento termico. Per questi materiali, impiegati generalmente per la fabbricazione di pannelli o blocchi per componenti coibenti o di tamponamento degli edifici, il vantaggio consiste nell'utilizzare lo sfrido della lavorazione industriale; questa provenienza garantisce un controllo della composizione chimica dell'inerte, altrimenti variabile in caso di recupero da demolizioni edilizie. Gli studi della letteratura, inoltre, hanno trattato generalmente una sola tipologia di aggregato riciclato senza operare un confronto diretto tra miscele confezionate con materiali diversi.

La presente ricerca, quindi, con lo scopo di approfondire l'utilizzabilità degli aggregati leggeri in argilla espansa, polistirene e calcestruzzo aerato autoclavato ha valutato e confrontato le proprietà fisiche e le prestazioni meccaniche di 12 miscele di malte confezionate con 2 tipi di legante (calce idraulica e cemento) e 4 tipi di aggregato riciclato (argilla espansa, polistirene espanso estruso, calcestruzzo aerato autoclavato e residuo ceramico) ottenuti dai residui delle lavorazioni industriali dei relativi componenti edili. Le miscele contenenti gli inerti riciclati, dieci in totale, sono state confrontate con

due miscele di riferimento con sabbia silicea. In 6 delle 12 miscele, inoltre, l'aggregato naturale siliceo è stato interamente sostituito dagli aggregati da riciclo. I parametri di variabilità delle miscele hanno riguardato il legante e la tipologia, la distribuzione granulometrica (grossa o fine) e l'assortimento percentuale dei diversi aggregati. Sono stati misurati, delle malte, la densità apparente, il coefficiente di assorbimento d'acqua e la resistenza a compressione e flessione per poi procedere, in funzione della resistenza a compressione, alla classificazione di ogni miscela come malta da intonaco e/o da muratura secondo i prospetti della norma UNI EN 998-1,2:2016.

I risultati dello studio, oltre che per caratterizzare gli aggregati riciclati leggeri prima menzionati, potranno essere utilizzati per qualificare il *mix design* degli inerti (tipologia, granulometria e rapporti percentuali) più performanti in termini di resistenza alla compressione – parametro determinante per le classi di impiego – e di riconoscere eventuali limitazioni nella percentuale di utilizzo.

2. Materiali e metodi

Materiali

Una calce idraulica naturale NHL 5 ed un cemento Portland al calcare a resistenza iniziale elevata CEM II B/LL 32,5 R, classificati rispettivamente secondo gli *standard* delle norme UNI EN 459-1:2010 e UNI EN 197-1:2011, sono stati impiegati come leganti per il confezionamento delle malte.

Una sabbia silicea con dimensione media dei granuli compresa tra 0 e 2 mm è stata adoperata come aggregato naturale. Sono state confrontate tre classi di aggregati riciclati da lavorazioni industriali di materiali edili – plastica, ceramica e cementizia – impiegando un'argilla espansa con duplice granulometria, grossa (3-8 mm) e fine (0-2 mm), polistirene espanso estruso (XPS) grosso (3-4 mm) e fine (1-3 mm), residui a grana fine di laterizio (0-1 mm) e Calcestruzzo Aerato Autoclavato (AAC) della ditta Bacchi S.p.A. Di quest'ultimo aggregato, in una fase precedente della ricerca, è stata eseguita la caratterizzazione granulometrica mediante una setacciatura a secco secondo le modalità della norma UNI EN 933-1:2012, ottenendo una distribuzione dimensionale compresa in un *range* di 0-4 mm.

I parametri di variabilità del *mix design* delle malte analizzate sono stati i tipi di legante e di aggregato. Degli aggregati, in particolare, le sostituzioni effettuate hanno riguardato la natura chimica e/o la granulometria. Nei due gruppi è stata confezionata una malta di riferimento con sabbia silicea in proporzione di massa di 3 a 1 con il legante e rapporto acqua-legante di 1 a 2, secondo le indicazioni della norma UNI EN 196-1:1996. Detta malta è stata confrontata con quelle ottenute sostituendo alla sabbia silicea gli aggregati riciclati. Per ogni miscela, le cui composizioni sono riportate nella Tab. 1, sono stati confezionati 3 provini.

Gruppo 1 – malte con cemento

Il primo gruppo di malte, contraddistinto con la sigla C, include le miscele con legante cementizio, sabbia, argilla espansa, polistirene espanso estruso e residui ceramici per un totale di 7 diverse formulazioni.

A partire dalla malta di riferimento 1 (C-SS) con sabbia, cemento e acqua si è proceduto alla sostituzione dell'aggregato naturale siliceo con l'argilla espansa grossa (AR G) e fine (AR F), riciclati. La massa di argilla espansa è stata poi progressivamente ridotta dall'aggiunta degli

altri materiali riciclati. In particolare, nelle miscele 2 (C-AR G72F24 XPS_g 4) e 3 (C-AR G66F22 XPS_g 12) l'argilla è stata sostituita nella misura del 4 e del 12% dall'XPS a grana grossa. Nella miscela 4 (C-AR G72 CR24 XPS_g 4) la frazione fine dell'argilla espansa è stata scambiata con uguale percentuale di residuo ceramico (CR), ad essa confrontabile sotto il profilo chimico-mineralogico. Nelle miscele 5 (C-AR G72F24 XPS_f 4) e 6 (C-AR G72F24 XPS_f 12) sono state mantenute invariate la tipologia e le percentuali di aggregato riciclato delle miscele 2 e 3 modificando, invece, la granulometria dell'XPS da grossa a fine. La formulazione 7 (C-XPS_g), infine, è stata messa a punto per testare il caso limite di sostituzione totale degli aggregati naturali con aggregati riciclati di diversa matrice e densità. La quantità di acqua utilizzata in ogni miscela è stata adattata in funzione della diversa tendenza alla ritenzione degli aggregati riciclati.

Gruppo 2 – malte con calce idraulica

Il secondo gruppo di malte, sigla HL, include le miscele con calce idraulica naturale, sabbia ed AAC per un totale di 5 diverse formulazioni. Le miscele 2 (HL-AAC12,5), 3 (HL-AAC25), 4 (HL-AAC37,5) e 5 (HL-AAC50) sono state ottenute sostituendo alla massa di sabbia silicea della formulazione di riferimento 1 (HL-SS) una percentuale crescente di aggregato riciclato in Calcestruzzo Aerato Autoclavato, dal 12,5 al 50%, rispettivamente. Per mantenere costante il valore di acqua efficace (0,50), nelle miscele 2,3,4 e 5 è stata incrementata la quantità di acqua di impasto, in ragione del coefficiente di assorbimento di 0,73 misurato per l'AAC con il metodo del picnometro per aggregati passanti al setaccio da 4 mm e trattenuti al setaccio da 0,063 mm, normato dalla UNI EN 1097-6:2013.

	<i>legante</i>	<i>SS</i>	<i>AR G</i>	<i>AR F</i>	<i>XPS_g</i>	<i>XPS_f</i>	<i>CR</i>	<i>AAC</i>	<i>acqua</i>	<i>A/L</i>
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
1C	450	1350							225	0,5
2C	300		229,5	76,5	13,2				240	0,8
3C	300		153	51	26,4				240	0,8
4C	300								240	0,8
5C	300				13,2				240	0,8
6C	300								240	0,8
7C	240		229,5						192	0,8
1HL	450	1350	229,5	76,5	42,5	13,2	76,5		225	0,5
2HL	450	1181,25	153	51		26,4		168,75	337,5	0,75
3HL	450	1012,5						337,5	450	1
4HL	450	843,75						506,25	562,5	1,25
5HL	450	675						675	675	1,5

SS: sabbia silicea, AR G: argilla espansa a grana grossa, AR F: argilla espansa a grana fine, XPS_g: polistirene espanso estruso a grana grossa, XPS_f: polistirene espanso estruso a grana fine, CR: residuo ceramico, AAC: calcestruzzo aerato autoclavato, A/L: rapporto in massa acqua-legante

Tab. 1. Composizione delle malte analizzate. Gruppo C: malte con cemento. Gruppo HL: malte con calce idraulica.

2.2 Metodi

La sperimentazione, effettuata presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale dell'Università degli studi di Napoli Federico II e di Tecnolab srl (malte del gruppo 2) e presso il Laboratorio di Materiali da Costruzione della *Escuela Técnica Superior de Edificación* dell'Università Politecnica di Madrid (malte del gruppo 1), è stata articolata nelle seguenti fasi:

- confezionamento e stagionatura dei provini;
- caratterizzazione fisica delle malte indurite con misurazione della densità apparente e del coefficiente di assorbimento d'acqua;
- caratterizzazione meccanica delle malte indurite con misurazione delle resistenze a flessione e compressione.

Confezionamento e stagionatura dei provini

I provini sono stati confezionati – in numero di 3 per ogni miscela, per un totale di 36 provini – seguendo le indicazioni della norma UNI EN 196-1:1996. Conclusa la fase di mescolamento, l'impasto è stato colato in stampi prismatici di acciaio di dimensioni 40x40x160 mm e compattato meccanicamente con una compattatrice automatica Ibertest modello CIB 801. I provini, dopo averne rasato la superficie ed eliminato l'impasto eccedente, sono stati inseriti in una camera climatica modello MSL Humichamber EC 125 per l'avvio della fase di stagionatura di 28 giorni sotto condizioni ambientali controllate. I valori di umidità e temperatura ed i relativi intervalli temporali di variazione hanno seguito le indicazioni della norma UNI EN 1015-11:2007. I provini sono stati mantenuti negli stampi per 2 giorni ad una temperatura di $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ed umidità relativa del $95\pm 5\%$, al terzo giorno sono stati rimossi dagli stampi e mantenuti alle stesse condizioni ambientali per ulteriori 5 giorni, dall'ottavo al ventottesimo giorno, infine, i campioni sono stati tenuti a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ed umidità relativa del $65\pm 5\%$.

Caratterizzazione fisica delle malte indurite: densità apparente e coefficiente di assorbimento d'acqua

La misurazione della densità apparente delle malte indurite di entrambi i gruppi è stata effettuata al termine della fase di stagionatura adoperando il metodo della bilancia idrostatica normato dalla UNI EN 1936:2007.

Conclusa la stagionatura, *in primis*, i provini prismatici sono stati essiccati in una stufa ad una temperatura di $70\pm 5^{\circ}$ fino al raggiungimento di una massa costante, condizione, questa, indicativa della perdita totale dell'acqua presente nei pori della malta. La massa dei provini essiccati, quindi, è stata misurata ed indicata come M_d . A questo punto è stata avviata la fase di saturazione dei provini, di durata complessiva di 72 ore, nella quale le malte sono state dapprima mantenute sottovuoto per 24 ore, poi immerse in acqua per una profondità di 5mm per 24 ore sottovuoto e per 24 ore alla pressione atmosferica. Al termine delle 72 ore la massa di ogni provino in acqua in bilancia idrostatica è stata letta e riportata come M_{idr} per poi procedere al prelievo dei provini, all'asciugatura della loro superficie esterna ed alla misurazione della massa M_{sat} . La densità

apparente è stata quindi calcolata utilizzando l'equazione (1). Per le malte del gruppo 2 è stato contestualmente misurato anche il coefficiente di assorbimento d'acqua (2).

$$d_a = \frac{M_d}{M_{sat} - M_{idr}} \quad (1) \quad W = \frac{M_{sat} - M_d}{M_d} \quad (2)$$

Per le malte del gruppo 1, invece, è stato valutato il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità di malte indurite contenenti leganti minerali ed aggregati normali o leggeri secondo la procedura della norma europea EN 1015-18:2004. La prova è stata effettuata, per ogni miscela del gruppo 1, su tre monconi risultanti dalla prova di flessione a tre punti. Dopo aver impermeabilizzato le superfici laterali dei provini e proceduto ad una fase di essiccazione per eliminare l'eventuale umidità residua, i campioni sono stati pesati (M_0) e poi collocati con le facce spezzate rivolte verso il basso, avendo cura di distanziarli dalla base del vassoio, in una bacinella contenente acqua con una profondità di immersione di almeno 5 mm. A 10 minuti dall'inserimento in acqua i monconi sono stati estratti e dopo averli asciugati rapidamente ne è stata misurata la massa (M_1). Si è proceduto alla ricollocazione in acqua e ad una nuova misurazione della massa (M_2) a 90 minuti dall'inizio della prova.

Il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità è stato infine calcolato secondo l'equazione (3) come coefficiente angolare della retta congiungente i valori delle due misurazioni M_1 , a 10 minuti di immersione, ed M_2 , a 90 minuti di immersione:

$$W_{cap} = 0,1 (M_2 - M_1) \quad (3)$$

Caratterizzazione meccanica delle malte indurite: resistenza a flessione e compressione

Le resistenze a flessione e compressione sono state misurate con la prova di flessione a tre punti e la prova di compressione uniassiale, normate dalla UNI EN 1015-11:2007, in regime di controllo di spostamento e con celle di carico di 5 kN tramite un'apparecchiatura Alpha Technologies Tensometer 2020. La prova di flessione ha preceduto la prova di compressione ed è stata operata con velocità di abbassamento della traversa di 0,5 mm/min. Una volta raggiunta la rottura a flessione dei provini e letta la resistenza (R_f) registrata dal macchinario, è stata calcolata la tensione di rottura a flessione (s_f) tramite l'equazione (4), dove L rappresenta la distanza fra gli assi dei due appoggi (ossia 100 mm), b e d sono la base e l'altezza della sezione del provino (40 mm).

$$s_f = \frac{1,5 R_f * L}{b * d^2} \quad (4)$$

La prova di compressione uniassiale è stata eseguita su 3 monconi dei provini rotti a flessione applicando un carico a velocità costante di 1 mm/min ottenendo la rottura in un intervallo di tempo compreso tra i 30 ed i 90 secondi. La tensione di rottura per compressione s_c , espressa in N/mm², è stata calcolata come rapporto tra il massimo carico sopportato dal campione durante la prova (F) e l'area della sua sezione trasversale (A).



Fig. 1. Confezionamento dei provini. Da sinistra verso destra: stampi prismatici di acciaio; campioni della miscela 2C; campioni della miscela 5HL.

3. Risultati

La presentazione dei risultati e la successiva discussione terranno conto dell'individuazione nel gruppo 1, malte confezionate con cemento, di tre *cluster* tra i quali è apparso significativo operare i confronti delle grandezze misurate:

- miscele 2C,4C,5C con aggregati riciclati argillosi grossi, argillosi fini e plastici in rapporto percentuale di massa 72/24/4. La coppia 2-4 varia per tipologia di materiale argilloso fine (argilla espansa, residuo ceramico), la coppia 2-5 varia per granulometria dell'aggregato riciclato plastico (XPS grosso; XPS fine), la coppia 4-5 sovrappone i due parametri di variabilità (frazione argillosa fine e granulometria dell'aggregato plastico);
- miscele 3C,6C con aggregati riciclati argillosi grossi, argillosi fini e plastici in rapporto percentuale di massa 66-22-12. Ad essere modificata è la granulometria dell'XPS da grossa a fine;
- miscela 7C con solo aggregato riciclato plastico di granulometria grossa.

Caratterizzazione fisica delle malte indurite: densità apparente e coefficiente di assorbimento d'acqua

I valori di densità apparente delle malte dei gruppi 1 e 2, media aritmetica delle misurazioni sui tre provini di ogni miscela, sono riportati in Fig. 2.

Nelle malte confezionate con il cemento – gruppo 1 – la sostituzione dell'aggregato siliceo con gli aggregati riciclati leggeri ha comportato una consistente riduzione della densità apparente rispetto alla miscela di riferimento (2272 kg/m^3) con un massimo per la miscela 7C (-80%) dove si è impiegato unicamente l'XPS, materiale plastico notevolmente meno denso della sabbia, in granulometria grossa. Le miscele 2C,4C e 5C, invece, hanno esibito densità apparenti mediamente inferiori del 50% rispetto alla 1, le miscele 3C e 6C una riduzione media del 60%.

Nel gruppo 2, malte confezionate con calce idraulica, è stata osservata una relazione esponenziale di proporzionalità inversa tra la massa di aggregato riciclato utilizzato e la densità apparente della malta indurita con un coefficiente di correlazione di 0,97. Le riduzioni massima e minima rispetto alla miscela di riferimento 1HL (1750 kg/m^3) sono state rispettivamente registrate per la miscela 5HL (-40%) e per la miscela 2HL (-14%) contenenti il 50 ed il 12,5% di AAC su massa totale di aggregato.

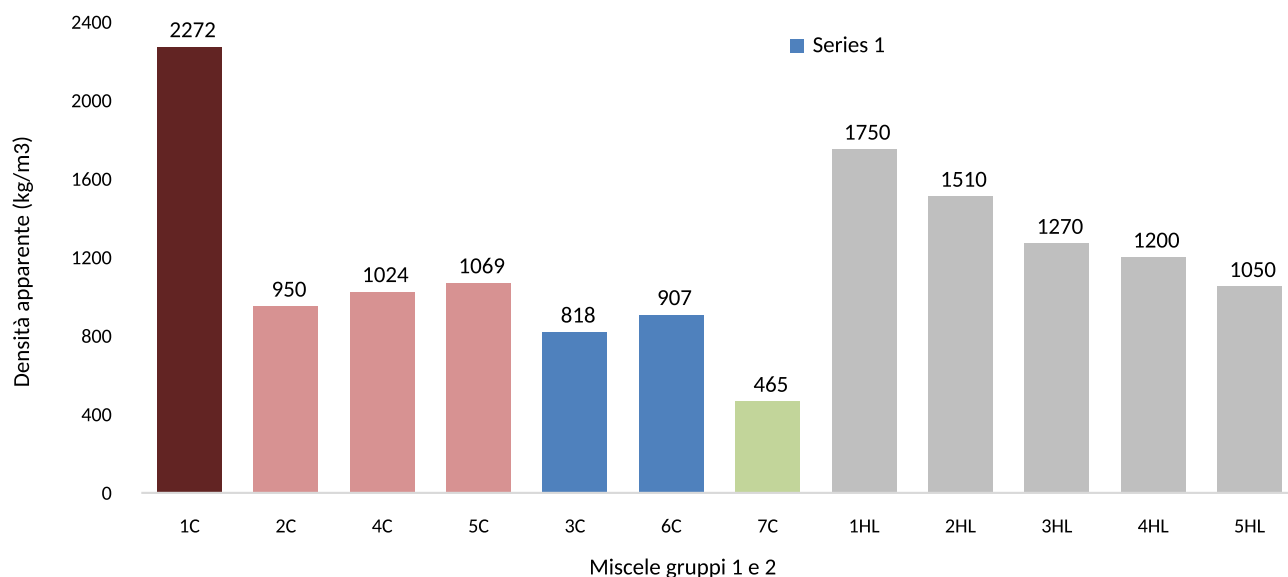


Fig. 2. Densità apparente delle malte del gruppo 1 (sigla C- con cemento) e del gruppo 2 (sigla HL – con calce idraulica). Si riportano i valori medi delle misurazioni su tre provini per ogni miscela.

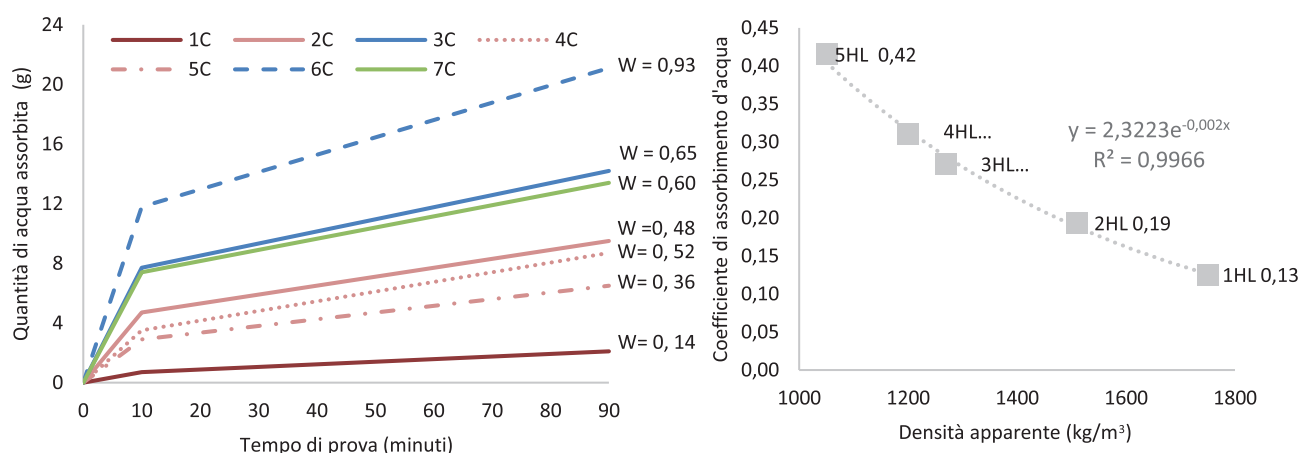


Fig. 3. Coefficienti di assorbimento delle malte. A sinistra, grafico con masse di acqua assorbita dalle malte del gruppo 1 a 10 e 90 minuti di immersione. A destra, relazione esponenziale tra densità apparente e coefficiente di assorbimento d'acqua a 72 ore delle malte del gruppo 2.

Per le malte del gruppo 1, fatta eccezione per la coppia 3-6, è stata evidenziata una relazione di inversa proporzionalità tra la densità apparente ed il coefficiente di assorbimento per capillarità delle miscele. Le rette rappresentative della variazione di massa a 10 e 90 minuti delle miscele 2,4 e 5, infatti, come riportato in Fig. 3, sono comprese tra quelle delle miscele limite 1 e 7, così come si osserva che dette rette sono ordinate seguendo l'andamento della relativa densità apparente. Le miscele 3 e 6, invece, hanno esibito valori del coefficiente di assorbimento più alti della miscela 7 pur presentando rispetto ad essa una densità maggiore. Nella stessa coppia, infine, la miscela più densa ha assorbito una massa di acqua del 50% superiore alla miscela meno densa.

I valori limite misurati per il coefficiente di assorbimento d'acqua sono stati 0,14 per la miscela di riferimento e 0,93 per la miscela 6 contenente una percentuale di XPS del 12% sul totale della massa di aggregato.

Una relazione esponenziale di proporzionalità inversa tra densità apparente ed assorbimento d'acqua – con coefficiente di correlazione di 0,99- è stata osservata per le malte del gruppo 2. La miscela di riferimento 1 HL ha esibito un valore di assorbimento d'acqua di 0,13 – confrontabile con quello della malta 1 C- quadruplicato nella malta 5 HL (0,42) dove è stata operata la sostituzione del 50% in massa della sabbia con aggregato riciclato in AAC.

Caratterizzazione meccanica delle malte indurite: resistenza a flessione e compressione

I valori medi delle resistenze meccaniche a compressione e flessione delle malte sono stati diagrammati con i valori medi delle relative densità apparenti, evidenziando relazioni esponenziali di proporzionalità inversa con coefficienti di correlazione tra 0,96 e 0,99, come mostrato in Fig. 4.

Nelle malte confezionate con il cemento la miscela di riferimento è stata esclusa dall'elaborazione in quanto i suoi alti valori di resistenza a compressione e flessione non erano confrontabili con quelli delle altre miscele. Tutte le miscele hanno esibito valori di resistenza a flessione minori di quelli a compressione fatta eccezione per la miscela 7C, confezionata con polistirene espanso estruso grosso, con un valore di s_f (0,42 MPa) quasi doppio rispetto a quello di s_c (0,25 MPa). In entrambi i gruppi le miscele con densità apparente maggiore, 5C (AR G72F24XPSf4) e 2HL (AAC12,5), escluse quelle di riferimento, sono risultate le più performanti sotto il profilo meccanico. La Tab. 2 riporta le variazioni percentuali delle densità e delle resistenze meccaniche nelle coppie dei *cluster* individuati nel gruppo 1 e, per il gruppo 2, nelle miscele con AAC crescente confrontate tra loro oltre che con la miscela di riferimento.

La sostituzione dell'XPS grosso con XPS fine nelle miscele con argilla espansa grossa e fine (5C-2C e 6C-3C) ha comportato notevoli incrementi della resistenza a compressione, in particolare nella malta con XPS al 12% in massa (+74%). La malta 5C con XPS fine al 4%, confrontata con la miscela contenente ceramico in sostituzione dell'argilla espansa fine (4C), ha esibito miglioramenti meccanici più contenuti di quelli misurati rispetto alla malta 2C, in particolare sotto il profilo flessionale. La sostituzione dell'argilla espansa fine con residuo ceramico (4C-2C), infine, ha comportato un incremento di resistenza a flessione (+27%) tre volte maggiore di quello a compressione (+9%).

Nel gruppo 2 il passaggio dalla miscela 2HL (AAC12,5) a quella 3HL (AAC25) ha riportato la perdita maggiore di resistenza meccanica, -67% e -56% per resistenza a compressione e flessione, rispettivamente; a tali variazioni è corrisposta, tuttavia, una riduzione della densità apparente del 16%. Nella miscela 4HL, invece, all'aumento di massa di AAC ed all'ulteriore abbassamento della resistenza (-40% rispetto a s_c di 3HL) non è associato uno stesso alleggerimento della malta (-6% rispetto a d di 3HL). La miscela 5HL (AAC50), infine, con una riduzione della densità del 13% rispetto alla 4HL (AAC37,5), ha riportato rispetto ad essa riduzioni della resistenza meccanica, in particolare di quella a flessione, piuttosto contenute se confrontate con le variazioni presenti nelle altre coppie.

	Δd	Δs_c	Δs_f
	[%]	[%]	[%]
4C-2C	8	9	27
5C-2C	13	48	31
5C-4C	4	37	3
6C-3C	11	74	18
2HL-1HL	-14	-35	-43
3HL-1HL	-27	-78	-75
4HL-1HL	-31	-87	-95
5HL-1HL	-4	-92	-96
3HL-2HL	-16	-67	-56
4HL-3HL	-6	-40	-81
5HL-4HL	-13	-37	-8

Tab. 2. Variazioni percentuali di densità apparente, resistenza a compressione e resistenza a flessione delle malte analizzate.

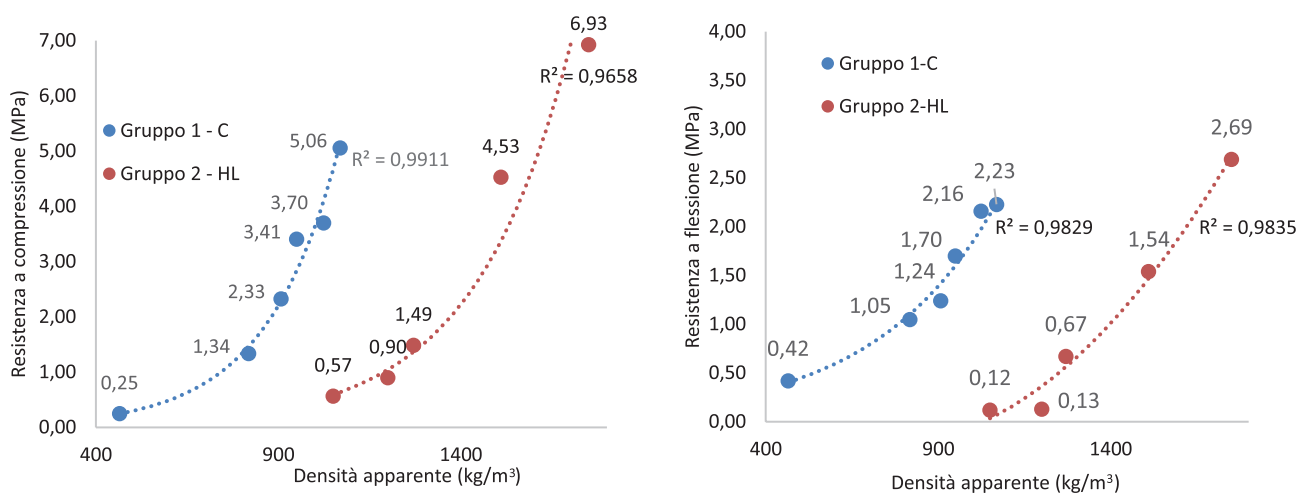


Fig. 4. Resistenza meccanica a compressione e flessione delle malte. Si riportano i valori medi delle misurazioni effettuate su 3 campioni. A sinistra, relazione esponenziale tra densità apparente e resistenza a compressione delle malte dei gruppi 1 e 2. A destra, relazione esponenziale tra densità apparente e resistenza a flessione delle malte dei gruppi 1 e 2.

I valori di resistenza a compressione delle malte sono stati confrontati con i prospetti 1 e 2 della parte 1 e con il prospetto 1 della parte 2 della norma UNI EN 998:2016, contenenti le richieste di prestazioni meccaniche per malte da intonaco (parte 1) e muratura (parte 2). La classificazione delle malte analizzate è riportata nella Tab. 3 unitamente ai valori medi di resistenza a compressione (s_c) e flessione (s_f) dei tre provini di ogni *mix*. La miscela 7C risulta inadatta all'utilizzo sia

come malta da muratura che come malta da intonaco, avendo esibito una resistenza a compressione inferiore al valore minimo previsto per le malte da intonaco di 0,4 MPa. Le restanti miscele confezionate con il cemento sono tutte impiegabili come malta da muratura; le miscele 2C,4C e 5C, in particolare, garantiscono anche la prestazione richiesta al punto 11.10.2. delle NTC 2018 per impiego in muratura portante (classe >M2,5).

Tra i campioni del gruppo 2, invece, le miscele più leggere 4HL e 5HL non risultano utilizzabili come malta da muratura mentre la miscela 2HL è adoperabile anche per murature portanti.

Le formulazioni analizzate manifestano grande versatilità nell'impiego come intonaci; le miscele 2C,4C,6C, 2HL, in particolare, coprono tutte le classi riportate nel prospetto 2.

	s_f	s_c	UNI EN 998-2	UNI EN 998-1	
	MPa	MPa	Prospetto 1	Prospetto 1	Prospetto 2
1C	5,94	33,58	>M20	CS IV	GP-CR-OC
2C	1,70	3,41	M2,5	CS II	GP-LW-CR-OC-R-T
3C	1,05	1,34	M1	CS I	GP-LW-CR-OC-T
4C	2,16	3,70	M2,5	CS II-III	GP-LW-CR-OC-R-T
5C	2,23	5,06	M5	CS III	GP-LW-CR-OC
6C	1,24	2,33	M1	CS I-II	GP-LW-CR-OC-R-T
7C	0,42	0,25	n.c	n.c	n.c
1HL	2,69	6,93	M5	CS III-IV	GP-LW-CR-OC
2HL	1,54	4,53	M2,5	CS II-III	GP-LW-CR-OC-R-T
3HL	0,67	1,49	M1	CS I	GP-LW-CR-OC-T
4HL	0,13	0,90	n.c	CS I	GP-LW-CR-OC-T
5HL	0,12	0,57	n.c	CS I	GP-LW-CR-OC-T

n.c non classificato; GP malta per scopi generali; LW malta leggera per intonaci interni/esterni; CR malta colorata per intonaci interni/esterni; OC malta monostrato per intonaci esterni; R malta per restauro; T malta termoisolante

Tab. 3. Classificazione delle malte analizzate secondo la norma UNI EN 998-1,2:2016.

4. Discussioni e conclusioni

Il presente lavoro di ricerca era finalizzato a misurare e confrontare le prestazioni meccaniche esibite da malte confezionate con aggregati riciclati di diversa natura, granulometria e dosaggio, e di classificarne la tipologia di impiego tenendo conto dei requisiti normativi. In particolare, si intendeva valutare l'incidenza che l'aggregato riciclato leggero ha sulla densità apparente e sul coefficiente di assorbimento d'acqua della malta indurita, indirettamente legati alle resistenze meccaniche del conglomerato.

I risultati hanno confermato, *in primis*, che la densità dell'aggregato riciclato sostitutivo della sabbia è determinante per la densità della malta indurita [3-4-21-23]. Le malte del gruppo 2, infatti, confezionate con l'AAC, ovvero un materiale che ha densità maggiore dell'argilla espansa e dell'XPS, sono risultate notevolmente più dense di tutte le miscele del gruppo 1. Soltanto la densità

delle miscele 4C e 5C con residuo ceramico e XPS fine è risultata confrontabile con quella delle malte con AAC. Il residuo ceramico, infatti, ha una densità maggiore di quella dell'argilla espansa, mentre l'utilizzo dell'XPS in granulometria fine ha esperito un'azione da *filler*: l'alleggerimento dei conglomerati conseguente all'impiego di aggregati a bassa densità è stato riportato da altri studi [24-25-26]; se impiegati in consistenza polverosa, tuttavia, gli aggregati fini riempiono gli spazi lasciati dai granuli maggiori e riducono il volume totale dei vuoti, compattando la malta ed aumentandone la densità rispetto ad una stessa formulazione con aggregato grosso [3-27].

Tutte le malte confezionate con inerti diversi dalla sabbia si sono caratterizzate per valori di assorbimento d'acqua maggiori della malta di riferimento a causa dei più alti ritenzione idrica degli aggregati riciclati [28] e volume di vuoti delle malte "alleggerite" [29]. Gli aggregati riciclati, infatti, sono in generale più porosi di quelli naturali e richiedono più acqua in fase di impasto: questa quantità suppletiva di liquidi è inoltre proporzionale alla finezza dell'aggregato (aumento della superficie da bagnare). L'assorbimento d'acqua per capillarità, in ogni caso, non è risultato in relazione diretta con la densità. Il maggiore valore di assorbimento esibito dalla malta 6 (C-AR G72F24 XPSf12), con densità più alta della 3 (C-AR G72F24 XPSg12), è giustificabile considerando le modifiche della distribuzione dimensionale dei pori connesse all'impiego di XPS fine: pur con una riduzione del volume complessivo dei vuoti (aumento della densità), i pori della malta 6 potrebbero essere cambiati in geometria e connessione. Nella misurazione a 10 e 90 minuti, quindi, la struttura microporosa della malta 6 potrebbe aver favorito un'imbibizione maggiore rispetto alla miscela 3; questo andamento, tuttavia, potrebbe subire modifiche qualora la valutazione si estendesse ad intervalli di tempo maggiori. La relazione di diretta proporzionalità tra la percentuale di AAC, la densità della malta indurita ed il coefficiente di assorbimento d'acqua a 72 ore nelle malte del gruppo 2 ha confermato che l'aggregato in AAC aumenta la porosità aperta delle malte [30].

Le prestazioni meccaniche esibite dalle miscele cementizie hanno mostrato che a parità di assortimento percentuale degli aggregati l'utilizzo dell'XPS a grana fine in sostituzione dell'XPS a grana grossa incrementa la resistenza a compressione e a flessione, risultato coerente con le sperimentazioni che hanno misurato la relazione diretta tra percentuale di aggregati riciclati fini e prestazioni meccaniche dei conglomerati [9-31]. L'impiego del residuo ceramico in sostituzione dell'argilla espansa, infine, ha comportato notevoli miglioramenti flessionali, probabilmente come conseguenza della geometria spigolosa, invece che tondeggiante, dei residui ceramici che favorisce la coesione con la matrice cementizia [32].

La presente sperimentazione ha spinto la percentuale di aggregato riciclato nelle miscele del gruppo 1 al 100% limitandosi, invece, per le miscele del gruppo 2 ad una sostituzione della sabbia con l'AAC del 50%, pertanto sarà opportuno confezionare nuove malte armonizzando i *mix design* dei due gruppi in termini di rapporti in massa o in volume di aggregato e legante. Il coefficiente di assorbimento di acqua per le miscele del gruppo 1, inoltre, è stato valutato con misurazioni a 10 e 90 minuti di immersione; occorrerà, quindi, ampliare la finestra temporale di osservazione così da poter confrontare le prestazioni con quelle delle miscele del gruppo 2 e verificare che i *trend* di questa prima campagna di indagine siano mantenuti. In ultimo, nelle miscele del gruppo 2 è stato utilizzato un legante meno performante dal punto di vista meccanico rispetto al cemento impiegato nel gruppo 1, pertanto sarà necessario approfondire l'incidenza che l'utilizzo di un

legante cementizio potrà avere sulle proprietà meccaniche delle miscele con AAC, per le quali alcuni campioni erano risultati inadatti all'utilizzo come malte da muratura.

In conclusione, la campagna di indagini effettuata ha evidenziato che:

- gli aggregati riciclati plastici (XPS), ceramici (argilla espansa e residuo ceramico) e cementizi (calcestruzzo aerato autoclavato) provenienti da sfridi di lavorazioni industriali sono utilizzabili per il confezionamento di malte da intonaci;
- la densità apparente delle malte indurite è inversamente proporzionale alla percentuale in massa di aggregato riciclato e direttamente proporzionale alla sua densità;
- l'utilizzo degli aggregati riciclati aumenta la quantità di acqua di impasto ed il coefficiente di assorbimento d'acqua delle malte indurite;
- la sostituzione, a parità di percentuale in peso, dell'XPS grosso con XPS fine aumenta le prestazioni meccaniche della malta indurita – in particolare a compressione – poiché ne riduce la densità, mentre il residuo ceramico è più performante in campo flessionale;
- le resistenze a compressione e flessione sono in relazione esponenziale di proporzionalità diretta con la densità apparente delle malte “alleggerite”;
- le malte confezionate con calce idraulica ed AAC in percentuale massima del 25% sull'aggregato totale esibiscono buone proprietà meccaniche (pur con un legante “debole”) e sono utilizzabili anche come malte da muratura;
- esistono delle limitazioni percentuali sull'utilizzo di alcuni aggregati leggeri. L'XPS grosso non può sostituire interamente l'aggregato siliceo poiché la sua eccessiva leggerezza non consente alla malta, in fase di indurimento, di sviluppare la resistenza a compressione minima per il suo impiego sia da muratura che da intonaco.

Riferimenti bibliografici

- [1] Zareei SA, Ameri F, Bahrami N, Shoaee P, Musaei HR, Nurian F. Green high strength concrete containing recycled waste ceramic aggregates and waste carpet fibers: mechanical, durability, and microstructural properties. *Journal of Buildings Engineering* 26: 3-13, 2019.
- [2] Rashad A. A preliminary study on the effect of fine aggregate replacement with metakaolin on strength and abrasion resistance of concrete. *Construction Buildings Materials* 44: 487-495, 2013.
- [3] Jesus S, Maia C, Brazão Farinha C, de Brito J, Veiga R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. *Construction Buildings Materials* 229: 57-67, 2019.
- [4] Nepomuceno M, Oliveira L, Lopes SMR. Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders. *Construction Buildings Materials* 26: 317-326, 2012.
- [5] Papayianni I, Anastasiou E. Production of high-strength concrete using high volume of industrial by-products. *Construction Buildings Materials* 24: 1412-1417, 2010.
- [6] Sinica M et al. Investigation of the composite material with inclusions of autoclaved aerated concrete chips. *Medziagotyra* 15: 356-362, 2009.
- [7] Nepomuceno MCS, Isidoro RAS, Catarino JPG. Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste. *Construction Buildings Materials* 165: 284-294, 2018.

- [8] de Oliveira Andrade JJ, Possan E, Squiavon JZ, Ortolan TLP. Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. *Construction Buildings Materials* 161: 70-83, 2018.
- [9] Dang J, Zhao J. Influence of waste clay bricks as fine aggregate on the mechanical and microstructural properties of concrete. *Construction Buildings Materials* 228: 11-21, 2019.
- [10] Nicolella M. Durability of Thermal Plasters made with Recycled Materials. *Concrete* 326: 45.1-45.12, 2018.
- [11] de Brito J, Pereira AS, Correia JR. Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates. *Cement and Concrete Composites* 27: 429-433, 2005.
- [12] Robayo-Salazar SA, Rivera JF, Mejía de Gutiérrez R. Alkali-activated building materials made with recycled construction and demolition wastes. *Construction Buildings Materials* 149: 130-138, 2017.
- [13] Jiménez JR, Ayuso J, López M, Fernández JM, de Brito J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction Buildings Materials* 40: 679-690, 2013.
- [14] Silva J, de Brito J, Veiga R. Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production. *Journal of Materials and Civil Engineering* 3: 236-244, 2010.
- [15] Coppola B, Courard L, Michel F, Incarnato L, Scarfato P, Di Maio L. Hygro-thermal and durability properties of a lightweight mortar made with foamed plastic waste aggregates. *Construction Buildings Materials* 170: 200-206, 2018.
- [16] Ge Z, Sun R, Zhang K, Gao Z, Li P. Physical and mechanical properties of mortar using waste Polyethylene Terephthalate bottles. *Construction Buildings Materials* 44: 81-86, 2013.
- [17] Saikia N, de Brito J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. *Construction Buildings Materials* 34: 385-401, 2012.
- [18] Alqahtani FK, Khan II, Ghataora G, Dirar S. Production of recycled plastic aggregates and its utilization in concrete. *Journal of Materials and Civil Engineering* 29: 1-12, 2017.
- [19] Corinaldesi V, Giuggiolini M, Moriconi G. Use of rubble from building demolition in mortars. *Waste management* 22: 893-899, 2002.
- [20] Martínez I, Etxeberria M, Pavon E, Diaz N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction Buildings Materials* 49: 384-392, 2013.
- [21] Ćosić K, Korat L, Ducman V, Netinger I. Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. *Construction Buildings Materials* 78: 69-76, 2015.
- [22] Liu K, Wang Z, Jin C, Wang F, Lu X. An experimental study on thermal conductivity of iron ore sand cement mortar. *Construction Buildings Materials* 101: 932-941, 2015.
- [23] Vegas I, Azkarate I, Juarrero A, Frias M. Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates. *Material Construcción* 59: 5-18, 2009.
- [24] Nepomuceno MCS, Pereira-de-Oliveira LA, Pereira SF. Mix design of structural lightweight self-compacting concrete incorporating coarse lightweight expanded clay aggregates. *Construction Buildings Materials* 166: 373-385, 2018.
- [25] Polat R, Demirboğa R, Karakoç MB, Türkmen I. The influence of lightweight aggregate on the physico-mechanical properties of concrete exposed to freeze-thaw cycles. *Cold Regions Science and Technology* 60: 51-56, 2010.

- [26] Zaetang Y, Wongsa A, Sata V, Chindaprasirt P. Use of lightweight aggregates in pervious concrete. *Construction Buildings Materials* 48: 585-591, 2013.
- [27] Anastasiou E, Papachristoforou M, Anesiadis D, Zafeiridis K, Tsardaka EC. Investigation of the use of recycled concrete aggregates originating from a single ready-mix concrete plant. *Applied sciences* 8, 2018.
- [28] Hanžič H, Mautinger A, Jurič B, Oliveira L. Water retention capability of mortars made of recycled aggregate. *SB08 World Sustainable Building Conference*, 615-621, 2008
- [29] Pedrozo R. Influence of the replacement of fine natural aggregate with fine recycled aggregate on the properties of mortars and concrete. 2008.
- [30] Hlawatsch F, Aycil H, Kropp J. Autoclaved aerated concrete (AAC) rubble for new recycling building products: In dry premixed mortars for masonry, in masonry blocks, and in lightweight blocks. *Ce/Papers* 2: 457-464, 2018.
- [31] Gyurkó Z, Jankus B, Fenyvesi O, Nemes R. Sustainable applications for utilization the construction waste of aerated concrete. *Journal of cleaner production* 230: 430-444, 2019.
- [32] Neno C, de Brito J, Veiga R. Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production. *Literature Review. Sequence of Testing. Material research* 17: 168-177, 2014.

NTC 2018 – Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni

UNI EN 1015-11:2007. Determinazione della resistenza a flessione e a compressione delle malte indurite.

UNI EN 1936:2007. Metodi di prova per pietre indurite. Determinazione della densità reale ed apparente e della porosità totale ed aperta.

UNI EN 196-6:2010. Metodi di prova dei cementi- parte 6: Determinazione della finezza.

UNI EN 459-1:2010. Calci da costruzione – Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità

UNI EN 197-1:2011 Cemento – Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni

UNI EN 933-1:2012. Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati – Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica – Analisi granulometrica per setacciatura

UNI EN 998-1:2016. Specifiche per malte per opere murarie – Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni

UNI EN 998-2:2016. Specifiche per malte per opere murarie – Parte 2: Malte per muratura