

ARTICLE INFO

Received	21 September 2024
Revised	11 November 2024
Accepted	12 November 2024
Published	30 December 2024

PATRIMONIO PER UN FUTURO SOSTENIBILE

Il principio teorico della reversibilità e i suoi riflessi in architettura

HERITAGE FOR A SUSTAINABLE FUTURE

The theoretical principle of reversibility and its reflections on architecture

Roberta Fonti

ABSTRACT

Il tema della reversibilità in architettura è inquadrato focalizzando l'attenzione sul tema dell'aggiunta del nuovo all'esistente e su come questa 'immissione' possa essere resa reversibile nell'ottica di preservare la preesistenza in relazione alle idee gemmate nella cultura italiana del Restauro e di promuoverne nuove idee nella progettazione architettonica e nel riuso sostenibile di materiali edili, a seconda delle diverse stagioni del Kunstwollen. Le esperienze, che il contributo espone criticamente, sono orientate verso la possibilità di assicurare l'effettiva reversibilità degli interventi, mentre si affronta il tema della progettazione di elementi architettonici reversibili e si rivedono tecniche e materiali tradizionali, reinterpretati sotto una chiave inedita, anche in relazione ai temi dell'incremento demografico e del bisogno crescente di 'flessibilità' propri dell'era contemporanea.

The theme of reversibility in architecture focuses on the addition of the new to the existing and how this 'input' can be made reversible to preserve the pre-existing ideas budding in the Italian culture of Restoration and promoting new ideas in architectural design and the sustainable reuse of building materials, according to the different seasons of Kunstwollen. The experiences, which the contribution critically exposes, are oriented towards the possibility of ensuring the effective reversibility of interventions while addressing the theme of the design of reversible architectural elements and revisiting traditional techniques and materials, reinterpreted in a new key, also about the themes of demographic increase and the growing need for 'flexibility' typical of the contemporary era.

KEYWORDS

riuso, reversibilità, circolarità, flessibilità, aggiunta

reuse, reversibility, circularity, flexibility, addition



Roberta Fonti, Architect and PhD, is a Research Associate at the Department of Architecture, School of Engineering and Design Technical University of Munich (Germany). She conducts research mainly in the field of restoration and architectural theory; she has worked as a designer and consultant for public and governmental bodies. E-mail: roberta.fonti@tum.de

La reversibilità è uno dei temi fondamentali con cui si sono confrontate generazioni di architetti e conservatori, ed è in effetti un'enucleazione teorica propria della disciplina del Restauro. Il concetto di reversibilità nel Restauro, spesso accostato a quello della 'distinguibilità' dell'intervento, ha dimostrato una natura mutabile nel tempo e ha sostenuto l'opportunità che la rimozione non implichi alcuna sottrazione di materia storica e che la riconoscibilità dell'integrazione sia resa evidente anche con una semplice incisione della data di realizzazione del nuovo elemento nella preesistenza. Così è accaduto a Venezia nel Palazzo Ducale, nella Cattedrale di Milano e nel Duomo di Colonia, ma anche a Santa Maria del Fiore, dove la facciata monumentale è un completamento novecentesco, o in altri interventi eseguiti in ragione della 'armonia' stilistica.

La reversibilità ha trovato ampia applicazione nel restauro delle superfici architettoniche, con particolare riferimento alle pitture murali, e delle opere d'arte (Baldini, 1978), rispondendo all'esigenza di distinguere le reintegrazioni nell'opera preesistente, intese come atto di rimodulazione critica delle lacune¹ (Fig. 1), garantendone la reversibilità. Sebbene siano emersi in Italia nell'ambito del Restauro e dunque siano connessi al tema delle reintegrazioni delle lacune, i lineamenti concettuali del principio della 'reversibilità' sono stati trasposti a questioni di più ampia portata, non solo limitate alle reintegrazioni di componenti strutturali perdute, ma estese anche all'aggiunta, ovvero all'innesto di nuova 'materia', nelle fabbriche architettoniche esistenti.

Tuttavia nel panorama internazionale la sua applicazione ha incontrato significative limitazioni, dovute alle difficoltà concrete nel rendere reversibile il carattere dell'intervento, e solo raramente ha trovato riscontro pratico nella realtà professionale di architetti e restauratori. Operando sul Patrimonio architettonico la questione è resa ulteriormente problematica dalla necessità che le applicazioni garantiscano la stabilità strutturale, ovvero forniscano un'adeguata risposta sia alle azioni dinamiche degli agenti esterni che dei terremoti, senza trascurare le azioni eccezionali dovute al fuoco, ma anche ai carichi ordinari assegnati a seconda delle diverse classi d'uso; ulteriori questioni sembrano emergere se l'intervento reversibile si confronta con le nuove sfide legate al cambiamento climatico e al riscaldamento globale.

Dalla teoresi della reintegrazione di una parte dell'opera perduta, nel tempo, e soprattutto a seguito di più duttili interpretazioni della Carta di Venezia del 1964 (Lamaire, 1995) legate alla necessità di messa in valore dei Beni architettonici, si è assistito all'evolversi del concetto di reversibilità nella direzione degli adeguamenti e delle aggiunte rese necessarie dalla volontà di rivitalizzare i fabbricati storici nell'ambito sociale cui appartengono, reinserendoli nella coscienza comune in una dimensione d'uso di senso attuale. In quest'ottica l'aggiunta e la sua reversibilità diventano la prospettiva verso la quale i progettisti sono rivolti nel tentativo di raggiungere un compromesso soddisfacente fra l'esigenza conservativa del manufatto storico e la sicurezza dell'aggiunta 'reversibile' stessa.

Questo problema si pone in maniera ancora più esacerbata se si guarda alle centinaia di coperture installate negli ultimi decenni in aree archeologiche. Si possono richiamare esempi di strutture progettate insistendo sul Bene archeologico stesso, con diversi livelli di reversibilità (Minissi, 1988) a secon-

da dello stato 'allotropico' del Bene (Brandi, 2001), ovvero delle priorità legate al rudere quale oggetto di contemplazione o alle opere d'arte in esso contenute (come ad esempio gli apparati musivi), da preservare mantenendo l'orografia del suolo archeologico pressoché invariata e garantendo un grado di reversibilità dell'intervento maggiore rispetto alle più recenti installazioni². Le invasive perforazioni alterano sovente le storizzate topografie di scavo, anch'esse da preservare, indirizzando l'intervento verso l'ottenimento di un'immagine del sito che va oltre la realtà delle rovine; esse si legano indissolubilmente ai suoi 'amministratori' o a questioni di gusto: questioni centrali dunque che trovano nel fondamentale contributo di Alois Riegl alcune illuminate anticipazioni e temi ancora oggi attuali.

Per Riegl (1903) ciò che è ammesso da una generazione può non essere accolto da un'altra, che tenderà a decidere autonomamente a seconda della dimensione estetica in cui si riconosce e a modificare (anche irreversibilmente) la condizione e l'immagine delle opere. A tal proposito si può ricordare che il ciclo giottesco delle storie della Vera Croce nella Basilica di San Francesco in Arezzo è stato obliterato alla vista per secoli; soltanto in tempi di revival medievale si è deciso di far riemergere ciò che oggi è un'opera d'arte ammirata da molti, ma al prezzo della totale distruzione di ogni apparato decorativo sovrapposto nel corso dei secoli. Anche nella Chiesa di Santa Maria in Cosmedin a Roma è stata demolita la facciata del Sardi, completamente rimossa per dar luce alle fattezze paleocristiane e medievali del monumento.

La natura di questi interventi si lega sovente al soddisfacimento del bisogno di codificare uno stile identitario nazionale, con esiti che comportano estese demolizioni e ricostruzioni di ciò che appare non integro dietro la veste barocca. In questo senso è emblematico il commento del Giovannoni (1929) che denota un pentimento dello stesso circa la decisione drastica della rimozione della facciata, a pochi decenni dall'intervento. Anche Camillo Boito (1893) osservava come il far rivivere un'opera nascosta sotto le spoglie barocche e le centinaia di stratificazioni che la caratterizzano non fosse cosa di poco conto.

Richiamando ancora Riegl si evidenzia come i processi di riappropriazione critica di un Bene (Lombardi Satriani, 2004) siano alla base della sua 'conservazione partecipata', sebbene alcuni esempi nella storia attestino approcci talvolta distruttivi. Partendo dalla necessità di dare pari dignità alle stratificazioni storiche di un edificio, ad esempio Brandi richiama il caso del Pantheon di Roma nel suo saggio *Il Vecchio sul Nuovo* (Brandi et alii, 2005; Brandi, 2007), evidenziando come sia stato errato rimuovere le 'orecchiette' (ovvero i campanili) e quanto una moderna sensibilità oggi ci spinga a tollerare e ammirare le tracce materiali stratificate del passato. Si ritiene che ciò abbia contribuito ad alimentare la necessità di operare delle 'aggiunte' contraddistinte dal carattere della reversibilità, in grado di rispettare le diverse fasi storiche di un monumento e la sua immagine, per trasmetterlo ai posteri dandogli però 'nuova vita' (Giovannoni, 1929).

Partendo dalle considerazioni appena tracciate il criterio della 'reversibilità' sembra oggi assumere una peculiare centralità in ambito architettonico, con particolare riferimento agli interventi di riuso di edifici atti a soddisfare i nuovi bisogni delle società moderne nei centri storici europei, ma anche rispetto alle questioni emergenti poste dall'insostenibilità eco-

logica dell'industria dell'acciaio e del cemento armato³ (European Commission, n.d.) e al crescente bisogno di alloggi⁴ (UN, n.d.).

Tra le questioni più problematiche nelle esperienze di conservazione dell'architettura emergono la fruizione dei Beni vincolati e loro variazioni d'uso, spesso necessità inderogabile per la rivitalizzazione dei manufatti esistenti in molti centri storici. Il tema dell'adeguamento funzionale viene spesso affrontato sottovalutando gli irreversibili danni causati dall'adattamento degli spazi interni a nuove destinazioni d'uso; in tali circostanze la ricerca di una consonanza perfetta fra architettura esistente e adeguamento funzionale può risultare irraggiungibile per svariate ragioni, ma ciò definisce spesso le premesse che conducono alla necessità dell'aggiunta di nuovi volumi, pur preservando le peculiarità storico-morfologiche delle fabbriche esistenti e l'immagine storizzata delle facciate⁵, così come già rilevato da Giovannoni (1929).

I temi assai rilevanti della 'reintegrazione' e della 'integrazione' sono stati dunque declinati in diverse soluzioni, che spaziano dagli approcci sensibili alle teorie boitiane-giovannoniane delle forme semplici e dell'aggiunta minima agli interventi 'moderni' che lasciano spazio all'impiego di materiali nuovi, spesso in stridente contrasto con le preesistenze (Russo, 2021).

Riflettendo sul dialogo fra architettura moderna e ambienti storici, nel suo saggio *Il Linguaggio Moderno dell'Architettura*, Zevi (1973) evidenzia la necessità di difendere l'antico minacciato dall'invadenza del nuovo; contemporaneamente non trascurando il rischio che l'affermazione dei valori architettonici contemporanei sia insidiata da datate teorie che reprimono il nuovo, contestando di fatto le tesi giovannoniane. Zevi considera inoltre impossibile conciliare gli antichi valori linguistici con i nuovi per due ragioni: impedire la costruzione di nuovi edifici nei tessuti storici, che vanno tutelati; favorire la realizzazione di opere schiettamente moderne fuori dai tessuti antichi.

Si tratta ancora oggi di questioni, sia nella dimensione teorica che nella prassi operativa, emergenti e tra le più delicate che gli architetti sono chiamati ad affrontare per adeguare l'esistente e concepire il nuovo, dando un contributo significativo alla riduzione delle emissioni globali dovute al settore edile, responsabile in modo preponderante delle emissioni globali di CO₂, soprattutto per la produzione di materiali quali cemento, acciaio e plastica.

In tale ottica il saggio si pone l'obiettivo di guardare al tema dell'aggiunta in architettura e alla sua reversibilità, sia alla scala dell'edificio che a quella urbana, rivelando il potenziale di questo concetto teorico, fino a questo momento confinato all'ambito del Restauro architettonico, quale applicazione pratica nella progettazione di nuovi edifici, con particolare attenzione ai temi della economia circolare, della rifunionalizzazione e di nuovi impieghi della pietra da taglio. Pertanto il contributo affronta il tema della reversibilità nell'ambito delle politiche ecologiche globali, del cambiamento climatico e dell'impiego di materiali a impatto ridotto, riportando alcune pratiche di progettazione reversibile e risvolti applicativi nell'edilizia residenziale ancora in fase sperimentale.

Reversibilità, rifunionalizzazione e cambiamento climatico: alcune questioni | Nonostante i progressi fatti nella ricerca (Giallocosta, 2019; Ness, 2024), ad esempio con il Net-Zero Circular Concrete (KIT, 2024), la nostra capacità di comprendere co-



Fig. 1 | Church of San Pietro la Monte in Civate (credit: R. Fonti, 2021).

me trasformare l'industria delle costruzioni in catene di produzione ecocompatibili è ancora limitata (Antonini, 2019): studi sull'impiego di metalli completamente riciclabili, come il piombo, sono ancora scarsi⁶, mentre risulta quasi assente, nel panorama delle soluzioni sostenibili, l'uso di materiali naturali quali la pietra da taglio, presumibilmente a causa dei costi elevati per l'estrazione e il trasporto, ma anche per la mancanza di manodopera specializzata nell'impiego di tecniche un tempo tramandate da generazione in generazione e ormai perdute.

Già nel terzo decennio dello scorso secolo Piacentini (1930) rilevava che il processo di meccanizzazione era in atto: i nuovi materiali artificiali erano preferiti ai naturali e si diffondevano i cementi, i surrogati del legno, il ferro, il linoleum e la gomma, anche in rotoli facilmente trasportabili e più semplici da applicare rispetto ai pavimenti tradizionali. Nel medesimo testo Piacentini (1930, p. 61) faceva presente che «[...] non possiamo essere moderni a tutti i costi [solo perché] ci dobbiamo difendere dal sole cocente e dall'eccessivo caldo per sei mesi dell'anno», ritenendo che in Italia vi era ancora una buona disponibilità di materiali nobili, come pietre, marmi e terre cotte, di semplice lavorazione e a buon mercato. Legambiente (2021) puntualizza che anche il significativo impatto delle attività estrattive sul paesaggio non incentiva tali dinamiche⁷; inoltre le costruzioni in muratura sono spesso percepite come sistemi rigidi nella loro concezione d'insieme, che non consentono modifiche delle aperture o nella distribuzione spaziale degli ambienti interni e che risultano complesse da trasformare al fine di soddisfare i moderni requisiti energetici dei nuovi edifici, anche per via degli ingenti spessori degli apparati murari o dell'umidità di risalita a contatto con i terreni vegetali (Franzoni, 2018).

Ricerche sull'impiego del legno (Di Virgilio, 2023; Romano and Di Monte, 2023) come materiale da costruzione sostenibile, dei materiali argillosi, della terra cruda e dei materiali in fibre naturali, nonostante la loro grande rilevanza, sono considerate esterne allo scopo di questa ricerca poiché s'intende

promuovere la sostenibilità in architettura progettando edifici realizzati in pietra, in grado di accelerare l'economia circolare. Allo stesso tempo occorre mitigare l'impatto dell'attività estrattiva sul paesaggio riutilizzando i materiali secondo una catena ecosostenibile che ne estende la vita (Scalisi and Sposito, 2021; Sposito and Scalisi, 2020).

Si ritiene invece indispensabile recuperare la conoscenza perduta sull'impiego della pomice (La Greca, 2009) e incentivare lo studio e gli impieghi del piombo (ELSIA, 2006) al fine di aumentare le prestazioni energetiche degli edifici riducendo al contempo i problemi legati all'umidità di risalita tipica delle opere murarie in pietra da taglio.

In quest'ottica emerge la necessità di rivisitare i sistemi costruttivi in una prospettiva sostenibile, più in sintonia con la cultura locale, il clima e l'ambiente incoraggiando così la mitigazione e l'adattamento al cambiamento climatico (UNESCO, 2023) e ripensandoli in una nuova prospettiva 'circolare' verso forme architettoniche e progetti strutturali capaci di reinventare le città del futuro che a viva voce ci chiedono di ragionare su sistemi completamente reversibili (UNEP, 2024).

Possibili strategie per il 'restauro reversibile': prime esperienze | Nel 2016 si sono svolti gli interventi di restauro e adeguamento dell'altare maggiore della Chiesa di San Cajetan a Monaco di Baviera⁸: la Chiesa presenta dimensioni imponenti con pilastri ed elementi architettonici in stile barocco sopravvissuti alla Seconda guerra mondiale; l'altare maggiore si estende per oltre 13 metri, si eleva per 4 metri di altezza ed è completato da quattro sculture disposte tra due porte monumentali (Fig. 2a).

Dopo la Seconda guerra mondiale l'edificio è rimasto incompiuto per circa settant'anni e le quattro grandi sculture centrali sono state riportate nella loro posizione soltanto negli anni 2000. Il riposizionamento delle statue nel loro originario contesto è stato affrontato con nuove strategie: pur nel rispetto della cornice storica l'ambientazione ha previsto l'aggiunta di alcuni elementi che esplicitano l'intento

di connotare il 'nuovo' carattere della Chiesa di San Cajetan valorizzando il suo antico altare maggiore (Fig. 2b).

In particolare è stata ideata una sorta di quinta scenica costituita dall'accostamento di una griglia rigida in legno a un diaframma di tessuto, che funge da sfondo e disvela un motivo estetico a doppia faccia. La parte anteriore presenta un disegno geometrico che, simile a una predella, è diviso in sette pannelli verticali, mentre la parte posteriore lascia spazio a una superficie interamente dorata composta da un tessuto che corre dall'alto verso il basso (Fig. 2c); questa sorta di retablo serve da predella per la pala d'altare posizionata alle sue spalle. I profili in legno sono sviluppati secondo una serie di elementi privi di decorazione (Fig. 2d), con elementi di rinforzo cruciformi (Fig. 2e), la cui sequenza è interrotta, nel 2018, da due porte monumentali progettate con profili ispirati alla tradizione barocca, che interrompono la linearità del disegno attraverso i loro elementi decorativi (Fig. 3). È stato inoltre progettato un elemento curvo che dona centralità al tabernacolo e ha lo scopo di evocare nuovamente l'idea di un tabernacolo sferico (Fig. 4).

Le quattro sculture sono state inoltre poste su nuove basi (Fig. 5) e, contrariamente al progetto originario, adattate alle quattro diverse dimensioni dei busti; il nucleo interno della base è realizzato in legno e posato in opera in forma di piastre, impilate e collegate mediante connettori verticali in legno. Il progetto dell'altare nel suo complesso è caratterizzato da un design completamente reversibile: ogni elemento è stato installato a pavimento in una composizione bilanciata di volumi semplicemente appoggiati e zavorrati alla base, utilizzando piastre di legno e cemento nascoste negli elementi inferiori (Fig. 6). Lo stesso sistema è stato utilizzato per definire i pilastri delle due porte, riuscendo anche a stabilizzare le aperture senza praticare alcun foro di fondazione lungo la pavimentazione nonostante gli elevati rapporti di snellezza fra gli elementi.⁹

Il secondo caso studio si lega alle misure di 'conservazione preventiva' per le necropoli di Porta No-

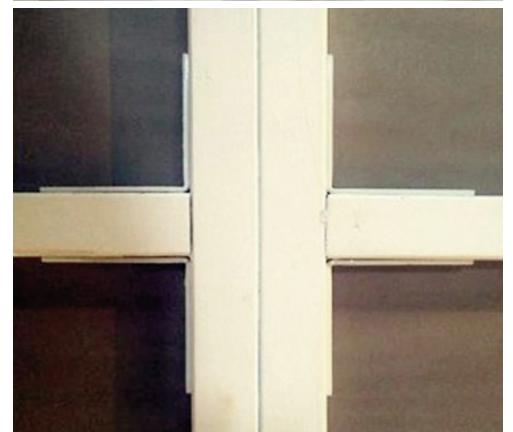
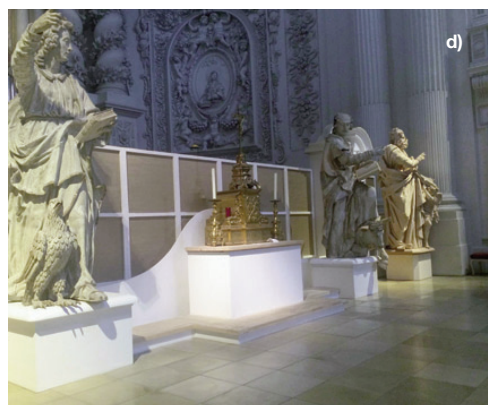
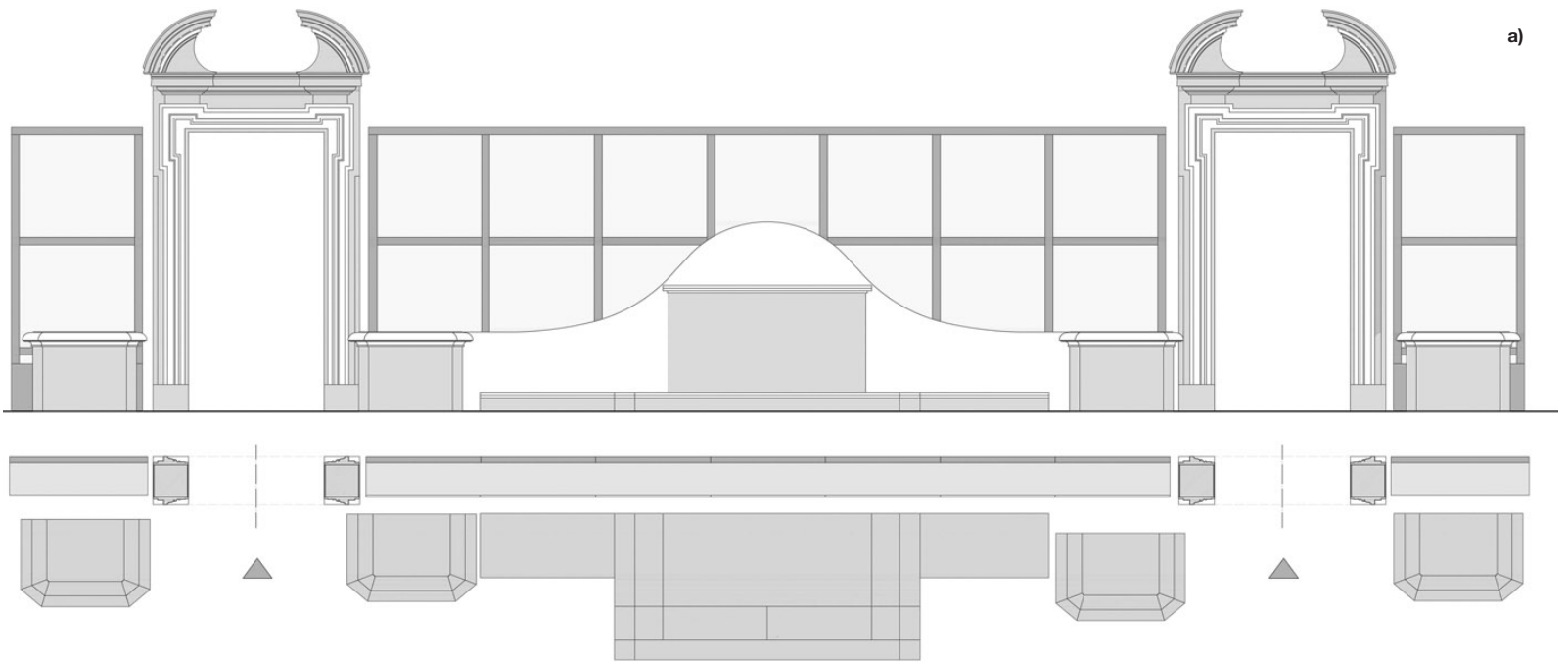


Fig. 2 | The new temporary high altar, a mediation between a design devoted to the restoration of the altar in its Baroque features and a design in simple forms limited to a few signs and aimed at giving equal dignity to each historical phase through the use of textile materials and wood: a) project; b) overall photo of end of work; c) detail photo of the simple elements area of the presbytery reserved for the Theatine monks; d) front view of the part exposed to the public; e) details (credit: R. Fonti, 2018)

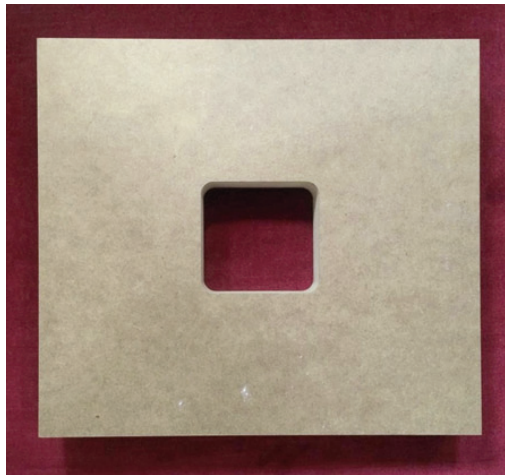
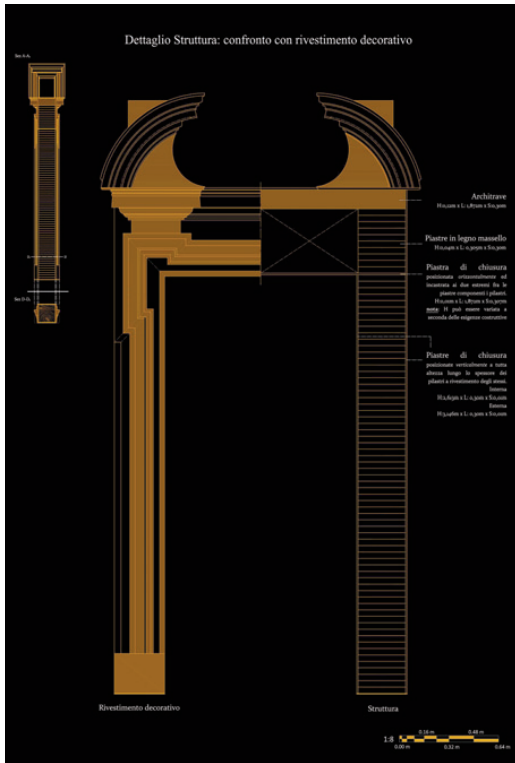


Fig. 3 | Theatini Church: monumental altar doors, project (credits: R. Fonti, 2018).

cera e via Nucerna a Pompei, dove è stata prevista nel 2017 una tipologia innovativa di copertura protettiva con fondazioni reversibili, zavorrate in piombo e corten, finanziata da Phoenix Pompeji e.V. di Monaco di Baviera¹⁰. Tale copertura, oltre ad essere stata concepita nel rispetto del criterio della reversibilità, ottempera ai seguenti sette principi guida alla progettazione: 1) impiego di materiali compatibili con le condizioni ambientali del sito, ma senza prescindere dal principio di massima riconoscibilità dell'intervento; 2) impiego di materiali resistenti agli agenti atmosferici; 3) disegno modulare e adattabilità alle diverse topografie dei terreni; 4) affidabilità strutturale sotto carichi ordinari, straordinari ed eccezionali; 5) cantierabilità del progetto in zona archeologica, trasportabilità manuale degli elementi e assemblaggio con l'ausilio di semplici trabattelli; 6) costi di manutenzione estremamente ridotti o assenti; 7) costi di realizzazione ammortizzati da quelli di manutenzione ed alta qualità dei materiali impiegati.

Per il vincolo di base del sistema di copertura protettiva si è scelto l'impiego di elementi in acciaio corten e piombo, con connessioni base-colonna di tipo a cerniera, appoggiati direttamente sul suolo archeologico, concepiti per lavorare in attrito e stabilizzati alla traslazione orizzontale grazie all'impiego di contrappesi in piombo. La struttura principale della copertura è stata progettata per lavorare in campo elastico, secondo un modello di rotazione rigida della colonna e momento zero alla base (Fig. 7). La scelta del piombo, oltre ad essere basata su necessità estetico-architettoniche, è volta a minimizzare l'altezza complessiva della base per via del suo peso specifico; inoltre il suo impiego è stato preferito sia per la versatilità (elementi impilabili, facilmente trasportati a mano e assemblati in situ) che per le qualità ecosostenibili, se impiegato nella forma di pani di piombo e lastre (Fig. 8).

REversible BUildings for Sustainable and temporary cities (REBUS) | Passando ora a contestualizzare i temi della sostenibilità e della reversibilità,

già centrali nelle discipline della conservazione del Patrimonio storico, nell'ambito della nuova architettura (anche per favorire l'accostamento all'antico) è possibile richiamare i lineamenti della ricerca REversible BUildings for Sustainable and temporary cities (REBUS), sviluppata nell'ambito del progetto europeo EUQTCollider che ne ha finanziato una prima fase tuttora in via di svolgimento¹¹. La ricerca si pone l'obiettivo di progettare unità abitative, isolate o in serie, completamente reversibili, ma allo stesso tempo stabili e confortevoli, concepite per essere realizzate sia in contesti rurali che cittadini. Questa tipologia di edifici completamente reversibili, ora in fase sperimentale, è concepita per rispettare il nostro Pianeta affrontando le nuove sfide del cambiamento climatico, della globalizzazione e della crescita demografica, le note questioni derivanti da fenomeni migratori, della messa in valore del Patrimonio architettonico esistente (Lauria and Azzalin, 2021) e del bisogno sempre crescente di alloggi della società odierna (Pieper, 2024), il tutto in un'ottica di mobilità continua tra nazioni e continenti diversi.

In risposta a queste sfide gli edifici REBUS sono concepiti in pietra, stabili ma smontabili, e senza fondazioni che alterino la morfologia del suolo grazie all'impiego di materiali come il piombo e la pomice derivante dal riciclo delle bottiglie¹². Il sistema costruttivo è ispirato alla progettazione dei templi di età antica poiché sfrutta l'impiego della pietra da taglio incastrata e posata in opera a secco, secondo configurazioni stabili d'equilibrio basate sul bilanciamento dei pesi con fondazioni di tipo continuo superficiali che, assumendo la forma di un'ampia piattaforma di base continua, ricordano il profilo di un crepidoma¹³. Il sistema, se necessario, può essere stabilizzato da un vincolo laterale, ovvero da una fasciatura metallica, mentre i muri vengono inseriti in apposite sagomature create nella piattaforma, rivestite di piombo e atte ad accogliere i paramenti verticali. La piattaforma è destinata a funzionare anche come blocco di base in grado di ospitare condutture impiantistiche di varia natura.

Il piombo riciclato – materiale che possiede il più elevato peso specifico mai scoperto in natura – sarà utilizzato come zavorra e isolatore termico, posto in opera sotto forma di pani, in punti specifici, in modo da funzionare come carico concentrato o distribuito nelle sommità murarie, così da stabilizzarle contro azioni dinamiche quali vento o terremoti e carichi eccentrici, ma anche per proteggere le creste murarie dagli agenti atmosferici. Inoltre le lastre di piombo posizionate alla base dei muri proteggeranno le murature da eventuali fenomeni di umidità di risalita, migliorando di conseguenza le prestazioni energetiche globali dell'edificio. In aggiunta è previsto l'uso di vetro riciclato e rimodellato in forma di blocchi di pomice artificiale nelle parti interne delle pareti per migliorare il comfort termico negli edifici e soddisfare i più moderni requisiti energetici in edilizia (Fig. 9).

Pavimentazioni e coperture sono progettate con l'ausilio del calcestruzzo romano: le coperture piane sono ideate come elementi monolitici modulari con leggera precompressione, applicando strati di pomice inglobati in uno strato di malta di calce e cocciopesto che funge da finitura e posati in opera mediante macchinari pesanti; la precompressione è ottenuta mediante un vincolo laterale, una fasciatura realizzata in piombo a vincolo variabile. L'uso della malta di calce anziché dei calcestruzzi armati favorisce processi di prefabbricazione degli elementi che, grazie al minore tempo di maturazione e presa, permette alla calce di completare i processi di carbonatazione, che sono alla base dell'impatto zero di CO₂ dei materiali prodotti all'interno del ciclo della calce.

Tuttavia vanno valutati alcuni rischi operativi: mentre è ben nota la capacità del cemento armato di funzionare come una piastra e di interpersi tra le pareti in modo da ridistribuire le sollecitazioni in tutta la scatola muraria, la capacità delle lastre a base di calce di funzionare come un corpo rigido durante i processi di posa in opera e reinsediamento è limitata. D'altra parte sappiamo che il cocciopesto è alla base della progettazione del calcestruzzo romano (Lamprecht, 1993): l'ipotesi è che possa funzionare come blocco rigido su una campata piuttosto ampia, indipendente dal supporto in situ, sfruttando una precompressione minima data dalle cinture metalliche all'intorno, così da indurre un comportamento ad arco a spinta eliminata; pertanto, similmente alle volte piane e alle piattebande alla francese, svilupperà una curva delle pressioni interna al suo spessore.

La pomice renderà le lastre più leggere e facilmente trasportabili, adatte a garantire l'abbattimento dei carichi in testa alle costruzioni murarie soddisfacendo, al contempo, i requisiti di resistenza al fuoco. La capacità della pomice di resistere alle sollecitazioni di compressione risulta però limitata; tuttavia in tempi contenuti è possibile rinforzarla con strati di incannucciato posti in opera con colle animali e gesso alabastro¹⁴ e posizionati all'intradosso, soprattutto nelle fasi di trasporto.

Mentre è noto il comportamento nel piano e fuori dal piano delle costruzioni in muratura a secco¹⁵, l'efficacia dei vincoli di base muratura-muratura è ancora sconosciuta, non essendo in possesso di esempi tramandati della trattatistica storica o sui metodi costruttivi tradizionali. Qualora l'uso di questa sorta di 'crepidoma' come blocco di base (in muratura, posto in opera con giunti a secco) non dovesse essere sufficiente a garantire il vincolo di ba-

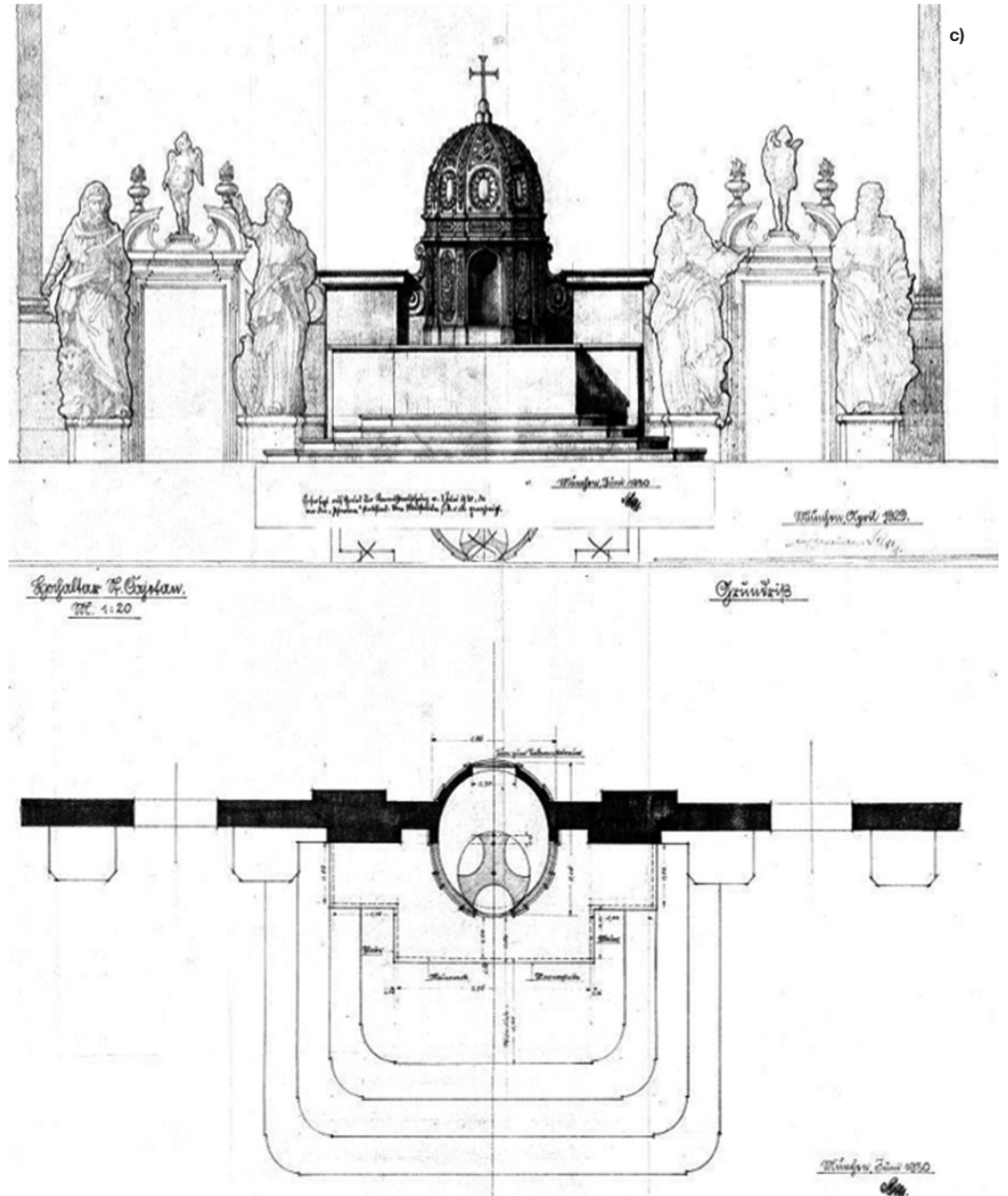
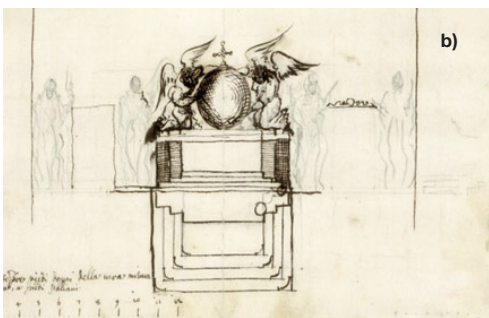
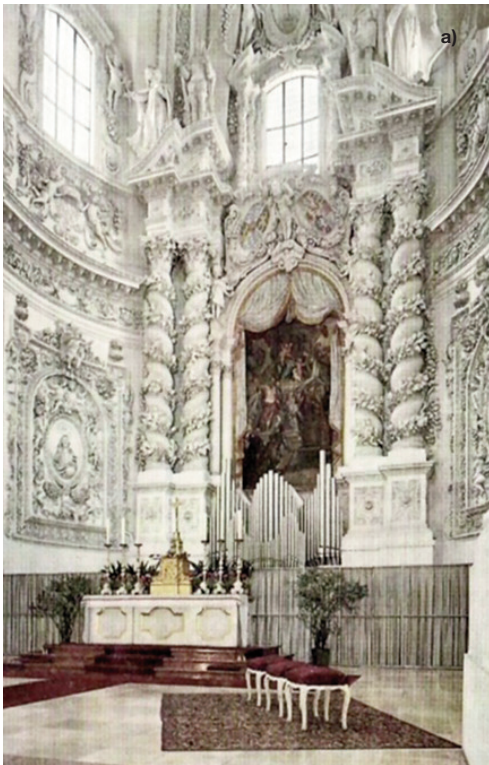


Fig. 4 | a) High altar from the 1990s, removed in the early 2000s, except the textile part, in order to recreate the Baroque altar; b) Original design inspired by Fontana's design for Santa Maria in Traspontina in Rome; c) Post-World War I design (credits: Emmerling, 2005; Reiser, 2012).

se alle murature e fornire loro un equilibrio traslazionale si potrebbe rinforzare il crepidoma con una 'cintura' di piombo posizionata al suo bordo esterno e nascosta dagli scalini di accesso, consentendo al contempo configurazioni flessibili dei muri all'interno dell'intera piattaforma.

Riflessioni conclusive | Il criterio della reversibilità, centrale nella disciplina del Restauro in Italia e in altri Paesi europei, può essere considerato una condizione necessaria alla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra e di flessibilità abitativa delle società moderne, sia negli interventi sul Patrimonio architettonico che nel progetto di nuovi edifici. Le attività sviluppate nell'ambito della ricerca REBUS, prevedono l'utilizzo esclusivo di materiali naturali e riciclabili come il calcare, il piombo, il vetro e i mattoni, alla base di sistemi costruttivi completamente reversibili, standardizzabili e modulari, in grado di realizzare costruzioni solide in una grande varietà di forme. Si ottengono così edifici facilmente trasferibili e riadattabili grazie all'utilizzo di fondazioni reversibili (no-footings on ground) e di murature poste in opera a secco (no-joint mortar) con diverse tipologie d'incastro.

Le attività di ricerca, che trovano fondamentali premesse nelle due originali esperienze prima richiamate, sono ovviamente rivolte anche alla riattivazione del Patrimonio architettonico esistente che manca di integrità, poiché giunto a noi in stato lacunoso o che richiede una nuova destinazione d'uso. Inoltre, la ricerca è orientata verso le problematiche del rinforzo di edifici esistenti per resistere alle azioni del sisma sfruttando i fenomeni di dissipazione legati all'impiego di muratura montata a secco (Lourenço et alii, 2005; Pulatsu et alii, 2019; Vlachakis et alii, 2023) e i sistemi di fondazione reversibili, che lavorano per attrito, ma confinati alle loro estremità.

L'impiego di edifici reversibili offre utili prospettive alle necessità di integrare nei fabbricati esistenti nuovi corpi di fabbrica per integrare le funzioni mancanti. Inoltre, considerati quali 'emergency preparedness measure' (Schreyer, 2023), possono fornire alloggi simili a vere e proprie abitazioni, contribuendo alla riduzione dei costi operativi e all'abbattimento dei tempi di esecuzione (in quanto a secco sono infatti facili da montare), installate direttamente su terreni incontaminati che potranno ritornare tali in futuro, evitando così costi di scavo e trasporto a discarica. I materiali tradizionali e le tecniche costruttive

reversibili possono in tal modo contribuire anche alla risoluzione di problemi sociali di estrema rilevanza ed attualità, come l'accessibilità del costo dell'alloggio.

Reversibility is one of the fundamental themes that generations of architects and conservators have grappled with and is, in fact, a theoretical statement proper to the discipline of Restoration. The concept of reversibility in Restoration, often juxtaposed to that of the 'distinguishability' of the intervention, has demonstrated a mutable nature over time and has substantially been oriented in the opportunity that the removal does not imply any subtraction of historical material and that the recognisability of the integration is made evident even with a simple engraving of the date of realisation of the new element in the pre-existence. It was the case in Venice in the Doge's Palace, Milan Cathedral and Cologne Cathedral, but also in Santa Maria del Fiore, where the monumental façade is a twentieth-century completion or in other interventions carried out on account of stylistic 'harmony'.



Fig. 5 | Reversible foundations, wooden ballast elements (credits: R. Fonti, 2018).

Reversibility has found wide application in the restoration of architectural surfaces, with particular reference to wall paintings and works of art (Baldini, 1978). It responds to the need to distinguish reintegrations in the pre-existing work, understood as an act of critical remodelling of the gaps¹ (Fig. 1), guaranteeing their reversibility. Although emerging in Italy in the field of Restoration and thus relating to the theme of reintegration of gaps, the conceptual lineaments of the principle of 'reversibility' have been transposed to broader issues. They are not only limited to the reintegration of lost structural components but also extended to integration, i.e., the addition or grafting of new 'matter' into existing architectural structures.

However, on the international scene, its application has encountered significant limitations due to the practical difficulties in making the character of the intervention reversible, and practical application has rarely been found in the professional reality of architects and restorers. Dealing specifically with the architectural heritage is even more problematic because of the need for applications that guarantee structural stability, i.e. that provide an adequate response to both the dynamic actions of external agents and earthquakes without neglecting the exceptional actions due to fires but also the ordinary loads assigned according to the different classes of use; further problems seem to emerge if the reversible inter-

vention faces the new challenges of climate change and global warming.

From the theory of the reintegration of a part of the lost work, over time, and above all following more ductile interpretations of the Carta di Venezia of 1964 (Lamaire, 1995) linked to the need to enhance the value of architectural heritage, we have witnessed the evolution of the concept of reversibility in the direction of adaptations and additions made necessary by the desire to revitalise historic buildings in the social context to which they belong, reinserting them into the ordinary consciousness in a dimension of use with a current sense. With this in mind, the addition and its reversibility become the perspective towards which designers reach a satisfactory compromise between the preservation needs of the historic building and the safety of the 'reversible' addition itself.

This problem is even more acute considering the hundreds of roofs installed on archaeological sites in recent decades. One can recall examples of structures designed insisting on the archaeological Good itself, with different levels of reversibility (Minissi, 1988) depending on the 'allotropic' state of the Good (Brandi, 2001), i.e. the priorities related to the ruin as an object of contemplation or to the works of art contained therein (such as mosaic apparatuses), to be preserved while maintaining the orography of the archaeological terrain almost intact and guaranteeing a greater degree of reversibility of the intervention than more recent installations². Invasive drilling often alters the historicised topographies of the excavation, which must necessarily remain intact, directing the intervention towards obtaining an image of the site that goes beyond the reality of the ruins and is inseparable from its 'administrators' or questions of taste: central issues, therefore, that find in the fundamental contribution of Alois Riegl some enlightened anticipations and themes that are still relevant today.

For Riegl (1903), what is accepted by one generation may not be accepted by another, who will tend to decide independently depending on the aesthetic dimension in which they recognise themselves and change (even irreversibly) the condition and image of the works. In this regard, it is worth recalling that Giotto's cycle of the Stories of the True Cross in the Basilica of San Francesco in Arezzo lay hidden from view for centuries; only in times of mediaeval revival was it decided to re-emerge what is now a work of art admired by many, but at the price of the destruction of every decorative apparatus superimposed over the centuries. Also, in the Church of Santa Maria in Cosmedin in Rome, Sardi's façade underwent demolition and complete removal to highlight the monument's early Christian and medieval features.

The nature of these interventions frequently relates to satisfying the need to codify a national identity style, with outcomes involving extensive demolitions and reconstructions of what appears intact behind the Baroque guise. In this sense, Giovannoni's (1929) comment is emblematic, denoting his regret about the drastic decision to remove the façade a few decades after the intervention. Camillo Boito (1893) also observed how reviving a work hidden under the Baroque guise and the hundreds of stratifications characterising it was no mean feat.

Recalling Riegl again, the processes of critical reappropriation of an asset (Lombardi Satriani, 2004) are the basis of its 'participatory conservation'. Starting from the need to give equal dignity to the historical stratifications of a building, Brandi, for instance,

recalls the case of the Pantheon in Rome in his essay *Il Vecchio sul Nuovo* (lit. The Old on the New; Brandi et alii, 2005; Brandi, 2007), pointing out how mistaken it was to remove its 'auricles' (i.e. bell towers) and how a modern sensibility nowadays urges us to tolerate and admire the stratified material traces of the past. We believe that this has contributed to the need for 'additions' marked by the character of reversibility, capable of respecting the different historical phases of a monument and its image in order to transmit it to posterity while giving it 'new life' (Giovannoni, 1929).

Starting from the considerations just outlined, the criterion of 'reversibility' seems today to take on a peculiar centrality in the field of architecture, with particular reference to the reuse of buildings to meet the new needs of modern societies in Europe's historic centres, but also concerning the emerging issues posed by the ecological unsustainability of the steel and reinforced concrete industry³ (European Commission, n.d.) and the growing need for housing⁴ (UN, n.d.).

Among the most problematic issues in the experiences of architectural conservation are the use of listed assets and their change of use, often an unavoidable necessity for the revitalisation of existing artefacts in many historic centres. The issue of functional adaptation tends to underestimate the irreversible damage caused by adapting interior spaces to new uses. In such circumstances, the search for a perfect consonance between existing architecture and functional adaptation may be unattainable for various reasons, but this often defines the premises that lead to the need for the addition of new volumes while preserving the historical-morphological peculiarities of the existing buildings and the historicised image of the façades⁵, as already noted by Giovannoni (1929). Thus, the highly relevant themes of 'reintegration' and 'integration' have been declined in various solutions, ranging from approaches sensitive to Boitian-Giovannonian theories of simple forms and minimal addition to 'modern' interventions that leave room for the use of new materials, often in stark contrast to the pre-existing (Russo, 2021).

Reflecting on the dialogue between modern architecture and historical environments, in his essay *Il Linguaggio Moderno dell'Architettura* (lit. The Modern Language of Architecture), Zevi (1973) highlights the need to defend the old threatened by the encroachment of the new, symmetrically. However, he emphasises the risk that the affirmation of contemporary architectural values becomes undercut by outdated theories that repress the new, effectively challenging Johannes' theses. Zevi also considers it impossible to reconcile the old linguistic values with the new for two reasons: to prevent the construction of new buildings in the historic fabric, which must be protected, and to encourage the construction of purely modern works outside the ancient fabric.

These are still emerging issues, both in the theoretical dimension and operational practice, and among the most sensitive ones that architects are called upon to address in order to adapt the existing and conceive the new, making a significant contribution to the reduction of global emissions due to the construction sector, which is overwhelmingly responsible for global CO₂ emissions, especially for the production of materials such as cement, steel and plastics.

With this in mind, the essay sets out to look at the theme of addition in architecture and its reversibility,



Fig. 6 | Reversible foundations, concrete ballast elements (credit: R. Fonti, 2016).



Fig. 7 | The prototype of protective shelter (credit: E. Emmerling, 2017).

both at the scale of the building and at the urban scale, revealing the potential of this theoretical concept, until now confined to the sphere of Architectural Restoration, as a practical application in the design of new buildings, with particular attention to the themes of the circular economy, re-functionalisation and new uses of cut stone. Therefore, the contribution addresses the theme of reversibility in the context of global ecological policies, climate change, and the use of low-impact materials, reporting on some reversible design practices and application implications in residential construction that are still in the experimental phase.

Reversibility, repurposing and climate change: some issues | Despite the progress made in research (Giallocosta, 2019; Ness, 2024), e.g. with Net-Zero Circular Concrete (KIT, 2024), our ability to understand how to transform the construction industry into environmentally friendly production chains is still limited (Antonini, 2019): studies on the use of fully recyclable metals, such as lead, are still scarce⁶, while the use of natural materials such as freestone is almost absent from the landscape of sustainable solutions, presumably due to the high costs for extraction and transport, but also due to the lack of skilled labour in the use of techniques once handed down from generation to generation that are now lost.

As early as the third decade of the last century, Piacentini (1930) noted that the process of mecha-

nisation was underway, noting that new artificial materials took preference over natural ones and that cement, wood substitutes, iron, linoleum, and rubber were becoming more widespread, even in rolls that were easily transportable and simpler to apply than traditional flooring. In the exact text, Piacentini (1930) pointed out that ‘we cannot be modern at all costs just because we have to defend ourselves from the scorching sun and excessive heat for six months of the year’, believing that, in Italy, there was still a good availability of noble materials, such as stone, marble and terra cotta, which were easy to work with and cheap.

Legambiente (2021) points out that even the significant impact of mining activities on the landscape does not favour such dynamics⁷; moreover, masonry buildings tend frequently in their overall conception as rigid systems, which do not allow for the modification of openings or the spatial distribution of interior spaces and which are complex to transform in order to meet the modern energy needs of new buildings, also due to the considerable thickness of the wall apparatus or rising damp in contact with vegetation (Franzoni, 2018).

Research on the use of wood (Di Virgilio, 2023; Romano and Di Monte, 2023) as a sustainable building material, clay materials, unfired earth and natural fibre materials, despite their great relevance, are considered outside the scope of this research, as sustainability in architecture aims to promote by de-

signing stone buildings, which can accelerate the circular economy. At the same time, it is necessary to mitigate the impact of quarrying on the landscape by reusing materials according to an eco-sustainable chain that prolongs their life (Scalisi and Sposito, 2021; Sposito and Scalisi, 2020).

On the other hand, it is essential to recover lost knowledge on the use of pumice (La Greca, 2009) and stimulate the study and use of lead (ELSIA, 2006) to increase the energy performance of buildings while reducing the problems related to rising damp typical of stone masonry.

In this perspective emerges the need to revisit building systems in a sustainable perspective, more in tune with the local culture, climate and environment and thus encouraging mitigation and adaptation to climate change (UNESCO, 2023), rethinking them in a new ‘circular’ perspective towards architectural forms and structural designs capable of reinventing the cities of the future that loudly ask us to think about entirely reversible systems (UNEP, 2024).

Possible strategies for ‘reversible conservation-restoration works’: first experiences | In 2016, the high altar of the Church of St Cajetan in Munich⁸ was redeveloped and partially restored so to return this its original appearance. The church is imposing, with Baroque pillars and architectural elements that survived the Second World War; the high altar extends over 13 metres, stands 4 metres high and is



Fig. 8 | Reversible foundations, lead ballast elements (credits: R. Fonti, 2017).



complemented by four sculptures between two monumental doors (Fig. 2a).

After the Second World War, the building remained unfinished for about seventy years, and the four large central sculptures could only move back into position in the 2000s. New strategies must still exist to place these statues in their original context. While respecting the historical framework, the setting added several elements that express the intention to connote the 'new' character of the Church of St. Cajetan by enhancing its former high altar (Fig. 2b).

In particular, a stage backdrop combines a rigid wooden grid with a fabric diaphragm, which serves as a background and reveals a double-sided aesthetic motif. The front part presents a geometric design that, similar to a predella, is divided into seven vertical panels, while the back part leaves space for a fully gilded surface composed of a fabric running from top to bottom (Fig. 2c); this sort of retablo serves as a predella for the altarpiece positioned behind it. The wooden profiles run along a series of undecorated elements (Fig. 2d), with cruciform reinforcing elements (Fig. 2e), the sequence of which is interrupted in 2018 by two monumental doors designed with profiles inspired by the Baroque tradition, which interrupt the linearity of the design through their decorative elements (Fig. 3). A curved element was also designed that gives centrality to the tabernacle and once again evokes the idea of a spherical tabernacle (Fig. 4).

The four sculptures were also placed on new bases (Fig. 5) and, contrary to the original design,

adapted to the four different sizes of the busts; the inner core of the base is made of wood and laid in place in the form of plates, stacked and connected by vertical wooden connectors. The altar design as a whole is fully reversible. Each element was installed on the floor in a balanced composition of volumes supported and ballasted at the base, using wooden and concrete plates concealed in the lower elements (Fig. 6). The same system took place to define the pillars of the two doors, also managing to stabilise the openings without drilling footings holes along the floor, despite the high slenderness ratios between the elements.⁹

The second case study is related to the 'preventive conservation' measures for the necropolis of Porta Nocera and Via Nucerina in Pompeii, where an innovative type of protective covering with reversible footings with lead and corten ballasts was planned in 2017, financed by Phoenix Pompeji e.V. of Munich¹⁰. This roof, in addition to the reversibility criterion, complies with the following seven guiding design principles: 1) use of materials compatible with the environmental conditions of the site, but without disregarding the principle of maximum recognisability of the intervention; 2) use of materials resistant to atmospheric agents; 3) modular design and adaptability to different terrain topographies; 4) structural reliability, under ordinary, extraordinary and exceptional loads; 5) buildability of the project in the archaeological area, manual transportability of the elements and assembly with the aid of simple scaffolding; 6) extremely low or no maintenance costs; 7) construc-

tion costs amortised by maintenance costs and high quality of the materials used.

Corten steel and lead elements with hinge-type base-to-column connections resting directly on the archaeological soil served as the base bond of the protective roof system. They take friction and stabilise on horizontal translation using lead counterweights. The main structure of the roof was designed to work in the elastic field, according to a model of rigid column rotation and zero moments at the base (Fig. 7). The choice of lead, despite its aesthetic-architectural requirements, aims to minimise the overall height of the base, thanks to its specific weight; furthermore, its use was preferred both for its versatility (stackable elements, easily transported by hand and assembled in situ) and for its eco-sustainable qualities, when employed in the form of lead cakes and slabs (Fig. 8).

REversible BUILDings for Sustainable and temporary cities (REBUS)

Turning now to contextualise the themes of sustainability and reversibility, already central to the disciplines of historic heritage conservation, in the sphere of new architecture (also to favour its approach to ancient times), it is possible to recall the outlines of the REversible BUildings for Sustainable and temporary cities (REBUS) research, developed within the EUQTCollider European project that financed an initial phase and is still in progress.¹¹

The research aims to design completely reversible yet stable and comfortable living units, isolated or in series, conceived to be built in rural and urban

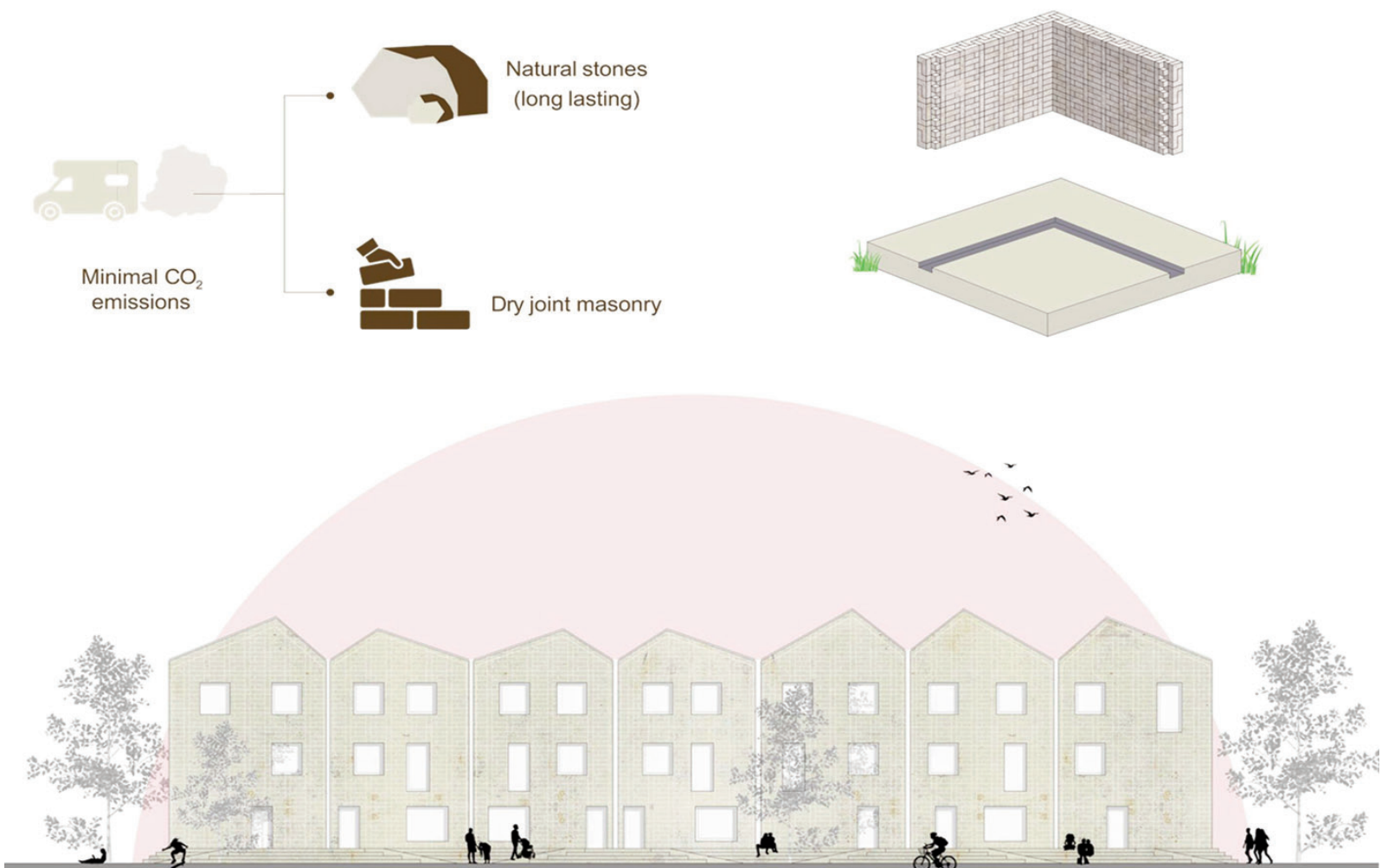


Fig. 9 | Reversible masonry foundations, theoretical diagram (credit: T-A. Cazan, L. M. Gipp, A. Janakiev, and M. M. Trenkner, 2024).

contexts. This typology of completely reversible buildings, now in the experimental phase, is conceived to respect our Planet by facing the new challenges of climate change, globalisation and demographic growth, the well-known issues deriving from migratory phenomena, the valorisation of the existing architectural heritage (Lauria and Azzalin, 2021) and the ever-increasing need for housing in today's society (Pieper, 2024), all of this also with a view to continuous mobility between different nations and continents.

In response to these challenges, REBUS buildings are designed in stone, stable but demountable, and without footings that alter the morphology of the ground thanks to the use of materials such as lead and pumice from recycled bottles¹². The construction system is inspired by the design of temples of ancient times as it exploits the use of cut stone embedded and laid dry, according to stable equilibrium configurations based on the balancing of weights with superficial continuous type footings that take the form of a comprehensive continuous base platform, resemble the profile of a crepidome¹³. If necessary, the system comprising the walls gets exceptional stabilisation with a lateral restraint, i.e. a metal band. At the same time, the walls fit into unique mouldings created in the platform, lined with lead and designed to accommodate the vertical walls. The platform also serves as a base block that can accommodate system ducts of various types.

Recycled lead – a material with the highest specific weight ever discovered in nature – will be used as a ballast and thermal insulator, placed in the form of cakes at specific points, to act as a concentrated or distributed load in the masonry tops to stabilise them against dynamic actions such as wind or earthquakes and eccentric loads, but also to protect the masonry ridges from atmospheric agents. Furthermore, lead slabs placed at the base of the walls will protect the masonry from any rising damp phenomena, thus improving the building's overall energy performance. In addition, it plans to use recycled and remoulded glass in the form of artificial pumice blocks in the interior parts of the walls to improve the thermal comfort of the buildings and meet the latest energy requirements in construction (Fig. 9).

The floors and roofs feature Roman concrete: the flat roofs are designed as monolithic modular elements with slight prestressing, applying layers of pumice encased in a layer of lime mortar and earthenware acting as a finish and laid in place with heavy machinery. Prestressing occurs using a lateral con-

straint and a lead band with variable constraints. The use of lime mortar instead of reinforced concrete favours prefabrication processes of the elements, which, thanks to the shorter curing and setting time, allows the lime to complete its carbonation processes, which are at the basis of the zero CO₂ impact of the materials produced within the lime cycle.

However, some operational risks remain necessary to assess. While the ability of reinforced concrete to function as a plate and to interpose itself between walls in such a way as to redistribute stresses throughout the wall box is well known, the ability of lime-based slabs to function as a rigid body during the processes of laying and resetting is limited. On the other hand, we know that *cocciopesto* is at the basis of Roman concrete design (Lamprecht, 1993); the hypothesis is that it can function as a rigid block over a relatively wide span, independent of the in-situ support, exploiting a minimal prestress given by the metal belts around it, to induce a thrust-eliminated arch behaviour; therefore, similar to flat vaults and French-style flatbeds, it will develop a pressure curve within its thickness.

The pumice will make the slabs lighter, more easily transportable, and suitable for load-bearing overhead masonry while meeting fire resistance requirements. However, pumice's ability to withstand compressive stress is limited; one can reinforce it with layers of mortar laid with animal glue and alabaster plaster¹⁴ and placed on the intrados.

While the in-plane and out-of-plane behaviour of dry-stone masonry constructions is known¹⁵, the effectiveness of masonry-masonry base constraints still needs to be discovered, as we need to possess examples from historical treatises or traditional building methods. Should the use of this sort of 'crepidome' as a base block (in masonry, laid in place with dry joints) not be sufficient to guarantee the base bond to the masonry and provide it with a translational equilibrium, one could reinforce the crepidome with a lead 'belt' positioned at its outer edge and concealed by the access steps while allowing for flexible wall configurations within the entire platform.

Concluding remarks | The criterion of reversibility, which has become central to the discipline of Restoration in Italy and other European countries, can be considered a necessary condition for the reduction of greenhouse gas emissions and housing flexibility in modern societies, both in interventions on the architectural heritage and in the design of new build-

ings. The activities developed as part of the REBUS research involve the exclusive use of natural and recyclable materials such as limestone, lead, glass and bricks, which form the basis of entirely reversible, standardisable and modular building systems capable of creating solid constructions in a wide variety of forms. This results in easily transferable and adaptable buildings thanks to reversible footings (on the ground) and dry-laid masonry (no joint mortar) with different types of interlocking.

The research activities, which find fundamental premises in the two original experiences mentioned above, are also aimed at reactivating the existing architectural heritage that needs more integrity since it has come down to us in a deficient state or requires a new use. In addition, as well highlighted, research focuses on the problems of reinforcing existing buildings to resist seismic actions, exploiting the dissipation phenomena associated with the use of dry-assembled masonry (Lourenço et alii, 2005; Pulatsu et alii, 2019; Vlachakis et alii, 2023) and reversible footing systems, which function by friction, but confined to their ends.

Reversible buildings offer valuable perspectives on supplementing existing buildings with new ones to integrate missing functions. Furthermore, considered as an 'emergency preparedness measure' (Schreyer, 2023), they can provide housing similar to actual dwellings, contributing to the reduction of operating costs and construction time (as they are dry, they are easy to erect), installed directly on pristine land that can be returned to its original state in the future, thus avoiding the costs of excavation and transport to landfill. In this way, traditional materials and reversible construction techniques can also contribute to solving extraordinarily relevant and topical social problems, such as housing affordability.

Notes

1) Regarding the reintegration of the lacuna, Baldini (1978) emphasised the need to make an addition in the form of an artificially moved abstraction rather than an imitative act. In this way, an effective remake or reconstruction of the image, albeit achieved by means that make it different, is immediately recognisable.

2) Remember how the dramatic collapse of the Schola Armaturarum would most likely not have happened if there had not been a roof directly over the original masonry.

3) The building sector accounts for the largest share of total energy consumption in the European Union (40%) and produces about 35% of greenhouse gas emissions.

4) The world population has more than tripled since the mid-20th century. From an estimated 2,5 billion in 1950, the

global human population reached 8 billion in mid-November 2022, adding 1 billion people since 2010 and 2 billion since 1998. The world population growth rate of almost 2 billion within the next 30 years is forecast.

5) The preservation of external facades at the expense of interiors has led, especially in northern Europe and Anglo-Saxon countries, to its extreme consequences resulting in the so-called 'Facadism'.

6) It should be noted, however, that lead has been used again in the restoration sector recently; mainly, it has been used extensively in the stabilisation work on the Leaning Tower of Pisa (Viggiani, 2019).

7) According to Legambiente, in 2021, there will be 4,168 authorised quarries and 14,141 disused or abandoned ones (on the rise), 29 million cubic metres of sand and gravel extracted per year, derisory rents, and inadequate legisla-

tion; all this makes it necessary to relaunch the construction sector and reduce quarry extraction by accelerating in the direction of the circular economy.

8) The project was carried out in cooperation with Prof. Restorer Erwin Emmerling of TUM (Germany), who supervised the restoration of the statues and art direction, and artist Gregor Prugger, who created the fourth missing wooden statue, based on a design by artist Giuseppe Ducrot. The Katholische Kirchenstiftung generously supported the project.

9) The project received shortlisted in The Plan 2019 international architecture competition, special projects section

10) The project was selected as a finalist in the notable projects section of the international architecture competition, The Plan 2020.

11) The research 'REversible BUildings for Sustainable and temporary cities' was developed within the European

project 'Euro TeQ Collider' framework, which financed an initial experimental phase still in progress. For more information, see the webpage: ja.tum.de/en/ja/euroteq/ [Accessed 20 September 2024].

12) There are several studies in this direction. Recently, a Japanese company, Supesol, started to produce artificial pumice from recycled glass. However, it remains for use in construction, except for a few minimal applications; this is probably due to the difficulty of producing high-quality pumice suitable for the construction market.

13) The 'crepidome' is a platform typical of ancient temples, raising about three steps to establish an architectural hierarchy typical of sacred places.

14) It is a disused technique for working with animal glue, alabaster plaster, and laying it all on a reed support. It was well known in the Baroque era when it spread from Germany and Italy to the rest of the world; some craftsmen can still perform it in Europe. However, nowadays, it is limited to producing individual works of art that are undersized pieces of furniture (Martinelli, 1997).

15) This principle is well-known thanks to a vital investigation campaign conducted by Prof. Antonino Giuffrè in the 1990s (Giuffrè, 2006), in which the ability of masonry walls laid dry to tilt in and out of the plane as rigid blocks were demonstrated, regardless of their base constraint and by their geometric ratios (rule of art). Necessary research also focused on historical dry-stone masonry, which has been conducted in more recent years (21st century) by the University of Minho, with particular reference to Prof. Paulo Laureço and his research group.

Reference

- Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 20 September 2024].
- Baldini, U. (1978), *Teoria del restauro e unità di metodologia - Vol. 1*, Nardini Editore, Firenze.
- Boito, C. (1893), *Questioni pratiche di Belle Arti - Restauri, Concorsi, Legislazione, Professione, Insegnamento*, Hoepli, Milano.
- Brandi, C. (2007), *Il vecchio e il nuovo nella città antica*, Accademia Senese degli Intronati, Siena.
- Brandi, C. (2001), *Il Patrimonio Insidiato - Scritti sulla Tutela del Paesaggio e dell'Arte*, Editori riuniti, Roma.
- Brandi, C., Cordaro, M. and Basile, G. (2005), *Il Restauro - Teoria e Pratica - 1939-1986*, Editori riuniti, Roma.
- Di Virgilio, N. (2023), "Fare molto con poco - Un'architettura modulare, a partire da Walter Segal | Making a lot with little - Modular architecture, starting with Walter Segal", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 164-173. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14132023 [Accessed 20 September 2024].
- ELSIA - European Lead Sheet Industry Association (2006), *Lead Sheet Goes Full Circle - Science in support of fact*. [Online] Available at: roehr-stolberg.de/wp-content/uploads/2019/08/Lead_Sheet_goes_Full_Circle_GB.pdf [Accessed 20 September 2024].
- Emmerling, E. (2006), "Die Chorschranken von St. Kajetan, ehem. Hofkirche München (Theatinerkirche)", in Barthel, R. (ed.), *Denkmalpflege und Instandsetzung - Schriftenreihe des Lehrstuhls für Tragwerksplanung*, Technische Universität München, pp. 67-100.
- European Commission (n.d.), "Construction Sector", in *single-market-economy.ec.europa.eu*. [Online] Available at: single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction_en [Accessed 20 September 2024].
- Franzoni, E. (2018), "State-of-the-art on methods for reducing rising damp in masonry", in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 31, issue supp., pp. S3-S9. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2018.04.001 [Accessed 20 September 2024].
- Giallocosta, G. (2019), "Caratteri e criticità di innovazione di processo | Features and critical issues of process innovations", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 5-10. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/512019 [Accessed 20 September 2024].
- Giovannoni, G. (1929), *Questioni di Architettura nella storia e nella vita - Edilizia, estetica architettonica, restauri, ambiente dei monumenti*, Biblioteca d'Arte Editrice, Roma.
- Giuffrè, A. (2006), *Sicurezza e conservazione dei centri storici - Il caso Ortigia - Codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico*, Laterza, Roma.
- KIT - Karlsruhe Institute of Technology (2024), *Net-Zero Circular Concrete - New Concrete from Demolition Waste - Without Emission Affecting the Climate*. [Online] Available at: sts.kit.edu/downloads/Data-sheet-Net-Zero-Circular-Concrete.pdf [Accessed 20 September 2024].
- La Greca, G. (2009), *La Storia della Pomice di Lipari - Dal tentativo Haan alla Legge 10 del 1908 - Il Primo Novecento*, Edizioni del Centro Studi Lipari, Lipari.
- Lamprecht, H.-O. (1993), *Opus caementitium Bautechnik der Römer*, Beton-Verl, Düsseldorf.
- Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), "Paradigmi | Paradigms", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 20 September 2024].
- Legambiente (2021), "Legambiente presenta il Rapporto Cave 2021, ecco i dati", in *legambiente.it*, 10/05/2021. [Online] Available at: legambiente.it/comunicati-stampa/legambiente-presenta-il-rapporto-cave-2021-ecco-i-dati/ [Accessed 20 September 2024].
- Lemaire, R. (1995), *La Carta di Venezia trenta anni dopo*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli.
- Lombardi Satriani, L. M. (2005), *Il sogno di uno spazio - Itinerari ideali e traiettorie simboliche nella società contemporanea*, Rubbettino, Soveria Mannelli, Catanzaro.
- Lourenço, P. B., Oliveira, D. V., Roca, P. and Orduña, A. (2005), "Dry Joint Stone Masonry Walls Subjected to In-Plane Combined Loading", in *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, issue 11, pp. 1665-1673. [Online] Available at: doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:11(1665) [Accessed 20 September 2024].
- Massinelli, A. M. (1997), *Scagliola - L'arte della pietra di luna*, Editalia, Roma.
- Minissi, F. (1988), *Conservazione, Vitalizzazione, Musealizzazione*, Bonsignori Editore, Roma.
- Ness, D. (2024), "La decarbonizzazione degli edifici sarà sufficiente? - Limitare e redistribuire l'aumento di superficie costruita | Will decarbonising buildings be enough? - Constrain and redistribute growth in floor area", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 84-97. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1562024 [Accessed 20 September 2024].
- Piacentini, M. (1930), *Architettura d'oggi*, Paolo Cremonese, Roma.
- Pieper, O. (2024), "German housing crisis - Like winning the lottery!", in *Deutch Welle* 16/04/2024. [Online] Available at: dw.com/en/german-housing-crisis-finding-a-home-like-winning-the-lottery/a-68840785 [Accessed 20 September 2024].
- Pulatsu, B., Erdogmus, E., Bretas, E. M. and Lourenço, P. B. (2019), "In-Plane Static Response of Dry-Joint Masonry Arch-Pier Structures", in Ling, M. D. F., Solnosky, R. L. and Leicht, R. M. (eds), *AEI 2019 - Integrated Building Solutions - The National Agenda - Proceedings of the AEI 2019 Conference, Tysons, Virginia, April 3-6, 2019*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, pp. 240-248. [Online] Available at: doi.org/10.1061/9780784482261.028 [Accessed 20 September 2024].
- Raiser, T. (2012), "St. Kajetan's of Munich 'Main Altar of 1675' in the Year 1675", in *Regnum Dei, Collectanea Theatina*, vol. 68, pp. 77-108. [Online] Available at: regnumdei.online/revistas-de-la-decada-de-2010/ [Accessed 20 September 2024].
- Riegl, A. (1903), *Der moderne Denkmalkultus, sein Wesen und seine Entstehung*, W. Braumüller, Vienna.
- Romano, R. and Di Monte, E. (2023), "Moduli nearly Zero Energy - Modelli abitativi a basso impatto ambientale per la città del futuro | Nearly Zero Energy Modules - Low-impact modular housing models for the city of the future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 250-263. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14212023 [Accessed 20 September 2024].
- Russo, M. (2021), "Innesto, manomissione, ricostruzione - Tre modelli di riuso adattivo | Addition, alteration, reconstruction - Three models of adaptive re-use", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 92-101. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/992021 [Accessed 20 September 2024].
- Scalisi, F. and Sposito, C. (2021), "Strategie e approcci 'green' - Un contributo dall'off-site e dall'upcycling dei container marittimi dismessi | Green strategies and approaches - A contribution from the off-site and upcycling of discarded shipping containers", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 92-119. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1092021 [Accessed 20 September 2024].
- Schreyer, Y. C. (2023), "Oltre l'arrivo - Potenzialità e criticità della modularità nei rifugi e negli alloggi per gli sfollati | Beyond arrival - On the potential and shortcomings of modularity in shelter and housing for the displaced", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 126-133. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14102023 [Accessed 20 September 2024].
- Sposito, C. and Scalisi, F. (2020), "Ambiente costruito e sostenibilità - Materiali riciclati e Design for Disassembly tra ricerca e buone pratiche | Built environment and sustainability - Recycled materials and Design for Disassembly between research and good practices", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 106-117. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8102020 [Accessed 20 September 2024].
- UN - United Nations (n.d.), "Global issues - Population", in *un.org*. [Online] Available at: un.org/en/global-issues/population [Accessed 20 September 2024].
- UNEP - United Nations Environment Programme (2024), "Not yet built for purpose - Global building sector emissions still high and rising", in *unep.org*, 07/03/2024. [Online] Available at: unep.org/news-and-stories/press-release/not-yet-built-purpose-global-building-sector-emissions-still-high#:~:text=The%20report%20finds%20that%20in,a%20t%20of%20of%20global%20demand [Accessed 20 September 2024].
- UNESCO - World Heritage Centre (2023), *Policy Document on Climate Action for World Heritage (11/2023)*. [Online] Available at: whc.unesco.org/en/documents/204421 [Accessed 20 September 2024].
- Viggiani, C. (2019), *Senza neanche toccarla - La stabilizzazione della Torre di Pisa*, Hevelius, Benevento.
- Vlachakis, G., Colombo, C., Giouvanidis, A. I., Savalle, N. and Lourenço, P. B. (2023), "Experimental characterisation of dry-joint masonry structures - Interface stiffness and interface damping", in *Construction and Building Materials*, vol. 392, article 130880, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130880 [Accessed 20 September 2024].
- Zevi, B. (1973), *Il linguaggio moderno dell'architettura - Guida al codice anticlassico*, Einaudi, Torino.