POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

DAL RILIEVO AL PROGETTO DI CONSERVAZIONE PROGRAMMATA SOSTENIBILE. MATERIALI, TECNICHE, STRUMENTI

Original
DAL RILIEVO AL PROGETTO DI CONSERVAZIONE PROGRAMMATA SOSTENIBILE. MATERIALI, TECNICHE, STRUMENTI / Fasana, Sara; Zerbinatti, Marco. - ELETTRONICO. - (2022), pp. 1-[207].

Availability:
This version is available at: 11583/2973459 since: 2022-11-29T08:48:14Z

Publisher:
Politecnico di Torino

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

Interreg
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
ITALIA SVIZZERA - ITALIE SUISSE - ITALIEN SCHWEIZ
UNIONE EUROPEA

Repubblica del Canton Ticino
Dipartimento del territorio
Dipartimento delle finanze e dell'economia

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
SUPSI

UPO

REGIONE PIEMONTE

ENTE DI GESTIONE DEI SACRI MONTI

POLITECNICO DI TORINO

CENTRO CONSERVAZIONE RESTAURO LA VENARIA REALE

Confartigianato Imprese Piemonte Orientale

MAIN10ANCE

DAL RILIEVO AL PROGETTO DI CONSERVAZIONE PROGRAMMATA SOSTENIBILE.

MATERIALI, TECNICHE, STRUMENTI.

Quadro della ricerca

PROGRAMMA OPERATIVO DI COOPERAZIONE TRANSFRONTALIERA
ITALIA–SVIZZERA 2017-2020

I SACRI MONTI: PATRIMONIO COMUNE DI VALORI, LABORATORIO PER LA CONSERVAZIONE SOSTENIBILE ED UNA MIGLIORE FRUIBILITÀ TURISTICA DEI BENI CULTURALI

ID progetto 473472

Capofila e partners del progetto

Parte italiana

Capofila: Università del Piemonte Orientale

partner associati:

- Ente di Gestione dei Sacri Monti
- Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale Edile e Geotecnica - DISEG
- Confartigianato Imprese Piemonte Orientale
- Centro per la Conservazione e il Restauro dei Beni Culturali "La Venaria Reale"
- Regione Piemonte

Parte svizzera

Capofila: Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana

partner associati:

- Repubblica e Cantone Ticino - Dipartimento del territorio - Ufficio dei beni culturali
- Repubblica e Cantone Ticino Dipartimento delle finanze e dell'economia - Sezione della logistica

Gruppo di lavoro e ricerca

Parte italiana

Università del Piemonte Orientale

Assegni di Ricerca / Borse di studio
EI Emmanuele Iacono
GMV Gianvito Marino Ventura

Politecnico di Torino
MDG Matteo Del Giudice
SF Sara Fasana
AL Andrea Maria Lingua
MZ Marco Zerbinatti

Assegni di Ricerca / Borse di studio
IB Ilaria Bonfanti
EC Elisabetta Colucci
IDL Ilaria De Luci
MI Marco Indolfi
FM Francesca Matrone
AS Alessandra Spadaro

Ente di Gestione dei Sacri Monti
AA Antonio Aschieri
MP Marco Posillipo

Confartigianato Imprese Piemonte Orientale
MC Marco Cerutti
(TC Tania Catalano)
(MDM Michela Dello Stritto)
(RF Renzo Fiammetti)
(AS Alessandro Scandella)
(AS Andrea Scarafiotti)
(CV Claudia Vignarelli)

Parte svizzera

Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana - SUPSI
GJ Giacinta Jean
AJ Albert Jornet
FP Francesca Piqué
GR Giulia Russo

Repubblica e Cantone Ticino - Dipartimento del territorio - Ufficio dei beni culturali
LC Lara Calderari

Repubblica e Cantone Ticino - Dipartimento delle finanze e dell'economia - Sezione della logistica
TD Timothy Delcò

Contributi di professionisti, di consulenti o di persone appartenenti ad altri Enti

GB Gianni Bretto
AS Andrea Scotton

Questo volume è stato prodotto e cofinanziato da Confartigianato Imprese Piemonte Orientale in qualità di partner del progetto di cooperazione MAIN10ANCE, con l'intento di stimolare le scuole tecniche e professionali del territorio a inserire nei propri piani di studio momenti di approfondimento per la valorizzazione della cultura e del patrimonio tradizionale diffuso; si propone come guida operativa per la lettura e l'interpretazione del contesto territoriale e delle tecniche costruttive tradizionali, nonché per l'utilizzo di nuovi strumenti multimediali per il rilievo e la modellazione del costruito, con l'obiettivo generale di diffondere interesse per la conoscenza di questi temi e favorire l'applicazione di buone pratiche di conservazione.

Il volume insieme con i "Kit digitali" - distribuiti agli Istituti Tecnici delle Province di Vercelli, Novara e Verbano Cusio Ossola che hanno attivi i corsi di Costruzione Ambiente e Territorio - rappresentano azioni concrete che Confartigianato Imprese Piemonte Orientale ha messo in campo per promuovere un rinnovato dialogo tra le generazioni, per diffondere consapevolezza dei valori della cultura locale e del "saper fare" presso i giovani, in coerenza con gli obiettivi Statutari dell'Associazione e con la volontà degli Organi Direttivi.

MAIN10ANCE

DAL RILIEVO AL PROGETTO DI CONSERVAZIONE PROGRAMMATA SOSTENIBILE

MATERIALI, TECNICHE, STRUMENTI

a cura di Sara Fasana e Marzo Zerbinatti

IMPOSTAZIONE E SCOPO DEL VOLUME
S. FASANA

1 DALLA LETTURA DEL PAESAGGIO ANTROPIZZATO, ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO, ALLA CULTURA DEL COSTRUITO 1 | 1

1.0 RICHIAMI PER LA LETTURA DEL PAESAGGIO ANTROPIZZATO
S. FASANA, M. ZERBINATTI

2 MATERIALI LOCALI E MAGISTERI TRADIZIONALI: CULTURA TECNICA PER LA CONSERVAZIONE, L'INNOVAZIONE SOSTENIBILE E LA CURA DEL PATRIMONIO 3 | 1

2.0 INTRODUZIONE
M. ZERBINATTI

2.1 OPERE DI PIETRA A SECCO: LE PAVIMENTAZIONI
G. BRETTO

2.2 OPERE DI PIETRA A SECCO: LE SEI REGOLE PRATICHE DEL BUON COSTRUIRE
G. BRETTO

2.3 IL TETTO STORICO
A. SCOTTON

2.4 MURATURE A VISTA, INTONACI, SUPERFICI TINTEGGIATE
M. ZERBINATTI

2.5 GESTIONE DEL VERDE ARBOREO DEI GIARDINI AD ALTA FRUIZIONE
A. ASCHIERI

3 NUOVI STRUMENTI PER UNA CONOSCENZA DIFFUSA E CONDIVISA 3 | 1

3.1 INTRODUZIONE ALLA DIGITALIZZAZIONE PER IL COSTRUITO
A.M. LINGUA, F. MATRONE, S. FASANA, M. INDOLFI

3.2 STRUMENTI INNOVATIVI PER LA RAPPRESENTAZIONE, IL PROGETTO E LA GESTIONE DEL COSTRUITO
M. DEL GIUDICE, M. VOZZOLA, E. COLUCCI, F. MATRONE

3.3 SCENARI FUTURI
E. IACONO, G.M. VENTURA, M. CERUTTI

IMPOSTAZIONE E SCOPO DEL VOLUME

di Sara Fasana

COME NASCE L'IDEA DI QUESTO VOLUME?

L'idea di questo volume nasce in un contesto di dialogo tra studiosi, maestranze esperte, tecnici, insegnanti, rappresentanti di Associazioni di Categoria, Architetti e giovani professionisti, accomunati da una vivace curiosità per la "cultura costruttiva storica", da un senso di profonda consapevolezza della ricchezza del patrimonio ricevuto in dote dalle generazioni del passato, e, conseguentemente, da un senso di urgenza e responsabilità per una loro gestione e conservazione "sostenibili", unico strumento per *tra-mandare* questi patrimoni, e con essi il bagaglio che custodiscono, alle generazioni future.
Accostarsi con questo atteggiamento al tema della conservazione dei Beni Culturali complessi, oggetto del Progetto di Ricerca Interreg *MAIN10ANCE*, significa riconoscere I Sacri Monti del Piemonte, che ne hanno costituito i casi di studio privilegiati, come luoghi identitari, scrigni di conoscenza e **laboratori di esperienze**.
Laboratori di esperienze di ieri, poiché il cantiere rappresenta da sempre il luogo privilegiato di dialogo e di trasmissione di saperi costruttivi tra generazioni; laboratori di esperienze di oggi (e di domani), poiché solo nel dialogo fattivo tra i numerosi attori chiamati a concorrere alla conservazione e valorizzazione di questi patrimoni è possibile traguardare a risultati di eccellenza, declinando, nel rispetto della tradizione, un efficace e consapevole utilizzo di strumenti e tecniche innovative.
Ma tutto ciò deve essere coltivato in un terreno fertile: occorre rivolgersi con semplicità ed efficacia alle nuove generazioni, per offrire strumenti che li rendano interpreti consapevoli, appassionati e preparati di fronte alle grandi sfide globali, capaci di mettere in campo, oggi, come ieri, risposte di eccellenza locali.

Questo nella convinzione che non si può custodire un bene senza consapevolezza del suo valore;

non si può acquisire consapevolezza di tale valore se non si posseggono chiavi per ri-conoscersi come attori protagonisti, connotati da una forte identità culturale;

non si può diventare interpreti propositivi se non si è coinvolti in un virtuoso processo di ri-appropriazione della cultura costruttiva storica, profondamente radicata in un territorio, inscindibilmente legata ai materiali locali e frutto delle tecniche e dei magisteri che li hanno con sapienza plasmati in opere di architettura e arte, oggi universalmente riconosciute come Patrimonio dell'Umanità.

A CHI SI RIVOLGE?

Per i motivi sopra richiamati, questo volume si rivolge in particolare ai giovani studenti degli Istituti Tecnici Superiori per Geometri, ma anche, in generale, agli Studenti delle Scuole Secondarie di Secondo grado e, in definitiva, a tutti coloro che, condividendo un interesse per l'oggetto della trattazione, avvertano la *necessità* di partecipare al *dialogo*.

CON QUALI OBIETTIVI?

Il primo obiettivo, forse più semplice, è condividere i primi risultati del lavoro di ricerca e formazione condotti con il Progetto *MAIN10ANCE*. I contenuti specifici di questo volume rappresentano una sintesi del dialogo e del confronto condotti nei tre anni di svolgimento delle attività.
Il secondo, e più ambizioso, è avviare un progressivo coinvolgimento di una pluralità di figure, dagli studenti ai professionisti, alle maestranze, agli amministratori, affinché ciascuno possa, in relazione con i propri interessi e le proprie competenze, contribuire:

- in modo diretto, attraverso esperienze di cantiere, esercitazioni laboratoriali, ad arricchire la struttura e i contenuti della Piattaforma *MAIN10ANCE*;
- in modo indiretto, attraverso la ricerca sul campo e la pratica corrente, a diffondere metodo e conoscenza.

COME È STRUTTURATO IL VOLUME?

Il Volume è strutturato come una raccolta di Schede Operative, impostate seguendo una forma di dialogo diretto, al fine di rendere il più possibile efficace la trattazione, ma anche per sottolineare, in modo implicito, l'importanza di una "buona domanda" (non solo nelle dinamiche didattiche).

Si compone di tre Sezioni Tematiche, con l'intento di suggerire un metodo universalmente valido, nei suoi principi generali, per accostarsi ai temi della conservazione e della valorizzazione.

QUALI ARGOMENTI SONO PROPOSTI? CON QUALI FINALITÀ?

La prima sezione

Dalla lettura del paesaggio antropizzato, alla conoscenza del contesto, alla cultura del costruito introduce alcuni richiami all'importanza dell'indagine critica per l'interpretazione del contesto (nella sue più ampie declinazioni di contesto culturale, artistico, socio-economico, per esempio), come primo momento necessario e fondativo per il progetto (sia esso di conservazione, recupero, manutenzione, documentazione, valorizzazione).

La seconda sezione

Materiali locali e magisteri tradizionali: cultura tecnica per la conservazione, l'innovazione sostenibile e la cura del patrimonio evidenza la necessità di un costante approfondimento della conoscenza della cultura tecnica tradizionale, con le connotazioni locali derivanti dalle specifiche contingenze (disponibilità di materiali, infrastrutturazione del territorio, matrici culturali) e con possibili stratificazioni ascrivibili a cause differenti (innovazioni tecnologiche, trasformazioni socio-economiche, eventi storici). Si compone di pochi capitoli, che affrontano in modo puntuale e a tratti estremamente dettagliati alcuni magisteri costruttivi storici, con riferimento a tipi di manufatti particolarmente significativi nel contesto di pertinenza dei Sacri Monti. Questi temi sono stati scelti poiché tra i più urgenti e rappresentativi per questi complessi, ma anche in ragione della loro significativa numerosità nel patrimonio diffuso. Le schede proposte sono quindi utili riferimenti per interventi tra i più ricorrenti nella storia conservativa dei Sacri Monti così come nella pratica corrente.

La terza sezione

Nuovi strumenti per una conoscenza diffusa e condivisa si propone di richiamare strumenti e tecniche innovativi, sempre più adottati a supporto della pratica professionale (prevalentemente per il rilievo e la digitalizzazione del costruito), con l'obiettivo di far acquisire, seppure in modo generale, un adeguato grado di consapevolezza per un loro efficace utilizzo. Adottare strumenti innovativi non significa reiterare in modo acritico processi predeterminati, bensì "pianificare" di volta in volta il loro utilizzo, che deve essere declinato per il caso specifico, in modo coerente rispetto

- al contesto (in funzione della tipologia del bene, per esempio),
- ai requisiti (di conservazione, di adeguamento funzionale corrente, di rappresentazione, per esempio),
- alle risorse disponibili (non solo, ma anche economiche).

1

DALLA LETTURA DEL PAESAGGIO ANTROPIZZATO, ALLA CONOSCENZA DEL CONTESTO, ALLA CULTURA DEL COSTRUITO

Sara Fasana
Marco Zerbinatti

1.0 RICHIAMI PER LA LETTURA DEL PAESAGGIO ANTROPIZZATO_ 1 | 3

1.0
RICHIAMI PER LA LETTURA DEL PAESAGGIO ANTROPIZZATO

di Sara Fasana e Marco Zerbinatti

COSA INDICHIAMO CON LE DEFINIZIONI DI *CONTESTO ANTROPIZZATO* E DI *PAESAGGIO ANTROPIZZATO*?

In generale con la definizione di **contesto antropizzato** si indica il risultato dell'azione dell'uomo sul territorio naturale: in questi termini, sono estremamente limitati, ormai, i contesti incontaminati dove l'uomo non sia in alcun modo intervenuto lasciando segni materiali del proprio "passaggio". Persino contesti oggi considerati oasi di *wilderness* non sono in realtà territori incontaminati, ma piuttosto oasi di naturalizzazione di ritorno, conseguenza di un abbandono avvenuto ormai da numerosi decenni; si pensi per esempio al Parco della Val Grande, dove in alta quota è ancora possibile ritrovare le tracce di antiche opere di infrastrutturazione, sebbene in gran parte queste abbiano perso la loro funzione originaria.

La definizione di contesto antropizzato non ha di per sé una accezione di "giudizio" circa il valore o, viceversa, la compromissione che l'opera dell'uomo ha prodotto sul contesto naturale.

Diversa, invece, è l'accezione di **paesaggio antropizzato**: con questa definizione si indica il risultato della lenta, perpetua e sapiente stratificazione dell'intervento dell'uomo, palinsesto di modi consuetudinari, di soluzioni e di sistemi tradizionali di strutturazione del territorio.

Non soltanto: il paesaggio antropizzato non deve essere considerato come il frutto di trasformazioni e sovrapposizioni conseguenza di un approccio esclusivamente funzionale, rispondenti al solo fine di utilità.

Per quanto inizialmente non intenzionale, persiste costantemente, sullo sfondo, nel modo di operare, l'istanza del valore estetico dell'opera dell'uomo: il paesaggio antropizzato è tale poiché in passato ogni atto dell'uomo è stato consapevolmente orientato a mantenere la bellezza dei luoghi, spesso a migliorarla. Questo risultato rappresenta un valore: valore che non è un lusso, per-

ché fu ed è ottenibile con mezzi minimi, né uno spreco, poiché frutto dell'ottimizzazione dell'uso di risorse disponibili sul posto, in consonanza con i luoghi; questo risultato è una necessità connaturata con l'uomo, non tanto perché tesa al raggiungimento di un valore di bellezza "assoluto", quanto perché è il compimento di un'azione fondata su principi etici.

Con riferimento all'arco alpino occidentale, area geografica nella quale è stato sviluppato il progetto di cooperazione transfrontaliera Interreg *MAIN10ANCE*, per esempio, sono numerosi gli esempi di opere di "modellazione" del paesaggio che rispondono a un preciso requisito di funzione, ma osservando le quali ciascuno di noi riconosce un valore estetico: pensiamo al paesaggio dei terrazzamenti vitati dei versanti, a pergola o con filari; pensiamo ai sistemi di *munt* e *alp*, maggenghi e alpeggi, con i terrazzamenti dei campi e le opere infrastrutturali legate alla transumanza stagionale, che rappresentano l'essenza dell'arte di coniugare la funzione alla morfologia del paesaggio.

L'insieme di questi manufatti, delle trasformazioni e delle modellazioni del territorio in parte richiamati sono state condotte e realizzate, in questi contesti, come in molti altri, con sostanziale coerenza e continuità almeno sino all'avvento della seconda Rivoluzione Industriale.

Da questi brevi richiami, iniziamo a intuire perché il paesaggio antropizzato sia oggi universalmente riconosciuto come elemento di valore: in ogni contesto territoriale, esso costituisce il primo documento materiale della cultura tecnica costruttiva propria della civiltà che lo ha plasmato, nel caso di diretto interesse per questo volume, la civiltà alpina.

PERCHÉ È NECESSARIO RIFERIRSI AL PAESAGGIO ANTROPIZZATO, ANCHE SE L'OGGETTO DIRETTO DI UN INTERVENTO DI MANUTENZIONE, RECUPERO O CONSERVAZIONE È UN SINGOLO MANUFATTO ARCHITETTONICO?

Per le ragioni che sono state richiamate sopra, l'analisi alla scala di organismo edilizio del patrimonio tradizionale diffuso sul territorio non può svilupparsi in modo completo senza un chiaro e diretto riferimento a una più ampia scala: quella territoriale.

Infatti, tutti i sistemi tradizionali di uso del suolo sono conformati ai caratteri funzionali e costruttivi degli edifici: la strutturazione del paesaggio, la localizzazione e i modi di organizzare reciprocamente i manufatti; la loro dimensione e l'orientamento, le geometrie, sono il risultato di un sapiente equilibrio tra esigenze

dell'uomo e rispetto della natura, frutto dell'uso di materiali localmente disponibili e della rispettosa interpretazione della naturale morfologia dei luoghi.

È quindi necessario comprendere questi caratteri, nei contesti dove permangono, riconoscerli, nei contesti dove sono stati compromessi e mantenerli - se non reintegrarli - ove possibile.

IN CHE MODO ANALIZZARE E COMPRENDERE IL PAESAGGIO ANTROPIZZATO È UTILE PER INTERVENIRE SUGLI EDIFICI?

Possedere le conoscenze che ci permettono di capire *perché* in passato le consuetudini hanno portato a costruire in un determinato modo, dovrebbe aiutarci a rispettare *come* si costruiva.

Nei secoli passati, l'osservazione dei fenomeni naturali guidava le scelte nel modo di costruire, improntandole al migliore utilizzo possibile delle risorse e, più in generale, alla maggiore garanzia possibile sulla loro durata, anche nei confronti di eventi naturali di frequenza non comune. Osservare i danni provocati da fenomeni alluvionali di media o grande intensità sul patrimonio costruito sembra, talvolta, paradossale: edifici "moderni", realizzati in calcestruzzo armato, tragicamente compromessi e fragili manufatti realizzati in pietra a secco alcuni secoli fa praticamente illesi. Immagini analoghe ricorrono nel caso di slavine o eventi valanghivi a media e alta quota.

Casualità? Tragica sfortuna?

Anche, purtroppo, ma spesso pure il mancato rispetto per l'ambiente naturale che ci ospita e, forse, anche il mancato rispetto di una cultura e di una conoscenza profonda sedimentate con fatica per generazioni, oggi disattese in virtù di una presunzione di superiorità degli strumenti che la tecnica e la produzione di materiali artificiali industriali ci mette a disposizione.

Il letto di un torrente o di un fiume è un entità in continua, sebbene lenta e quasi sempre silente, trasformazione; un impluvio montano, frutto di incisione millenaria, è certamente il luogo di naturale formazione di fenomeni di repentino distacco o scivolamento di banchi nevosi.

Questa lettura dei fenomeni naturali e del loro riflesso sull'ambiente ha permeato ogni azione dell'uomo sino almeno al XIX secolo: oggi, la cultura scientifica ci mette a disposizione gli strumenti per spiegare le ragioni di questi comportamenti e delle scelte che li esprimevano in azione.

Non c'è ragione, dunque, di andare in contrasto con quanto per secoli ha regolato la presenza dell'uomo ponendola in consonanza con l'ambiente.

QUESTO SIGNIFICA CHE NON POSSIAMO INTRODURRE INNOVAZIONE?

No, al contrario: l'innovazione è connaturata ai modi tradizionali di utilizzare le risorse in funzione dell'avanzare delle conoscenze tecnologiche; in relazione con il fatto che il paesaggio antropizzato è per sua natura in continua evoluzione. La vera "sfida" consiste nell'integrare l'innovazione e/o gli elementi costituenti novità (che sono due aspetti diversi di uno stesso processo) in modo coerente e consonante con il contesto culturale, tecnologico, storico, sociale ed economico di riferimento.

Queste osservazioni, piuttosto, ci avvicinano al significato più profondo dell'innovazione, che è racchiusa nel non sprecare risorse naturali se non è strettamente necessario, adottando e adattando soluzioni tecnologiche all'esistente in modo attento, utilizzando materiali e sistemi da risorse rinnovabili, in equilibrio con l'ambiente.

QUALCHE ESEMPIO CONCRETO?

È certamente capitato a ciascuno di noi di osservare nuove costruzioni realizzate in prossimità di un tessuto edificato storico, di una borgata o di un agglomerato e di notare che il loro orientamento, le proporzioni del volume, il modo con cui sono stati utilizzati i materiali fossero assolutamente differenti dai caratteri che connotano i manufatti storici.

Nel passato più recente, spesso, si è operato in modo acritico: laddove le nuove tecnologie e i materiali a disposizione hanno permesso di disattendere alle "regole" (intese come consuetudini non scritte, tramandate attraverso l'esperienza) che l'uomo aveva imparato e tesaurizzato per generazioni, non ci si è più domandati "perché" un tempo costruissero "così", quasi come se innovare significasse semplicemente poter replicare la stessa costruzione "moderna" in qualsiasi luogo, progettandola senza chiedersi "dove" dovesse essere costruita.

In generale, in molti casi è possibile osservare un cambio di approccio alla costruzione di nuovi edifici, in particolare ciò è vero per quelli con funzioni residenziali. Le dimensioni dei nuovi edifici sono solitamente maggiori, le forme esprimono più la volontà del proprietario e del suo "gusto" che il rispetto del contesto in

cui sono collocate; inoltre, spesso non c'è attenzione all'inserimento nell'intorno, nel paesaggio circostante. In senso lato, si può parlare di un decadimento del gusto imputabile a un insieme di concause quali, per esempio:

- una maggiore disponibilità economica e di materiali proposti sul mercato dalla produzione industriale;
- la perdita di conoscenza di magisteri costruttivi della tradizione perché (erroneamente) ritenuti obsoleti o troppo costosi, per i quali non sono considerati il fattore del tempo (che è a favore di una maggiore durabilità per tali magisteri) e i fattori ambientali (come la prossimità dei prodotti da costruzione e il costo di smaltimento a fine vita utile);
- il conseguente utilizzo acritico e non adatto di molti materiali industriali nel recupero del patrimonio esistente.

QUINDI OCCORRE CONOSCERE IL CONTESTO PRINCIPALMENTE PER INTERVENIRE SUL COSTRUITO O PER REALIZZARE NUOVE COSTRUZIONI IN MODO CHE L'IMMAGINE RISULTI IL PIÙ POSSIBILE CORRISPONDENTE A QUELLA DELLA TRADIZIONE, "DISSIMULANDO" GLI ELEMENTI INNOVATIVI E LE NUOVE TECNOLOGIE?

No: questo, come osservato poco sopra, significherebbe chiedersi solo "come" sono costruiti gli edifici tradizionali, per rifarli "uguali a come si faceva un tempo", atteggiamento non sempre corretto, in assoluto; anche operando così, sebbene in termini opposti a quelli descritti prima, significherebbe intervenire in modo acritico.

Ci possono aiutare in tal senso due autori che a più di un secolo di distanza hanno affrontato questi temi: Adolf Loos, ieri e, oggi, Armando Ruinelli.

[...] Fa attenzione alle forme con cui costruisce il contadino. Perché sono un patrimonio tramandato dalla saggezza dei padri. Cerca però di scoprire le ragioni che hanno portato a quella forma.[...] Adolf LOOS – 1913

[...] Un'architettura che imita la tradizione è disonesta e irrispettosa se rinuncia a interpretarla attraverso la cultura del presente.[...] Il preesistente ha a che fare con la memoria, senza memoria è difficile sviluppare il futuro.[...] Armando RUINELLI – 2018

Se uniamo questi due pensieri, abbiamo una traccia semplice, ma efficace, per operare; due "regole", per orientarci verso un

modo concepire ogni intervento il più possibile consonante con il contesto e, parimenti, orientato al futuro:

1. indagare le ragioni che hanno portato quella forma (ovverosia alle forme della tradizione) è importante, poiché i caratteri che connotano gli edifici storici sono il risultato formale di un "saper fare" dettato dalle esigenze e dalla necessità di rispondervi con le risorse disponibili[1], mai il contrario;

2. interpretare la tradizione con la cultura del presente è necessario poiché solo così potremo trovare un equilibrio tra esigenze di innovazione e coerenza con il contesto.

SE VOLESSIMO RIASSUMERE IN TRE PAROLE CHIAVE I CRITERI SOPRA RICHIAMATI, QUALI POTREMMO SCEGLIERE?

Tenendo presente che ogni sintesi reca sempre dei limiti, ma che questa è funzionale alla trattazione, tra le più numerose parole chiave potremmo scegliere *spazio*, *storia* e *materiali*[2].

Lo *spazio*, inteso alla scala architettonica, o il *luogo*, se ci riferiamo prima alla scala territoriale, sin qui evidenziata, sono essenza della percezione che deriva a ciascuno dall'*abitare*: non si tratta di un concetto astratto, ma della relazione che si stabilisce con i manufatti attraverso le azioni; attraverso la consonanza a cui si faceva riferimento nei paragrafi precedenti, non si costruisce solo un insieme di manufatti, ma si permette a ciascuno di *riconoscersi* in una esperienza, di "orientarsi", di "leggere" un ordine che regola senza necessità di schemi preordinati.

La comprensione in questi termini dello spazio, è strettamente legato alla seconda parola chiave: la *storia*, o meglio l'*interesse per la storia*; non si tratta però della storia scritta e fissata nei libri, questa è utile, certamente, ma non basta; occorre interpretare la storia che è riflessa nei luoghi, una storia fatta di stratificazione, di relazioni ed esperienze, ma anche di cose e oggetti che in parte vediamo. E' la storia che permette ai luoghi di diventare identitari[3].

Studiare il paesaggio e provare a comprenderlo è necessario per accostarci a esso pensando che in qualche modo esso dovrà "ricevere" e "accettare", integrandola, ogni modifica od ogni nuovo manufatto che, come in un dialogo, diventa una reazione di fronte a questa narrazione.

Il significato di questo dialogo, infine, è reso concreto e tangibile attraverso i *materiali*. Ogni materiale (in particolare i materiali na-

1. Si veda in proposito, più avanti, anche il riferimento in A. Scotton, Il tetto storico, al capitolo 2.3

2. Biennale Architettura 2018 - Atelier Peter Zumthor, Intervista all'autore

3. I luoghi identitari, relazionali e storici sono i cosìdetti luoghi antropologici. L'assenza di identità, di relazione, di storia è invece caratteristica dei nonluoghi, di quegli spazi in cui tutto è calcolato con precisione e nulla lasciato al caso, ma la cui attenzione è rivolta soltanto al presente.
Marc Augé, Non-lieux (1992).

turali, la pietra, il legno, i materiali della tradizione) assume innumerevoli significati. Scegliere di utilizzare un materiale deve essere il frutto di uno studio attento: bisogna accostare i materiali, valutare la giusta quantità di ciascuno e, dopo aver individuato un possibile equilibrio, chiedersi come reagiranno insieme, quale sarà il loro comportamento.

Spazio (o luogo), storia e materiali sono tre possibili chiavi di lettura attraverso le quali interpretare l'esistente e affrontare con consapevolezza il futuro[4].

Futuro è, non senza ambizione, la quarta parola chiave, da traguardare attraverso le azioni del presente, azioni che una visione distratta o superficiale colloca talvolta in un "non tempo". Interessarsi alla storia, infatti, non significa soltanto conoscere il passato per interpretare il presente, ma assumere la piena responsabilità del riflesso che tali azioni produrranno sul futuro. Se ci pensiamo bene, questo è l'atteggiamento necessario e sufficiente per compiere, non solo nel campo del costruire, scelte *sostenibili*.

4. Marc Augé, Che fine ha fatto il futuro? Dai non luoghi al nontempo, (tradd. G. Lagomarsino), Ed. Elèuthera, Milano 2017. ISBN: 889886048X

2

MATERIALI LOCALI E MAGISTERI TRADIZIONALI: CULTURA TECNICA PER LA CONSERVAZIONE, L'INNOVAZIONE SOSTENIBILE E LA CURA DEL PATRIMONIO

Antonio Aschieri
Gianni Bretto
Andrea Scotton
Marco Zerbinatti

2.0 INTRODUZIONE 2 | 3

2.1 OPERE DI PIETRA A SECCO: LE PAVIMENTAZIONI 2 | 5
2.1.1 GENERALITÀ, MODALITÀ DI POSA E APPARECCHIATURE 7
2.1.2 ACCIOTTOLATO, SELCIATO, LASTRICATO 14

2.2 OPERE DI PIETRA A SECCO: LE SEI REGOLE PRATICHE DEL BUON COSTRUIRE 2 | 23
2.2.1 PIETRA A SECCO. LE SEI CARATTERISTICHE BASILARI 25
2.2.2 TIPOLOGIE MURARIE, APPARECCHIATURE E CULTURA MATERIALE 28
2.2.3 REGOLA 1: FONDAZIONE E MURO 30
2.2.4 REGOLA 2: LA SCELTA DELLE PIETRE 31
2.2.5 REGOLA 3: L'EQUILIBRATURA DI CIASCUNA PIETRA 32
2.2.6 REGOLA 4: L'APPARECCHIATURA E LE LEGATURE 33
2.2.7 REGOLA 5: L'ORIZZONTALITÀ DEI CORSI DI PIETRE 36
2.2.8 REGOLA 6: L'INCROCIO DEI GIUNTI 37
2.2.9 GEOMETRIA, APPARECCHIATURA, INGRANAMENTO, EQUILIBRIO 38
2.2.10 FATTORI DI VINCOLO 42
2.2.11 MURI A SECCO E DRENAGGIO 43
2.2.12 SOSTENIBILITÀ 44
2.2.13 DA MURO A COPERTURA 45
2.2.14 CONTADINI E MASTRI COSTRUTTORI 47

2.3 IL TETTO STORICO 2 | 49
2.3.1 PRINCIPI E CURIOSITÀ GENERALI INTRODUTTIVI AL TETTO DI *PIODE* 51
2.3.2 LA CARPENTERIA LIGNEA 59
GLI ELEMENTI DELLA CARPENTERIA DI BASE
LA CARPENTERIA PER GRONDA SU *ASTRIC*
IL LOGGIATO CON MENSOLA DATA DA CATENA LUNGA E PASSAFUORI
IL LOGGIATO CON MENSOLA SOTTOPOSTA A CATENA
2.3.3 LE GRONDE 65
LE GRONDE SEMPLICI CON MENSOLA SOTTOPOSTA
I CANALI DI GRONDA
2.3.4 GLI ELEMENTI SOSTITUTIVI DEL MANTO 68
I MANTI DI COPERTURA A CORSO SINGOLO, DOPPIO, TRIPLO E MANTO COMBINATO
IL COLMO
I PARANEVE
IL VARCO PER L'ISPEZIONE DEL TETTO
L'ABBAINO
2.3.5 ESEMPI DI NODI RICORRENTI 77
IL RACCORDO DEL MANTO DI COPERTURA CON LA PARETE VERTICALE
IL RACCORDO DI COMIGNOLO E TESTE DI CAMINO CON IL MANTO
IMPLUVI ED ESPLUVI
2.3.6 IL TETTO DI PIODE E LE FONTI RINNOVABILI 84

2.4 MURATURE A VISTA, INTONACI, SUPERFICI TINTEGGIATE 2 | 87
2.4.1 MURATURE A VISTA 89
2.4.2 INTONACI 92
2.4.3 SUPERFICI TINTEGGIATE 97

2.5 GESTIONE DEL VERDE ARBOREO DEI GIARDINI AD ALTA FRUIZIONE 2 | 101
2.5 .1 LA GESTIONE DEL VERDE 103

2.0
INTRODUZIONE
Marco Zerbinatti

La Sezione 2 ha l'obiettivo di introdurre il lettore ad argomenti tecnici in modo semplice e immediato, mediante schede di sintesi che non servono ad approfondire in modo esaustivo le tematiche in esame, bensì a orientare lo sguardo verso manufatti edilizi delle tradizioni locali con approccio critico e con la corretta curiositas, per proseguire successivamente nel percorso di conoscenza con alcuni strumenti e informazioni basilari.
L'utilizzo di termini tecnici, di definizioni gergali, di locuzioni ormai desuete sono spesso utilizzate per fare leva sulla curiosità intellettuale del lettore, con l'intento di ravvivare l'interesse per ciò che è stato ma anche, come speriamo, possa ancora parte fondamentale del nostro paesaggio antropizzato.

2.1
OPERE DI PIETRA A SECCO: LE PAVIMENTAZIONI

Gianni Bretto

Le pavimentazioni in pietra a secco non sono un semplice rivestimento, bensì sono parte di un sistema tecnologico in cui ciascun livello della stratigrafia (terreno di posa, fondazione, sottofondo, allettamento, strato lapideo), partecipano strutturalmente alla resistenza dell'insieme. Questo naturalmente non vale nel caso dell'interposizione di soletta in cls armato la quale svolge le funzioni strutturali creando però gravi inconvenienti, tra cui principalmente l'inibizione delle funzioni drenanti tipiche dell'opera secco. La permeabilità dei suoli, soprattutto a livello urbano, è oggi uno dei temi sensibili della sostenibilità ambientale, tanto che per garantirla è sempre più diffuso l'uso di materiali filtranti, tra i quali spicca per innovazione l'asfalto drenante. In tempi di mutamento climatico, sapendo che la permeabilità del suolo è uno dei fattori determinanti per garantire un efficiente ciclo dell'acqua, la pavimentazione in pietra secca è tecnologia che riguadagna un posto di tutto riguardo.

2.1.1 GENERALITÀ, MODALITÀ DI POSA E APPARECCHIATURE

di Gianni Bretto

QUAL È LA DIFFERENZA TRA POSA A SECCO E A UMIDO?

Le pavimentazioni lapidee nel mondo antico sino alle soglie dell'era moderna sono diffuse a ogni latitudine ove la pietra sia un bene immediatamente disponibile e abbondante[1]. Per "immediatamente disponibile" si intende che i materiali venivano generalmente reperiti in loco (oggi si direbbe a "chilometro zero"), e derivavano, in ambito rurale, dalla spietratura dei campi e, in ambito urbano, dagli scavi in genere. Il materiale lapideo rinvenuto veniva tutto quanto recuperato e impiegato correntemente per lavori in cui la pietra trovante era adatta, come i lavori stradali (sottofondi, pavimentazioni) e i muri a secco in genere. Quindi, solitamente erano i trovanti, sommariamente sbozzati, a costituire la grande massa del materiale posto in opera. Alla pietra *concia*, variamente lavorata e sagomata, veniva riservato il ruolo di finitura, laddove il rango dell'intervento lo richiedeva; questo avveniva soprattutto in ambito urbano o monumentale. Raramente si lavoravano i trovanti, la pietra *concia* proveniva soprattutto dalle cave, in particolar modo quando il grado di decoro dell'opera era tale da richiedere regolarità nella pezzatura e omogeneità nell'aspetto superficiale (*texture*, colore).

In ambito storico esistono due tipologie di posa: a secco e a umido. La posa secca, in particolare negli ambiti di interesse del progetto *MAIN10ANCE*, è la più diffusa, poiché unisce due grandi vantaggi: il notevole potere drenante all'economicità, in tempi in cui, soprattutto in zone montane relativamente scarse di giacimenti di calcare, la calce era materiale raro e non sempre la si poteva produrre nelle vicinanze del cantiere.

La posa a secco su letto di sabbia è utilizzata per elementi di notevole spessore; una realizzazione di qualità richiede che gli elementi siano ben accostati al fine di garantire ammorsamento[2] e ingranamento[3] tra di essi e quindi solidità alla pavimentazione. Questo tipo di messa in opera, di veloce realizzazione e immediata apertura al transito o al traffico (se carrabile) a lavoro ultimato,

1. Questo aspetto è trattato in modo esaustivo negli studi di Antoni Alomar i Esteve (Alomar A., Caractéristicas tecnológicas de la construcción con piedra en seco, X Congreso internacionál de piedra en seco, Montalbán. Actas., 2006).

2. Ammorsamento: nell'arte muraria, effetto meccanico di collegamento tra pareti o elementi a contatto per effetto dell'introduzione di "morse", elementi lapidei trasversali di unione ad attrito tra pareti contigue.

3. Ingranamento: capacità di un insieme strutturale di formare una compagine coesa e stabile, si ottiene con la disposizione a quinconce; è determinante ai fini della resistenza quando i componenti non sono legati con una malta coesiva (opere a secco).

permette una rimozione e un ripristino rapidi degli elementi qualora si rendessero necessari interventi di manutenzione della pavimentazione o nel sottosuolo. Inoltre a riparazione finita non si notano le antiestetiche riprese difficilmente realizzabili a umido.

La posa umida avviene su letto di malta ed è utilizzata per elementi lapidei di limitato spessore che necessitano di un sottofondo rigido, in epoca recente realizzati spesso con calcestruzzo anche armato.

Le fessurazioni dovute al ritiro, alle dilatazioni termiche e alle flessioni conseguenti ai carichi esterni si possono prevenire predisponendo dei giunti di dilatazione (larghi 1 cm) ogni 30/50 m^2, secondo il tipo di pavimentazione, la dimensione degli elementi e la loro collocazione.

Tuttavia la posa umida è assolutamente sconsigliabile (salvo eccezioni), per il fatto che rende impermeabile il suolo e necessita di un gran numero di elementi speciali (canalette, caditoie, tubazioni, tombini, ecc.) atti a restituire il drenaggio che la posa a secco invece garantirebbe naturalmente, senza mai raggiungere la densità minima di permeabilità necessaria per metro quadro di superficie. Inoltre proprio quei giunti di cui sopra, a breve termine, diventano vie di infiltrazioni meteoriche concentrate che innescano azioni disgregatrici provocando cedimenti, fessurazioni e rotture.

L'unica posa che prevede un sottofondo umido (*rudus*) che potrebbe garantire resistenza nel tempo, senza creare i tipici inconvenienti prima descritti, è quella di una tipologia di selciato romano[4] che richiede, per garantire la dovuta efficienza prestazionale, una stratigrafia articolata e complessa e soprattutto assai dispendiosa dal lato economico.

4. Cfr. Vitruvio Pollione M. P., De Architectura, Libro II: materiali, murature e tecniche edificatorie, edizione facsimile anastatica: BUR Biblioteca Universale, Milano, Rizzoli 2022.

SONO MOLTI I TIPI E LE APPARECCHIATURE?

I tipi di pavimentazioni lapidee sono assai numerosi e dipendenti sia dalle varietà litologiche quanto dalle tradizioni locali; si possono - generalizzando - distinguere tre grandi classi: gli *acciottolati*, i *selciati*, i *lastricati*.

La rigorosa distinzione in classi si comincia ad applicare nei lavori pubblici di un certo rilievo soprattutto in ambito urbano a partire dalla sistematizzazione dei saperi tecnici conseguenti al metodo scientifico dell'*Encyclopédie* e alla seconda riscoperta, in epoca neoclassica, della trattatistica latina. Nella stragrande maggioranza dei casi, almeno sino alla codifica dei tipi da manuale

nell'ambito delle opere pubbliche, si prosegue con la logica del materiale trovante, per cui non si applica una disciplinata distinzione tipologica nelle realizzazioni, particolarmente in condizioni rurali o montane.

Nei contesti geografici della Valsesia, del Verbano Cusio Ossola, del Canton Ticino, caratterizzati da una distribuzione litologica e da culture costruttive simili, i tipi di pavimentazioni lapidee storiche sono giocoforza affini. Il loro grado di omogeneità e di regolarità sono funzione della loro appartenenza a contesti cittadini o ad ambiti monumentali o aulici come, per esempio, quello dei Sacri Monti. Per opere di questo rango, realizzate senza economia di mezzi, si è spesso ricorso a materiali di foggia e pezzatura omogenea, a volte posati ricorrendo a disegni decorativi resi maggiormente evidenti col ricorso a bicromie o policromie. Così pure il rafforzamento del controllo delle acque superficiali di ruscellamento, specie in situazioni acclivi, volto a integrare il drenaggio naturale dell'opera a secco, quali caditoie o canalette ricavate da pezzi monolitici in massello di pietra, ha visto il dispiegarsi di elementi di complemento opera di scalpellini. In altri casi, sono i cordoli laterali di rinfianco oppure le alzate dei gradoni a esser opportunamente sagomati.

COSA SI INTENDE PER FONDAZIONE?

Comunemente si intende per **fondazione** qualunque terreno naturale atto a ricevere determinati carichi opponendovi una adeguata resistenza. Pertanto nell'opera pavimentale litica bisogna innanzitutto prevedere quali saranno le sollecitazioni in gioco. Si tratterà di carichi trasmessi dal calpestio, da traffico dovuto a carri a trazione animale o, a partire dall'era della motorizzazione di massa, dall'intenso traffico veicolare.

La posa a secco[1] distingue tre gradi di fondazioni e, di conseguenza, di sottofondi: la prima data dal solo terreno opportunamente costipato per il traffico pedonale rado, la seconda con sottofondo in ghiaia per la percorrenza pedonale intensa, la terza con massicciata di fondazione in scapoli di pietra e sottofondo in ghiaia, per il traffico veicolare leggero.

1. In questa trattazione non ci si allontana troppo dall'ambito della pietra a secco e, quindi, saranno fatti sporadici riferimenti alla posa a umido.

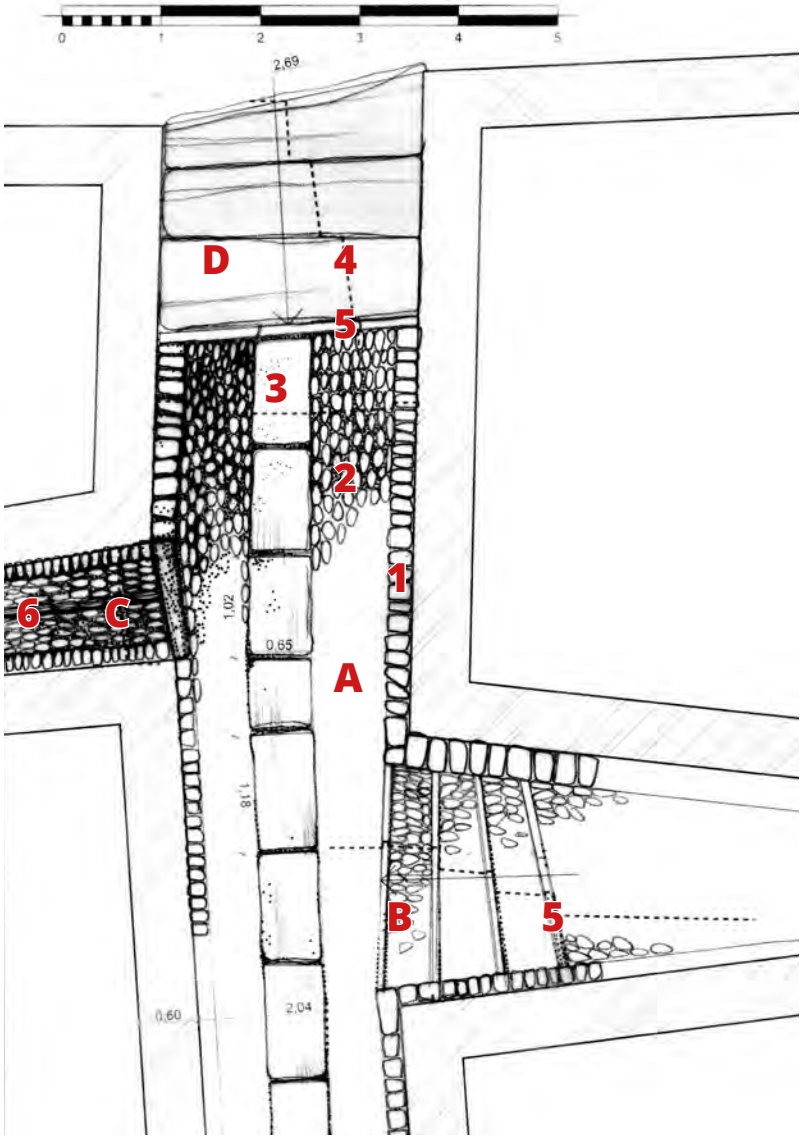


Figura 1
Pavimentazione lapidea a secco in villaggio rurale montano ossolano. Pianta, disegno originale in scala 1:50.

A via principale (kàral) (Cfr. Figura 3)
B via secondaria (sctrèčga) con gradonata acciottolata;
C via secondaria acciottolata a sezione concava (impluvio) (Cfr. Figura 3);
D scala (Cfr. Figura 3);
1 cordolo in trovanti sbozzati;
2 acciottolato in letto di sabbia;
3 guida in lastre di gneiss (piode);
4 gradini monolitici;
5 bordura con piode di coltello;
6 ciottoli o piode a formare la linea di impluvio.

PERCHÉ LA POSA A SECCO È STATA PROGRESSIVAMENTE ABBANDONATA?

I fattori che maggiormente hanno causato il progressivo abbandono della posa a secco sono legati alla crescente mancanza di manodopera qualificata insieme con pregiudizi di natura tecnico-teorica, per cui essendo più semplice dimensionare una fondazione costituita da soletta di calcestruzzo armata che non una fondazione di pietrame e nutrendo abnorme sovrastima per le virtù di rigidezza e resistenza della prima, si è relegata la seconda tra le prassi desuete. In realtà non si erano fatti i debiti conti con i complessi cicli di sollecitazioni e di usura che non dipendono solo dai carichi statici e dinamici, ma anche dai fattori di esposizione all'ambiente e al complesso di azioni fisico-chimiche o biodeteriogene che da questo derivano. In questo senso, l'opera a secco è assolutamente più resistente e meglio resiliente dell'opera umida.

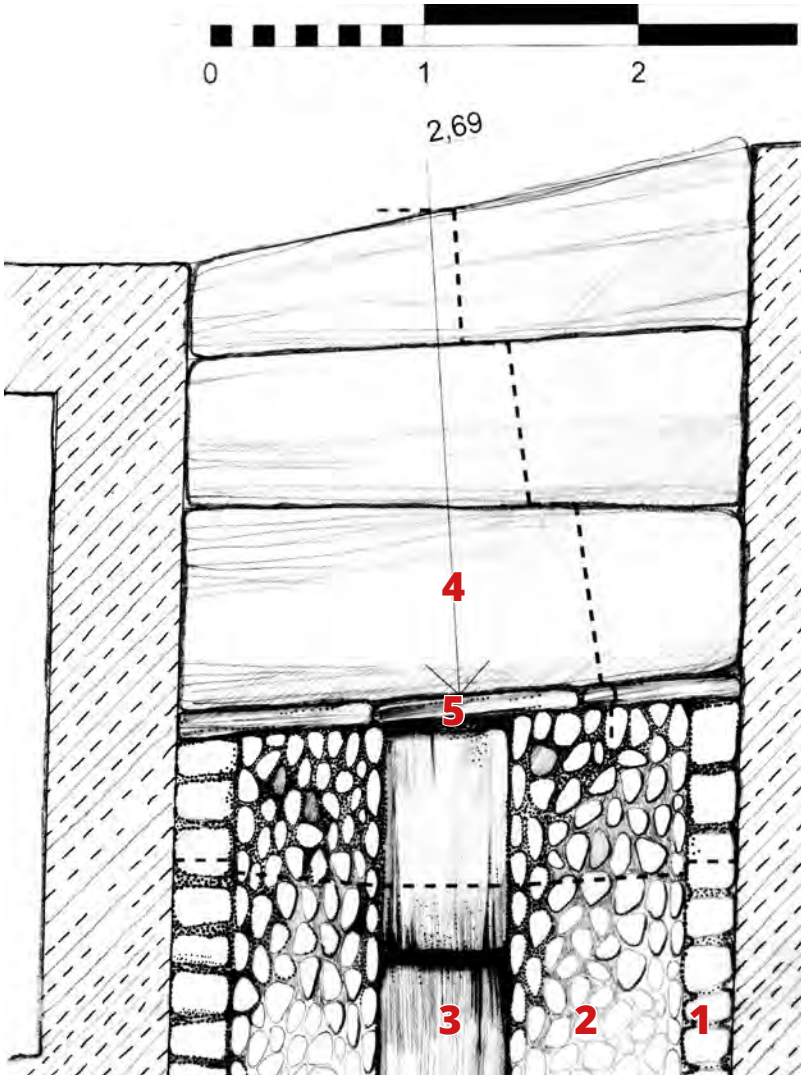
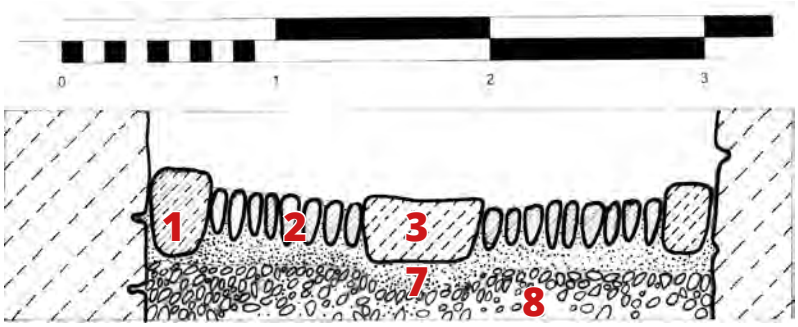


Figura 2
Pavimentazione lapidea a secco in villaggio rurale montano ossolano. Pianta, disegno originale in scala 1:20.
1 cordolo in trovanti sbozzati;
2 acciottolato in letto di sabbia;
3 guida in lastre di gneiss (piode);
4 gradini monolitici;
5 bordura in piode di coltello.

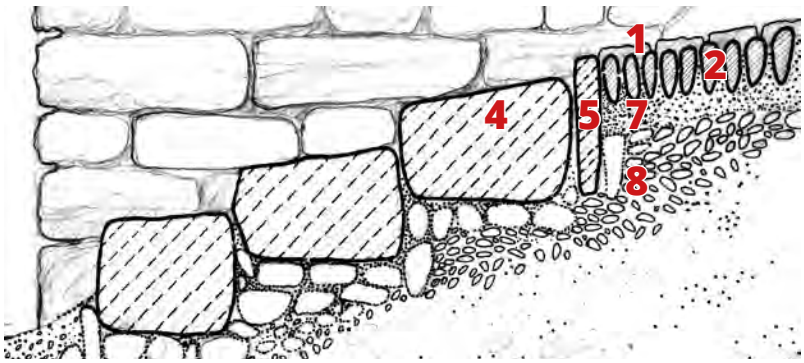
COME SONO COMPOSTI I SOTTOFONDI E COME LE STRATIGRAFIE?

Storicamente i gradi di specializzazione dei **sottofondi** variano dal **grado zero** al grado quattro.
Più specificamente possono essere così riassunti:

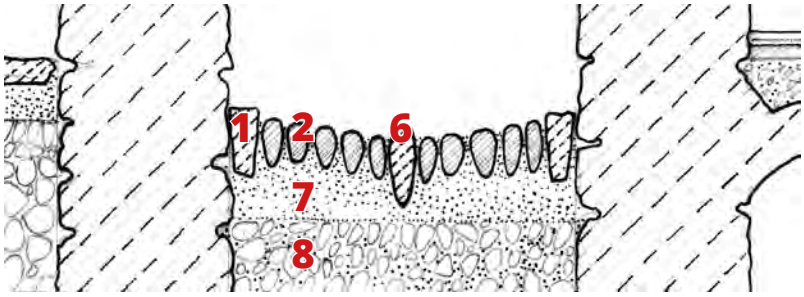
- il **grado zero**, in cui ci si limitava a consolidare il piano di posa tramite battitura;
- il **grado uno**, in cui fa la sua comparsa un sottofondo di ghiaia ricavata sul posto (o pietrisco da frantumazione nel caso di ambiente rurale, oppure da ghiaia vagliata in ambiente urbano);
- il **grado due**;



A - Via principale (kàral)



D - Scala



C - Via secondaria

Figura 3
Pavimentazione lapidea a secco in villaggio rurale montano ossolano. Sezioni, disegno originale in scala 1:20.
1 cordolo in trovanti sbozzati;
2 acciottolato in letto di sabbia;
3 guida in lastre di gneiss (piode);
4 gradini monolitici;
5 bordura in piode di coltello;
6 pioda o ciottolone a formare la linea di impluvio;
7 letto di posa in sabbia granita;
8 sottofondo in pietrisco o ghiaia.

- il **grado tre**, che prevede la fondazione con massicciata;
- il **grado quattro**, che riguarda l'attualizzazione della posa a secco e prevede l'introduzione dei geotessuti con funzione di separazione tra granulometrie e filtrante rispetto al precipitare delle particelle terrose.

TRACCIAMENTO

COME ERANO ESEGUITI I TRACCIAMENTI, LE LINEE, I PIANI E LE PENDENZE?

In passato i **tracciamenti** erano realizzati mediante l'uso di semplici livelle con l'apposizione di picchetti e sagome; gli allineamenti si ottenevano tendendo il filo da muratore (*lenza, lignola*), mentre oggi i tracciamenti si ottengono con l'uso di stazioni totali e col posizionamento di picchetti e capisaldi.

2.1.2 ACCIOTTOLATO, SELCIATO, LASTRICATO

COME È COMPOSTO UN ACCIOTTOLATO?

L'**acciottolato** impiega i ciottoli di forma oblunga reperibili nei corsi d'acqua, formati da millenarie azioni meccaniche dovute al rotolamento. Mediamente l'asse minore ha dimensioni comprese tra gli 8-10 cm, mentre quello maggiore tra i 10-15 cm. Devono essere adeguatamente lavati e selezionati in base alle dimensioni, e gli elementi che presentano fratture devono essere eliminati.

COME È REALIZZATO UN ACCIOTTOLATO?

La fondazione si ottiene compattando il terreno naturale tramite cilindratura, dopo averlo umidificato per incrementarne la densità. Si possono impiegare rulli o piastre vibranti, oppure, *mazzeranghe*[1] tradizionali. A seconda dei carichi previsti si può porre in opera la fondazione realizzata con ciottoloni o *trovanti*[2] per uno spessore di circa 30 cm, oppure direttamente il sottofondo in ghiaia a granulometria mista. Si colloca quindi uno strato separatore in *geotessuto*[3] (TNT) e su questo si sparge il letto di posa, avente spessore di 8-10 cm, di sabbia a grana grossa e non vagliata, entro il quale sono collocati i ciottoli, con la parte più sottile (punta) verso il basso, quella più grossa (testa) verso l'alto. Per ogni elemento si scava una piccola buca con la penna del martello da muratore, col quale poi sono pure battuti i ciottoli, allo scopo di assestarli. Tutti i ciottoli devono essere posati ben serrati tra loro, avendo cura che le teste sporgano dal letto di sabbia della stessa misura. Solitamente, gli elementi di minoriedimensione sono posati nelle fasce laterali della superficie da pavimentare, mentre al centro vengono collocati quelli più grandi.

Terminata la posa dei ciottoli, si procede alla compattazione tramite più cicli di battitura, utilizzando il *mazzapicchio*[4] o la mazzeranga (entrambi di legno) per evitare lesioni o rotture degli elementi. Dopo la prima battitura, si cosparge la superficie della pavimentazione con sabbia inumidita e, continuando il costipa-

Figura 4
Acciottolato (*karoeta*) con guidana centrale in piode, Bannio, valle Anzasca.

*1. **Mazzeranga**: piastra di legno dotata di manico, dal peso di circa 15 kg.*

*2. **Trovanti**: pietre di diverse dimensioni spostate dall'azione degli antichi ghiacciai che si trovano in superficie, si distinguono dai clasti, depositi fluvioglaciali inclusi nella stratigradia geologica.*

*3. **Geotessuto** o geotessile: tessuto non tessuto di fibre in genere sintetiche con funzione di separare, filtrare, rinforzare, proteggere e drenare.*

*4. **Mazzapicchio**: pestello di legno, più piccolo della mazzeranga, serve per battere "in testa" elemento per elemento.*

Figura 5
Rampa acciottolata con cordoni in piode di coltello, Canton Gorini, Vanzone, Valle Anzasca.

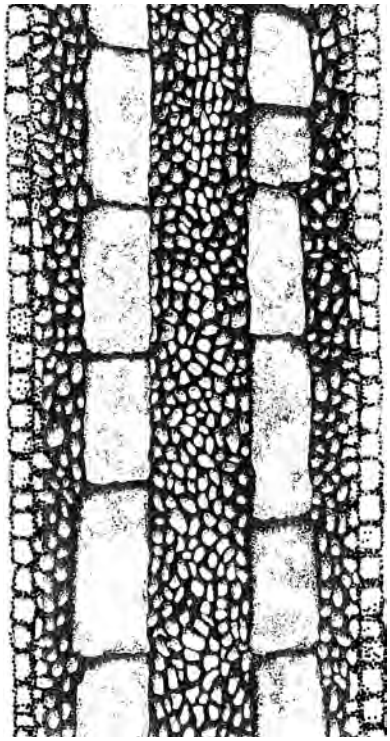


Figura 6
Acciottolato carrabile con trottatoi.

mento, si bagna ulteriormente con acqua affinché la sabbia grossa lubrificata penetri negli interstizi tra gli elementi. Successive battiture aumentano il contrasto laterale tra i ciottoli (serraggio) e un assetto piano e regolare della superficie. Nelle aree pedonali, in ragione dei minori carichi, i ciottoli possono essere disposti di piatto o di costa.

Per facilitare la permeabilità del sistema e il deflusso superficiale delle acque, i ciottoli devono essere disposti con l'asse maggiore delle teste secondo la linea di massima pendenza della pavimentazione, affinché le acque piovane o di ruscellamento possano scorrere in maniera convergente, senza fuoriuscire ai lati, dove, in assenza di opportune canalette di raccolta, si potrebbero infiltrare nelle fondazioni degli edifici, oppure defluire in modo incontrollato nei terreni a confine.

Gli elementi morfologici destinati al convogliamento delle acque sono le parti maggiormente vulnerabili perché in esse avviene la soluzione di continuità della pavimentazione: il cambio di pendenza dei piani deve essere necessariamente risolto con una linea (impluvio o compluvio) che si costituisce come linea di debolezza. Per questo motivo, per risolvere questo dettaglio e ovviare alla intrinseca criticità morfologica, si impiegano elementi lapidei correttamente sagomati, oppure si scelgono ciottoli o trovanti dalle teste oblunghe (oppure *piode*) e si dispongono con l'asse maggiore lungo le linee di compluvio (impluvio).

In ambito rurale la sezione trasversale delle stradine interne agli abitati o quella dei sentieri era di norma concava con caditoia assiale (dove prevista), facilitando così un veloce sgrondo delle acque. In ambito urbano, a partire dal XIX secolo, la sezione stradale fu mutata da concava a convessa, a convogliamento laterale della acque, qui raccolte da caditoie di smaltimento connesse con il sistema fognario.

Nelle strade a tecnologia lapidea sono sovente presenti gradinate; particolare cura è riservata nella realizzazione delle pedate e delle alzate, quest'ultime, costituite da un cordolo sagomato oppure realizzato con "piodone" di forte spessore, almeno 10-12 cm, dalla costa superiore "sbarbata"[5], infisso nel suolo per una profondità pari ad almeno 1,5 volte la misura dell'alzata e reso ben franco mediante opportuni elementi lapidei di contrasto posti al piede.

A volte sono presenti guide (o *trottatoi* o *guidane*), realizzati con lastre (piode) di forte spessore a semplice spacco naturale op-

*5. **Sbarbatura**: azione meccanica di rifilatura e smusso dei margini che risultano dallo spacco naturale della pioda, si ottiene con la percussione della martellina da muratore "di penna" (punta a scalpello) o "di testa".*

pure lavorati e rifiniti a *punta*[6], *gradina*[7] o *bocciarda*[8]. Le guidane sono realizzate per prime e solo dopo la loro corretta posa si procede con l'acciottolato.

Tali elementi lastriformi sono presenti in forma singola (pedonali) o doppia (carrabili).

Sul sottofondo si stende, in corrispondenza dei piani di posa delle guide, uno strato di sabbia spesso circa 10-15 cm avendo cura di bilanciare bene le lastre per prevenire il "*cullamento*" e di serrarle le une contro le altre. Poi, si procede alla loro battitura per mezzo di una *mazzeranga*.

Infine, si procede con la messa in opera dell'acciottolato seguendo le regole precedentemente esposte.

COME È REALIZZATO UN SELCIATO?

Nel contesto geografico che si estende dalla Valsesia al Verbano Cusio Ossola sino al Canton Ticino, esiste una tecnica pavimentale nota come *kurtlà* (accoltellata), che prevede l'uso di elementi lapidei grossomodo cuneiformi, parallelepipedi o lastriformi, posati "di coltello". Tale tecnica è oggi nella letteratura tecnica identificata col termine "selciato", anche se sono profonde le differenze col selciato romano. Sia la fondazione a massicciata, sia il sottofondo a ghiaia, che il letto di posa in sabbia granita, non differiscono sostanzialmente dalla stratigrafia propria dell'acciottolato. In passato gli elementi erano ricavati essenzialmente da trovanti, avendo cura di scegliere quelli adatti per forma e dimensione oppure quelli adattabili con sommarie operazioni

*6. **Punta** (fine e/o grossa): finiture a percussione a grana grossa o fine realizzate con punte di diverse dimensioni. La punta o sabbia in ferro acciaioso, lunga 20-30 cm, con punta di taglio a forma piramidale o tronco-conica. Veniva percossa col mazzuolo di legno.*

*7. **Gradina**: scalpello in ferro acciaioso lungo 14-22 cm, con un estremo affusolato e dentato. Il tagliente può avere fino a 10 cm di larghezza e da 2 a 20 denti (2 per la sgrossatura; 4 per la modellatura della superficie grezza; 6 per la lavorazione che precede la finitura a scalpello)*

*8. **Bocciarda**: martello a fitte punte piramidali, un tempo impiegato manualmente, oggi montato su macchine a ponte. La bocciardatura rende la superficie della pietra molto simile a quella del materiale grezzo, evidenziando e portando in vista eventuali cristalli e venature.*

Figura 7
Soluzione di raccordo selciato a Ronco Canavese; Val Soana, (foto P. Scarzella).

Figura 8
Acciottolato/selciato con cordoni in piode di coltello. Salita Beura - Bisoggio, Valle Ossola.

Figura 9
Selciato con piode di coltello (kurtlà), Beura, Valle Ossola.

di sbozzatura a martello. Solo i pezzi speciali erano realizzati a punta. Per quanto riguarda le dimensioni degli elementi, esse variavano in funzione dei carichi previsti, ma indicativamente misuravano intorno ai 20-30 cm di altezza, 8-12 x 15-20 cm in testa.

Oggi a causa della difficoltà - se non impossibilità - nell'utilizzare le pietre trovanti, si impiegano elementi di cava in genere in *beola* o *serizzo,* noti commercialmente col nome di "smolleri". Si tratta di parallelepipedi con la testa superiore tranciata a vista, due coste a spacco, mentre le due facce laterali sono a piano naturale di cava. Le dimensioni medie sono di 6-10 x 14-16 cm in testa e 15-20 cm circa di altezza. Sono lavorabili ulteriormente a martello per rifinirli rapidamente, soprattutto lungo gli spigoli.

L'apparecchiatura di posa dev'essere coerente coi medesimi princìpi di orientamento delle teste degli elementi con l'asse maggiore lungo la linea di massima pendenza, o comunque in direzione del piano di scorrimento delle acque superficiali, esattamente come esposto per gli acciottolati.

COME È REALIZZATO UN LASTRICATO?

I lastricati sono formati da lastre di dimensione irregolare (*opus incertum*) oppure regolare, di norma di forma rettangolare. Le dimensioni sono molto variabili e la loro massima grandezza dipende dalla possibilità di trovare giacimenti di cava spiodabili, privi di fratture orizzontali e quindi sfruttabili per ricavare lastre di grandi dimensioni, i cui lati maggiori superano il metro e in genere valgono 1,5-2 volte i lati minori.

Le lastre di grande formato, caratterizzate da uno spessore congruente (8-15 cm), sono di solito riservate alla costruzione di marciapiedi urbani; le lastre di dimensioni medie (0,8 x 1,2 m circa) e piccole (0,4 x 0,6 m), con spessori intorno ai 6-10 cm e a volte intorno o superiori ai 20 cm, sono impiegate per realizzare lastricati a volte frammisti ad altre pavimentazioni (acciottolati o selciati). Bisogna dire che le lastre da pavimento per esterni erano utilizzate con una certa parsimonia, in special modo in zone extraurbane, dove si preferiva impiegarle come elementi per copertura (*piode*).

Figura 10
Scalinata di accesso ai terrazzamenti, realizzata con grandi lastre, di Pontegrande, Bannio, Valle Anzasca.

Le cave da cui si ricavano lastre a spacco, sfruttando i piani di naturale scistosità, sono per ciò che concerne l'ambito geografico dalla Sesia al Ticino, in genere quelle di gneiss tabulare (ortogneiss o beola, paragneiss o serizzo), oppure di micascisti o di serpentiniti.

Le lastre, specie quelle di grande formato, sono di solito utilizzate per pavimentazioni pedonali. Questo perché i materiali lapidei resistono molto meglio alle sollecitazioni di compressione e in misura decisamente minore a quelle di flessione e taglio.

Tradizionalmente la lastra era posizionata con la superficie di spacco (detta *pioda* o *verso*) in alto, la superficie di marcia era lasciata al naturale - se sufficientemente scabrosa - oppure era lavorata a punta grossa o mezzana.

I bordi lungo il perimetro superiore erano sovente rifilati a scalpello per una larghezza di qualche centimetro, a formare delle fascette; i fianchi delle superfici laterali erano sbozzati a *subbia* (scalpello a punta piramidale) e smussati verso il basso secondo piani inclinati verso l'interno della lastra. La superficie di posa era lasciata grezza come risultava dal piano di scistosità. Tali lavorazioni hanno lo scopo di favorire la corretta messa in opera delle lastre, in particolar modo nelle commessure tra elementi, e migliorare la loro stabilità sul sottofondo.

Figura 11
Mulattiera tra ali di muro parcellare (*karàl*), Pianezzo, Bannio, Valle Anzasca.

I sistemi di finitura superficiale sono di solito correlati alla lavorabilità delle pietre e sono funzione del grado antisdrucciolevole che si vuole raggiungere.

In considerazione dell'alto costo odierno della manodopera, le lavorazioni manuali si possono impiegare in misura molto limitata, solo laddove si rendono necessarie sostituzioni di elementi lavorati fortemente degradati, per i quali è bene prevedere medesima classe litologica e stessa finitura.

Figura 12
Gradonata acciottolata con canaletta di drenaggio lavorata alla punta fine, Canton Gorini, Vanzone, Valle Anzasca.

Figura 13
Acciottolato con linea d'impluvio in piode di coltello, Fondovilla, Anzino, Valle Anzasca.

Le uniche finiture manuali oggi praticabili a costi relativamente contenuti sono la "spuntatura" (in genere si effettua con la subbia), che consiste nell'asportazione di materiale lapideo mediante incisione in modo puntiforme secondo un *pattern* regolare piuttosto rado; oppure la bocciardatura a mano.

Le tecniche odierne di finitura meccanica automatizzata o termica (fiammatura), oltre a essere - in genere - poco adatte da un punto di vista di compatibilità ambientale e paesaggistica, sovente sono causa di shock meccanici che finiscono con inficiare la durabilità nel tempo degli elementi lapidei. È quindi da preferirsi, quando si debbono contenere i costi, la semplice superficie a spacco naturale.

La posa avviene su letto di sabbia (8 -10 cm di spessore), su sottofondo di terra battuta oppure eseguito in pietrisco o ghiaia, ben spianato e compattato. Nei casi in cui siano previste sollecitazioni importanti, è necessario inserire uno strato di fondazione in pietrame.

Le lastre sono posate in modo che i giunti non siano maggiori di 1 cm; eventuali irregolarità che non permettono il combaciare dei bordi sono rifilate a scalpello.

Successivamente la lastricatura viene bagnata copiosamente, favorendo la fluidificazione della sabbia sottostante in modo che penetri in tutti gli interstizi. Questo processo è agevolato dalla battitura delle lastre per mezzo di *mazzeranghe* o piastre vibranti.

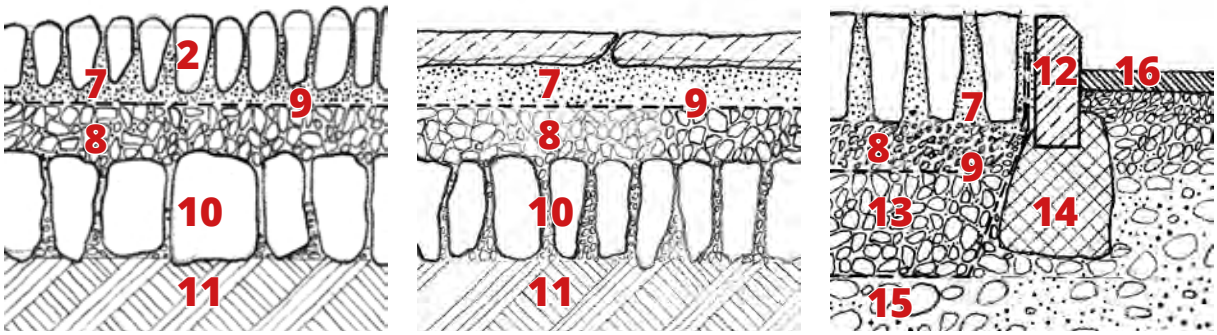


Figura 14
Tipologie di pavimentazioni in pietra a secco: (da sinistra a destra) acciottolato, lastricato, selciato.
2 - acciottolato in letto di sabbia; **7** - letto di posa in sabbia granita; **8** - sottofondo in pietrisco o ghiaia; **9** - geotessuto filtrante; **10** - fondazione in ciottoloni; **11** - terra battuta; **12** - cordolo di recupero lavorato a punta fine (8x25 cm); **13** - secondo strato di sottofondo in ghiaione e ciottoli; **14** - franco cordolo in calcestruzzo; **15** - piano fondale in deposito alluvionale; **16** - asfalto.

Le apparecchiature più comuni sono l'*opus incertum* (che sfrutta pienamente la lastra a spacco evitando gli sfridi della riquadratura) e la *posa a correre* con elementi di uguali dimensioni, o alternati (se di dimensioni differenti). Usualmente la disposizione a corsi longitudinali, è adottata per i percorsi pedonali e i marciapiedi; per le superfici di notevole estensione, come slarghi o piazze, si impiega talvolta l'apparecchiatura a lisca di pesce. In alcuni casi i corsi vengono posti inclinati rispetto all'asse stradale, al fine di diminuire il *cullamento* e i sussulti, nel caso di sollecitazioni dinamiche (folla, marcia militare, animali al trotto, veicoli).

Ogniqualvolta intervengono necessità decorative legate all'importanza del luogo, il taglio delle lastre può seguire un casellario specifico proponendo *pattern* geometrici modulari. Le lastre sono scelte anche in funzione del colore e della *texture* superficiale tra litotipi diversificati, e sovente sono accostate a finiture di altro tipo come l'acciottolato o il selciato.

CHE COS'È LA STABILIZZAZIONE BOTANICA?

Sovente lo strato di posa (il letto) di sabbia si trova a contatto col terreno vegetale. Questo avviene laddove non sono necessarie la fondazione (massicciata) e nemmeno il sottofondo in ghiaia, quando il terreno è sufficientemente compatto e idoneo a ricevere direttamente la posa, oppure quando particelle terrose precipitano attraverso i giunti di sabbia e a questa si mescolano. È favorita in questo modo la crescita erbosa, che viene sovente vista con diffidenza, perché si teme di dover spendere tempo ed energie nello sfalcio periodico, in realtà porta con sé l'azione consolidante dei cespi vegetali e delle radici che conferiscono solidità all'insieme. Naturalmente la crescita va tenuta sotto controllo e soprattutto bisognerà impedire l'attecchimento di organismi vegetali superiori (arbusti o alberelli) poiché questi, al contrario dell'erba, innescano azioni scalzanti anziché consolidanti. A volte la stabilizzazione botanica si configura non come conseguenza di una "rinaturalizzazione" bensì come una vera e propria tecnica di posa. Questo avviene soprattutto in opere di architettura del paesaggio o di arte dei giardini, dove il rapporto tra elementi lapidei e vegetali dev'essere particolarmente curato e dove la vegetazione assume pari dignità tecnica e formale rispetto a qualsiasi altro materiale, anzi diviene materiale da costruzione essa stessa.

Figura 15
Selciato con cunetta di scolo delle acque a Roldo, Montecrestese, Valle Ossola.

Figura 16
Comparazione tra selciato storico (Roldo), e selciato moderno (piazza Jorge Chávez), Domodossola.

Figura 17
Selciato moderno (piazza Jorge Chávez), Domodossola, 2011-2013, (architetti Gianni Bretto e Lidya Re).

Figura 18
Selciato moderno: scalinata di accesso a un rustico riattato ad abitazione per vacanze, La Fraccia, Trasquera, Valdivedro. 2011 (architetti Gianni Bretto e Andrea Scotton).

I disegni e le fotografie sono dell'autore, tranne dove diversamente indicato.

BIBLIOGRAFIA

Foppoli D., Caligari A.: *Il comportamento strutturale delle costruzioni a secco* in : Capire, realizzare e mantenere muri a secco, Interreg It/Ch 2013-2020 UPKEEP THE ALPS, Regione Lombardia, 2020

http://www.upkeepthealps.eu/flipbook-corso-recupero-dei-muri-a-secco/

Bretto G., Giordano G.E. *Tecnologia e lessico della pietra a secco, Struttura: modelli meccanici e modelli semantici* in: Capire, realizzare e mantenere muri a secco, Interreg It/Ch 2013-2020 UPKEEP THE ALPS, Regione Lombardia, 2020

http://www.upkeepthealps.eu/flipbook-corso-recupero-dei-muri-a-secco/

Foppoli D., *Le costruzioni in Pietra a Secco nel Paesaggio Culturale Valtellinese*, Notiziario Istituto Archeologico Valtellinese, numero 17/2019

Foppoli D., *La valorizzazione dei terrazzamenti valtellinesi: il paesaggio, l'identità ed il territorio*, relazione presentata nell'ambito della VII edizione della Scuola di Governo del territorio Emilio Sereni, Gattatico (RE), 2019

2015. Nelva R., Zerbinatti M. *Murature di Pietra*. In ZerbinattiM. (a cura di) Manuale per il recupero del patrimonio architettonico di pietra tra Verbano Cusio Ossola e Canton Ticino, Verbania, ALPSTONE Interreg It/Ch 2006/2013

1994. Blanco G., *Pavimentazioni in pietra*, Roma.

Antoni Alomar:

2009. *I territori della pietra a secco fra passato e futuro*, Vanzone, (trad. dallo spagnolo di G.E. Giordano)

2008. *Vers une theorie generale de la thecnologie de la pierre sèche*. XI Congresso internazionale sulla pietra a secco, Alberobello.

2006. *Caractéristicas tecnológicas de la construcción con piedra en seco*. X Congreso internacionál de piedra en seco, Montalbán.

2004. *Réflexions à propos du nouveau concept d territoire xèrolitique.* IXe Congrés international su la pierre sèche, Mitilene.

2002. *L'univers de mots de la pierre sèche. Une réflexion sur les lexiques, leur recherce et leur systématisation*. VIIIe Congrés international su la pierre sèche, Viège/Visp.

1994. *La tecnología de la pedra seca. La qüestió de la definició i propostes en relació al léxic i la tipología.* in «La Pedra en sec. Obra,paisatge i patrimoni ». IV Congrés Internacional de Construcció de Pedra en Sec, Mallorca, setembre 1994, ed. Consell Insular de Mallorca i Leader, Mallorca, 1997

Gianni Bretto:

2018. *L'esperienza Ossolana ed il contesto internazionale. Tecnologia e lessico della pietra a secco*, in "PAESAGGI TERRAZZATI: SCELTE PER IL FUTURO, TERZO INCONTRO MONDIALE", a cura di Franco Alberti, Angelica Dal Pozzo Donatella Murtas, Maria Angelica Salas, Timmi Tillmann, Regione Veneto

2016. *Un cas de consolidation à sec de la pierre sèche : la tour des Lossetti de Beura Cardezza. Considérations post intervention.* XVe Congrès International sur la Pierre Sèche, Argostoli, Céphalonie

2015. *La Torre dei Lossetti di Beura Cardezza*. In Zerbinatti M. (a cura di) Manuale per il recupero del patrimonio architettonico di pietra tra Verbano Cusio Ossola e Canton Ticino, Verbania, ALPSTONE Interreg It/Ch 2006/2013

2002. *La pietra a secco nelle Alpi centro-occidentali.* VIIIe Congrés international su la pierre sèche, Viège/Visp

2000. *Pietra vs legno : Territori della pietra a secco ai confini della cultura del legno* in Arquitecturas de piedra en seco, Actas del VII Congreso internacional de arquitecturas de piedra en seco, Peñiscola,

1994. *Tejados de piedra en seco en Ossola y Ticino* in «La Pedra en sec. Obra,paisatge i patrimoni ». IV Congrés Internacional de Construcció de Pedra en Sec, Mallorca, setembre 1994, ed. Consell Insular de Mallorca i Leader, Mallorca, 1997

Gisella E. Giordano:

2016. *Architecture du paysage et art site-spécifique : l'emploi de la pierre sèche dans l'aménagement de la Place Chávez à Domodossola et le parcours artistique italo-suisse*. En actes du XVe Congrès International sur la Pierre Sèche, Argostoli, Céphalonie

2002. *La filologia della pietra a secco. Toponomastica e lessico.* VIIIe Congrés international su la pierre sèche, Viège/Visp

2000. *Le parole e le cose. Lessico e toponomastica della pietra a secco*. In Arquitecturas de piedra en seco, Actas del VII Congreso internacional de arquitecturas de piedra en seco, Peñiscola

2.2
OPERE DI PIETRA A SECCO: LE SEI REGOLE PRATICHE DEL BUON COSTRUIRE

Gianni Bretto

La pietra a secco è tecnologia diffusa in tutti i luoghi dove il materiale lapideo a livello di trovanti di superficie è sovrabbondante e spesso ostacola colture e pascoli. Ad ogni latitudine, persino anche nei casi in cui è il legno il materiale sovrabbondante, la pietra a secco- dal neolitico all'era moderna - si è affermata e diffusa in diversi ambiti costruttivi: dai muri di sostegno dei terrazzamenti, a quelli parcellari, alle opere di infrastrutturazione stradale ed idraulica, agli edifici rurali (abitazioni ed accessori), in taluni casi persino in ambito urbano. Mai come nella muratura, e segnatamente a secco, la resistenza dipende dalla bontà dell'apparecchiatura, persino di più che dalla resistenza dei singoli elementi, o dagli spessori delle membrature. La configurazione dei canali statici (al contrario che nelle strutture a scheletro), varia poi a seconda di come le compagini murarie vengono sollecitate, e quindi le messe in carico delle murature divengono fondamentali anche rispetto all'attrito, che in assenza della coesione fornita dalla malta, diviene insieme alla gravità il "legante" invisibile che garantisce la stabilità delle murature a secco. L'altro parametro fondamentale è l'ingranamento che impedisce lo "sfilamento" degli elementi e genera attrito in tutte le direzioni normali ai punti salienti o asperità delle pietre.

2.2.1 PIETRA A SECCO. LE SEI CARATTERISTICHE BASILARI

CHE COSA SI INTENDE PER PIETRA A SECCO?

Si potrebbe pensare che la pietra a secco sia connotata essenzialmente dall'assenza di leganti, come le malte con cui si opera "a umido", ma non è così. In realtà alcune opere lapidee, come ad esempio quelle in pietra da taglio dell'età classica, si pensi al Partenone, dove la muratura ad apparecchio isodomo non impiega malte, non appartiene alla tecnologia della pietra a secco propriamente detta.

QUALI SONO ALLORA LE CARATTERISTICHE FONDAMENTALI DELLA PIETRA SECCA?

Innanzitutto occorre dire che è tecnologia diffusa quasi essenzialmente in ambito rurale e che con essa si sono realizzate per secoli a partire dal Neolitico quasi esclusivamente opere di bonifica agricolo-pastorale, come i terrazzamenti, la viabilità campestre pedonale o carrabile, le opere di regimazione delle acque, i muri parcellari, i recinti o i rifugi pastorali, ecc. Non mancano abitazioni costruite con questa tecnologia come ad esempio i trulli (che sotto l'intonaco a calce celano la muratura a secco), oppure gli edifici ossolano-ticinesi che rappresentano un'eccezione di tutto riguardo, e si annoverano tra gli edifici a secco di maggiori dimensioni in assoluto. Non solo abitazioni ed edifici rurali di pertinenza, ma anche case urbane, come a Domodossola nel rione medievale della Motta. L'edificio più alto a secco tra quelli censiti è la torre detta dei Lossetti di Cardezza che raggiunge i quattordici metri al culmine del timpano. (Bretto, 2015, 2016).
Le caratteriste basiche della pietra a secco sono state attentamente studiate da Antoni Alomar i Esteve, (Alomar, 1994, 1996, 2002, 2004, 2006, 2008), e sono essenzialmente sei, così sintetizzate:

CARATTERISTICA 1. MICROLITISMO

Il modo di costruzione della pietra a secco è sostanzialmente microlitico, la pietra a secco precisamente detta adopera unicamente pietre di dimensioni medio-piccole, tali da essere facilmente manipolate da una persona sola, o al massimo, due persone (salvo eccezioni).

Figura 1
Apparecchiatura microlitica: muro di recinzione con seduta e copertina di piode, chiesa di San Giulio e Filippo. Pianezza di San Carlo, Valle Anzasca. Il muro esteso per circa 15 m e alto circa 1,5 m spesso 80 cm circa alla base, potrebbe essere opera di un solo muratore, nessuno dei suoi elementi richiede forza lavoro maggiore.

CARATTERISTICA 2. ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO

Il modo di costruzione della pietra a secco è fondamentalmente individuale. Una sola persona può erigere una costruzione in pietra a secco, a prescindere dal suo volume o dalla sua dimensione, dato che, entro limiti sensati, ciò non rappresenta un problema tecnico invalicabile. Solamente accrescerebbe i tempi di esecuzione. Solitamente la pietra a secco è un lavoro effettuato da due persone, o comunque organizzato in squadre da due. Questo è vero particolarmente per i terrazzamenti o i muri parcellari, dove l'esiguo spazio al contorno non permette squadre più numerose.

CARATTERISTICA 3. LOCALISMO

Il modo di costruzione della pietra a secco è fondamentalmente locale in quanto impiega sempre materiale ricavato all'intorno del luogo di costruzione. Sempre trascurando le possibili singolarità, si può delimitare questo intorno a un diametro di un centinaio di metri, fissato da motivi di consumo di energia fisica nel trasporto delle pietre.

CARATTERISTICA 4. AUTONOMIA

Il modo di costruzione della pietra a secco è primariamente autonomo, si sfrutta il materiale che è sovrabbondante, residuale e a portata di mano. Questo prova la sua autonomia, la sua indipendenza da mezzi esterni al proprio ambiente, il suo notevole vincolo con la natura e il paesaggio.

Figura 2
Muro di terrazzo a servizio di una casa rurale recuperata come casa di vacanza alla Fraccia di Trasquera, Valdivedro, architetti G. Bretto, A. Scotton (2011), mastri muratori, Elio Volpone, Angelo Lai, Vittorio Da Pra. Il muro a cantonali, di dimensioni 4x5x4 m, h 1,9 m, spessore alla base 80 cm, in sommità 60 cm. Per la costruzione sono occorse tre giornate con due muratori operanti ed il terzo a preparare il materiale (cernita, sbozzatura quando necessaria, avvicinamento).

Figura 3
Muro a secco di contenimento a lato del sentiero comunale Battiggio - Vanzone (valle Anzasca), ricostruito durante il laboratorio inserito nel programma del convegno "Costruire nel costruito. Pietra, sabbia, calce, legno - Materia, forma e struttura" 3° ed. 2019, mastro muratore Silvio Titoli. Il muro lungo una quindicina di metri, alto in media 1,2 m, spessore alla base 70 cm, è stato costruito in due mattinate da un muratore e una decina di aiutanti (iscritti al laboratorio).

CARATTERISTICA 5. RAPIDITÀ

Il modo di costruzione della pietra a secco è fondamentalmente rapido, una persona robusta e che ben conosce il mestiere può arrivare a costruire mediamente 3,5 m^2 di parete a secco al giorno (calcolata su di uno spessore medio di 60 cm) - quindi per realizzare una barraca a thòlos coperta a falsa volta- di superficie in pianta di 30 m^2 sono necessari 25-30 giorni di lavoro, disponendo di tutto il materiale già provvisto sul posto.

CARATTERISTICA 6. UTENSILI

Il modo di costruzione della pietra a secco non utilizza, al limite, altri utensili che le proprie mani come ha dimostrato sperimentalmente il muratore Irwin Campbell (Campbell, 2004). I muri in pietra secca sono costruibili utilizzando i trovanti di spietratura che affiorano dal terreno, e al limite utilizzando – oltre alle mani- una pietra più dura come percussore, dove fossero necessarie semplici azioni di accomodatura degli spigoli vivi. Tutto questo naturalmente è possibile se si dispone di pietre che non superano i due o tre palmi di dimensione. Non dimentichiamo che nonostante questa tecnologia si sia dotata nel suo massimo sviluppo di una serie di utensili specializzati (quattro taglie di martelli, due misure di palanca, ecc.), essa non dipende strettamente da questi, poiché è nata dalla precarietà ed appartiene all'ambito della sussistenza.

Delle sei caratteristiche postulate da Alomar, la più rimarchevole è quella che distingue la pietra a secco come opera microlitica, da non confondere con le costruzioni megalitiche nemmeno quando –raramente- vengono usate pietre di dimensioni notevoli. Quando accade ciò dipende da un accidente locale, si rinviene un trovante di grandi dimensioni e non si spreca tempo utile nel rimuoverlo o frantumarlo, lo si lascia sul posto e lo si ingloba nel muro.

2.2.2 TIPOLOGIE MURARIE, APPARECCHIATURE E CULTURA MATERIALE

Le murature lapidee presentano una grande varietà di tipologie, determinate dalle culture materiali locali in funzione della disponibilità della materia prima e dalle sue caratteristiche litologiche che si traducono nella pratica costruttiva in grado di lavorabilità, e di conseguenza, nell'organizzazione dell'apparecchiatura. Questa a sua volta determina la resistenza della compagine muraria, la sua stabilità e durata nel tempo.

CHE COSA DIFFERENZIA L'AMBITO RURALE DA QUELLO URBANO?

Anche nel caso delle murature, così come per le pavimentazioni è necessario effettuare la distinzione del contesto in rurale ed urbano, categorie che a volte coincidono con quelle di popolare (inteso come prodotto della tradizione contadina o proletaria urbana) in opposizione a monumentale (inteso come prodotto "colto" spesso legato ad una forma di potere civile o religioso). (Guidoni, 1980)

In ambito rurale la regola è data dall'estrema libertà nell'uso dei materiali, dove l'assenza di coerenza nelle soluzioni è spesso solo apparente. Dico apparente, perché in realtà coerenza nella cultura popolare è data non già dall'omogeneità e dalla regolarità, bensì dall'attitudine a risolvere problemi usando soltanto ciò che è immediatamente disponibile, che è reperibile al minore costo in termini di valore economico e di energia impiegata nel rinvenire, lavorare e trasportare i materiali da costruzione.
Il medesimo principio vale nella messa in opera, i materiali spesso ricavati colla minima lavorazione possibile, ispirano con la loro forma la soluzione architettonica o tecnica, e non sono quindi "piegati" ad un'idea costruttiva ideale e in sé conclusa in quella forma di anticipazione che chiamiamo progetto. Ad esempio capita sovente di incontrare una trave di legno o una pietra la cui forma particolare ispira- per così dire- la risoluzione del problema, ad esempio un albero curvo diventa trave arcuata usata come catena di una capriata la cui convessità facilita l'accesso al fienile nel sottotetto, oppure un masso non rimovibile né frazionabile, se non a costo di un improbabile accanimento lapicida, viene inglobato nella tessiture di un muro di terrazzamento, o- caso limite – un masso erratico diviene parete o copertura di un edificio costruito in aderenza alla preesistenza geologica. Le cosiddette balme o abitazioni trogloditiche insegnano.

In ambito urbano- storicamente- quanto precedentemente esposto vale per i quartieri popolari, per quelli borghesi o aristocratici sono la forma e il decoro propri della categoria monumentale che richiedono coerenza formale (diremo l'ordine). Il mondo aulico ovviamente non ha gli stessi problemi di scarsità di mezzi (se non di autarchia) che il mondo rurale si trova a dover gestire e a trasformare da svantaggio a risorsa. A titolo di esempio consideriamo che solo le grandi forme organizzate di potere assoluto hanno potuto costruire con materiali esotici, pensiamo alla Roma antica, o alla repubblica di Venezia. Persino nel riuso di parti o componenti, come ad esempio colonne o altre membrature, la cultura popolare e quella aulica si comportano in modo differente. In ambito popolare si assiste spesso ad una assenza di volontà di rappresentanza propria della monumentalità, e questo fa sì che valori come l'assialità, la simmetria, la regolarità, la modularità, spesso siano estranei nella stragrande maggioranza dei prodotti della cultura popolare, come –caso emblematico- le opere in pietra a secco, dove regnano sovente i disassamenti, l'antisimmetria, l'irregolarità, la frattalità.

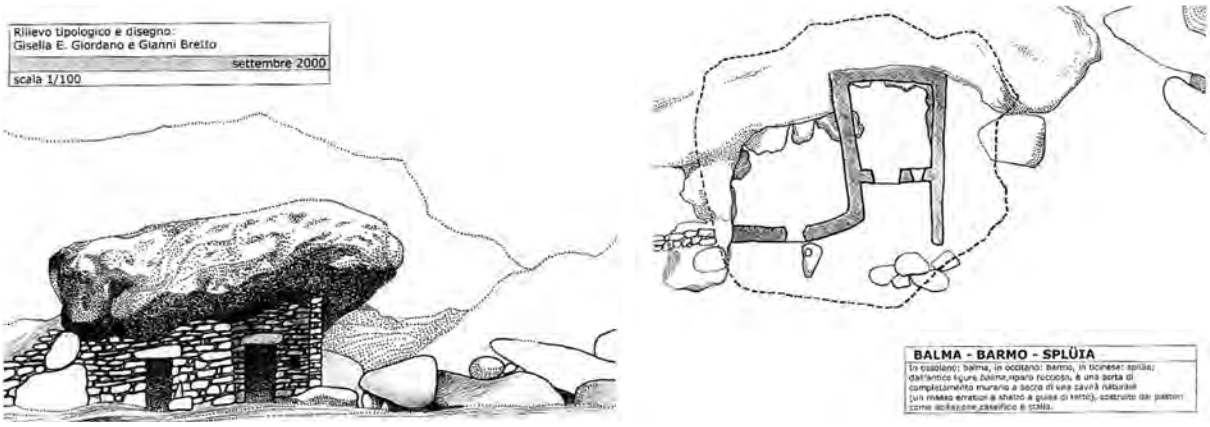


Figura 4
Balma, costruzione pastorale in pietra a secco che sfrutta lo spazio sotteso ad un masso erratico poggiato a sbalzo su macigni di minore dimensione. La cavità naturale si trasforma in edificio con pochi aggiustamenti, solitamente pareti a secco dotate di porte e finestre per costituire vani chiusi, utilizzati come rifugio stagionale, stalla e caciaia. (rilievo tipologico e disegno: G.Bretto e G.E. Giordano)

2.2.3 REGOLA 1. FONDAZIONE E MURO

COME FUNZIONA UN MURO A UN PARAMENTO?

Tutti i corsi di pietre risultano inclinati verso l'interno, così se ne previene lo scorrimento verso l'esterno.

Il peso del muro è in parte distribuito verso l'interno, la faccia interna del muro risulta inclinata e appoggiata al riempimento retrostante di ciottoli e ghiaia che favoriscono il drenaggio dell'acqua.

La scelta dell'inclinazione del muro dipende dalla stima della spinta del terreno e dall'altezza del muro stesso (8° < inclinazione < 15°)

Figura 5 Figura 6 Figura 7

QUALI INCLINAZIONI DEVONO AVERE IL MURO E LA BASE?

La base deve essere perpendicolare all'inclinazione del muro; in questo modo si evita l'abbassamento del terreno al di sotto della fondazione e si previene il ribaltamento del muro.

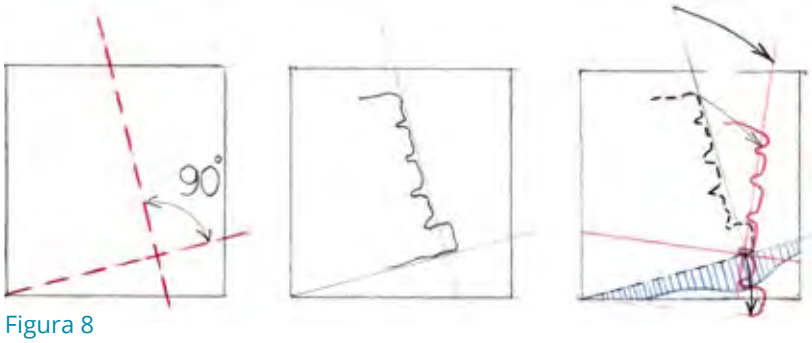


Figura 8

COME FUNZIONA UN MURO A DOPPIO PARAMENTO?

è bene che i corsi, interno ed esterno, abbiano una doppia inclinazione verso la mezzeria del muro.

Figura 9

2.2.4 REGOLA 2. LA SCELTA DELLE PIETRE

TRADIZIONALMENTE, DA DOVE SI RICAVANO LE PIETRE DA COSTRUZIONE?

Il materiale da costruzione è solitamente ricavato dallo spietramento del terreno, più di rado dalla rottura di banchi rocciosi affioranti.

In ogni caso, raccomanda Pierre Martel (Coste, 1986):
si devono impiegare soltanto *buone pietre*.

Figura 10

Figura 11
Val Maira, Loc. Chiappera (*Ciapèra,* 1614 m slm). La fotografia riprende una *"ciapèra"* ossia il cumulo di pietre provenienti dalla spietratura (in questo caso) dei pascoli, ma non è escluso che vi fossero coltivazioni di segale (il limite della segale è 1900 m slm).

COME SI RICONOSCONO LE *BUONE PIETRE?*

Figura 12

Le buone pietre sono quelle che "suonano" argentine alla percussione. Quelle che producono un suono sordo si scartano.

Le buone pietre sono quelle che sono state a lungo esposte al gelo e al sole: hanno ceduto l'acqua di cava e sono quindi meno gelive.

Figura 13

2.2.5 REGOLA 3. L'EQUILIBRATURA DI CIASCUNA PIETRA

Si stima la necessità di compensazione di ciascuna pietra di essere calzata facendo scivolare le mani su di essa e valutandone lo spessore e le irregolarità superficiali.

Figura 14

Si inserisce il **1**: *calzamento* (o **2**: *zeppatura* se disposto in verticale), formato da una pietra piccola o da una scaglia.

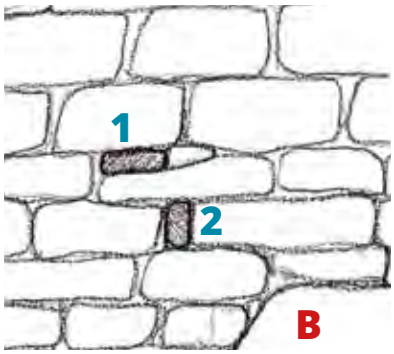


Figura 15

Si saggia la stabilità appoggiando le mani sulla pietra: non deve muoversi né far muovere le altre pietre.

Figura 16

Le pietre che presentano una sezione a forma di cuneo devono essere posate sulla loro faccia piatta; in ogni caso la loro faccia inclinata va diretta verso l'interno del muro.

Figura 17

Ogni pietra deve essere posata secondo la sua **3**: *vena*; è sconsigliabile posarle **4**: *contro vena*[1].

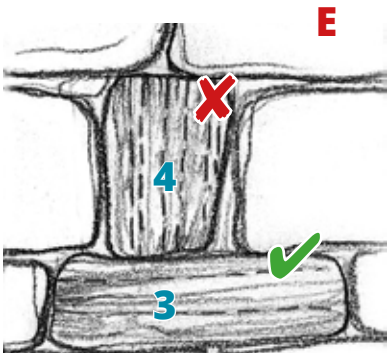


Figura 18

Secondo Pierre Martel, le pietre dovrebbero essere posate nell'apparecchiatura muraria secondo la loro giacitura naturale, con la faccia piana (**5**: *corrosa*) in basso e quella liscia (**6**: *erosa*) in alto.

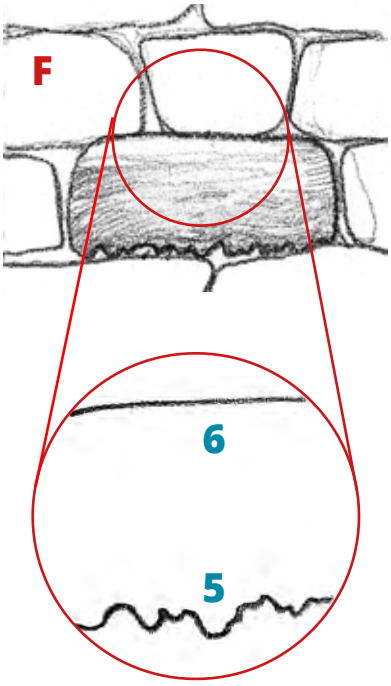


Figura 19

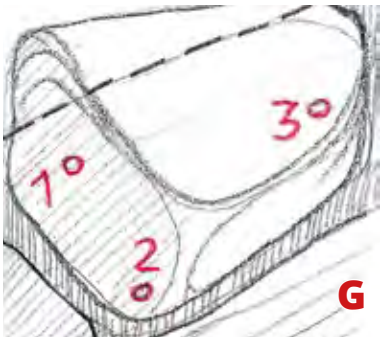


Figura 20

La *regola del tre:* ogni pietra, per essere stabile, deve poggiare almeno su tre punti non allineati tra loro (regola della meccanica dell'equilibrio dei corpi rigidi).

1. Le pietre metamorfiche non vanno mai posate col piano di scistosità in verticale, poiché la compressione esercitata su di esse indurrebbe fenomeni di clivaggio, ossia di fenditura lungo il piano di scistosità (vena).

2.2.6 REGOLA 4. L'APPARECCHIATURA E LE LEGATURE

COME DEVONO ESSERE DISPOSTE LE PIETRE ALL'INTERNO DEL MURO?

Il paramento deve mostrare solo il lato minore delle facce, detto "testa", con il lato lungo affondato nello spessore del muro.

1 Testa o punta / **2** Diatono / **3** Diatono passante

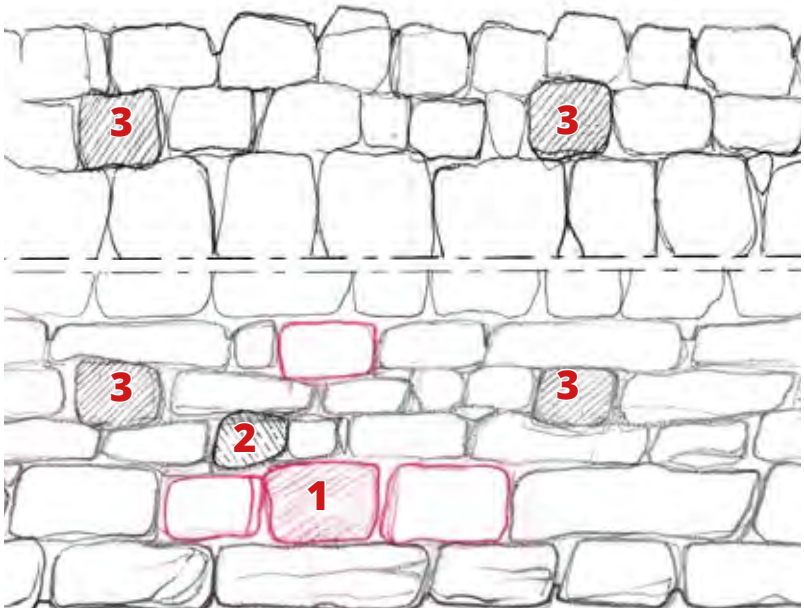


Figura 20 - Vista frontale

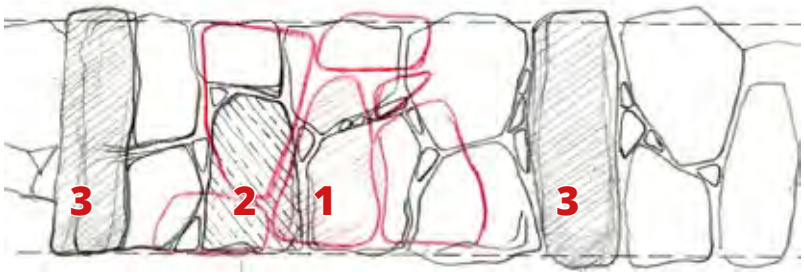


Figura 21 - Pianta

COME SI REALIZZANO LE LEGATURE?

Nei muri a doppio paramento, le legature si realizzano con pietre poste di "punta" che avanzano oltre la mezzeria del muro, o lo attraversano per tutto lo spessore (diatoni e diatoni passanti). Nel caso di muro di sostegno contro terra, sarebbe bene che una teoria regolare di pietre passanti superino addirittura lo spessore del muro e affondino nel riempimento drenante alle sue spalle, realizzando così un ancoraggio puntuale e regolare della scarpata.

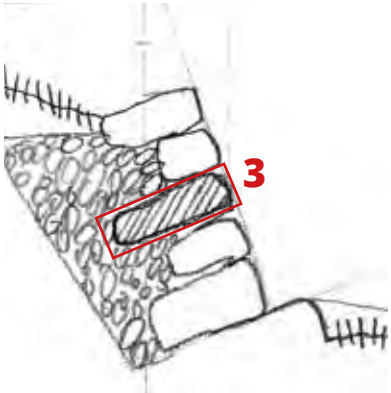


Figura 22 - Vista laterale

A CHE DISTANZA SONO POSATI I DIATONI?

è posato un diatono ogni metro di sviluppo orizzontale di muro per corsi paralleli, a partire da 50 cm circa dal suolo.

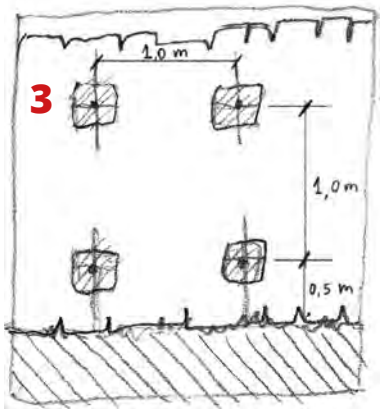


Figura 23

COME SONO POSIZIONATI QUESTI ELEMENTI NELLO SPAZIO?

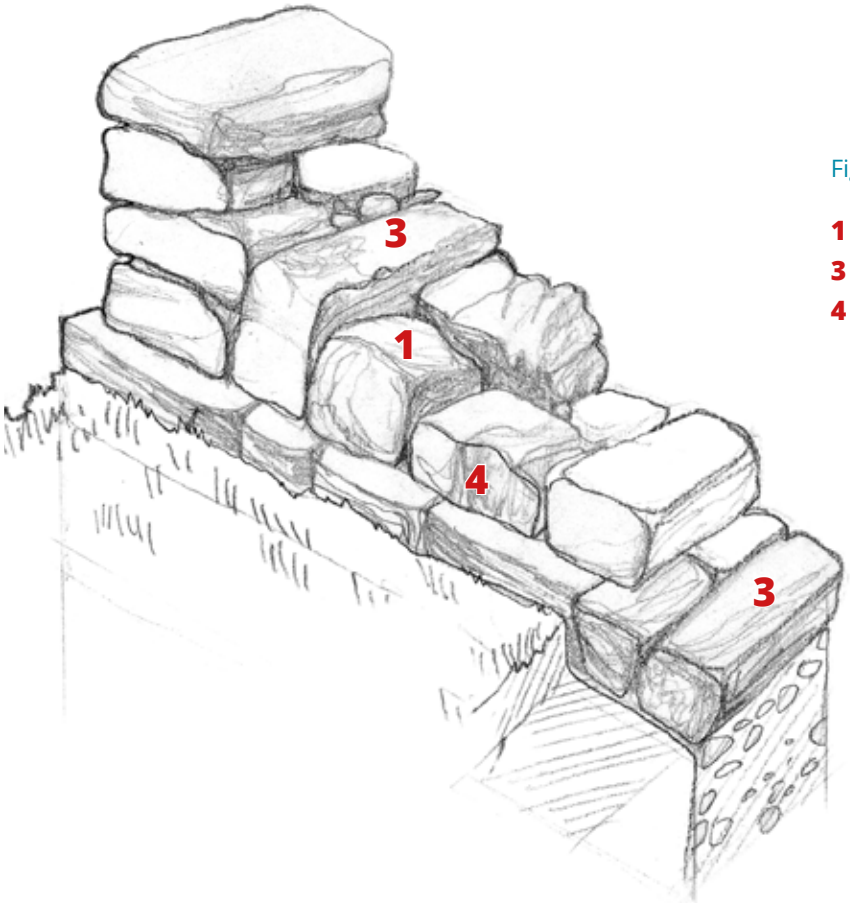


Figura 24

1 Testa o punta
3 Diatono passante
4 Fascia (ortostato)

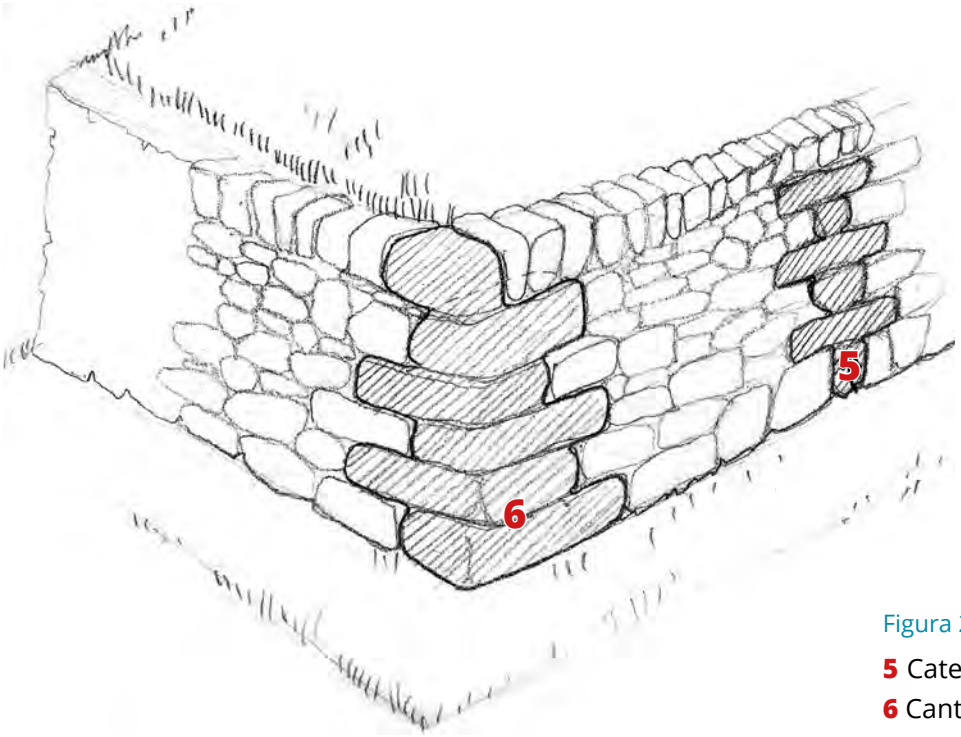


Figura 25

5 Catena verticale
6 Cantone o catena d'angolo

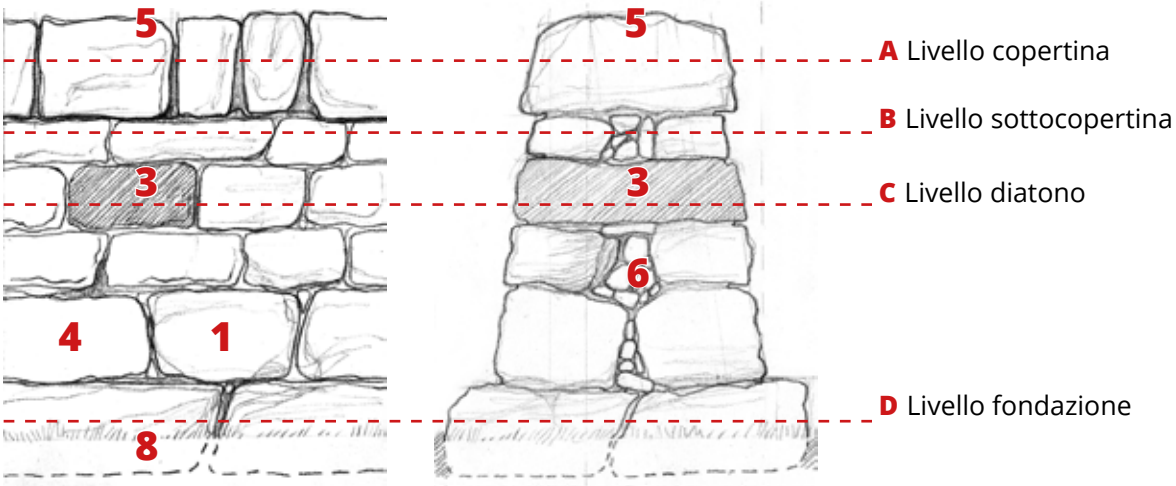


Figura 26 - Prospetto

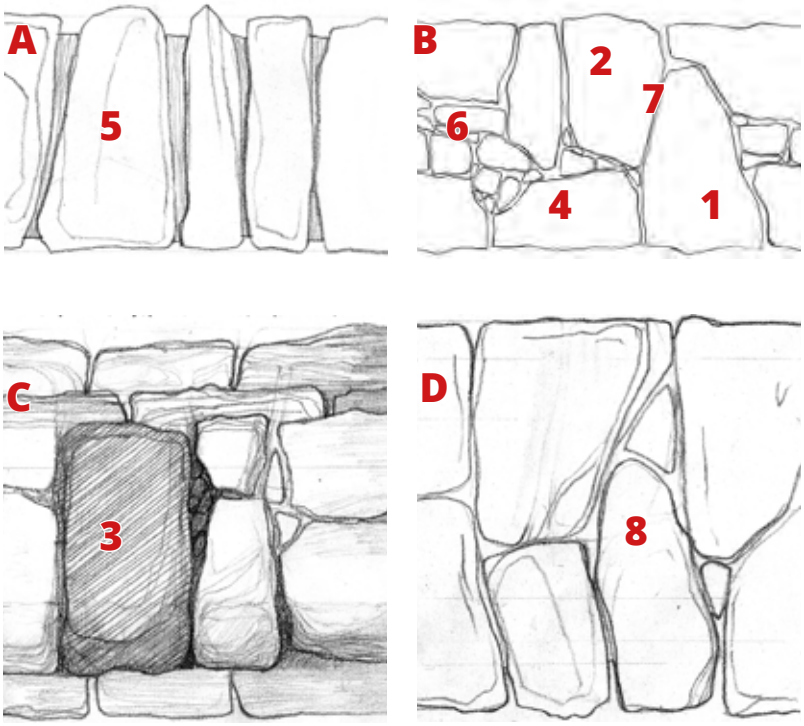
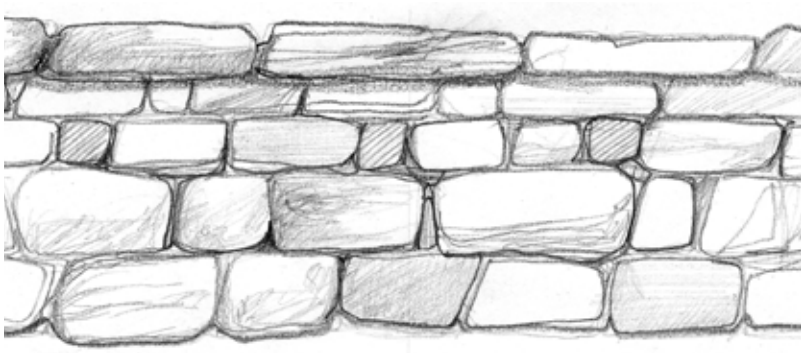


Figura 27
Sezioni orizzontali

1 Testa o punta
2 Diatono
3 Diatono passante
4 Fascia (ortostato)
5 Copertina o coronamento
6 Riempimento
7 Legatura diatoni
8 Fondazione

2.2.7 REGOLA 5. L'ORIZZONTALITÀ DEI CORSI DI PIETRE

A COSA SERVE L'ORIZZONTALITÀ DEI CORSI DI PIETRE?



L'orizzontalità dei corsi di pietre serve a favorire l'incrocio dei giunti.

Figura 28 - Corsi orizzontali

COME COMPORTARSI NEL CASO DI PIETRE IRREGOLARI?

Quando le pietre sono molto irregolari (trovanti non lavorati) e non è possibile l'apparecchiatura a corsi orizzontali o suborizzontali è necessario un corso di appianamento almeno ogni metro.

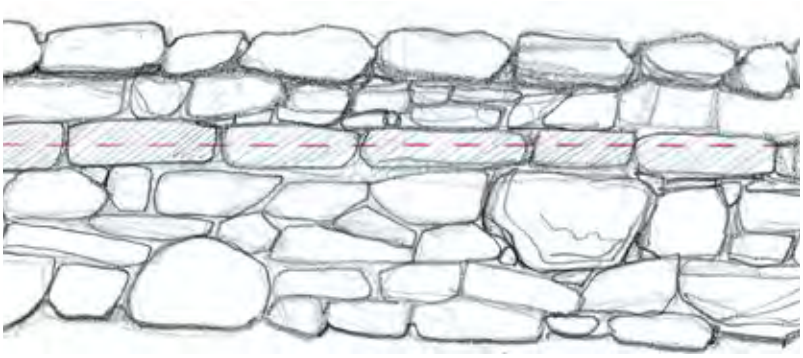
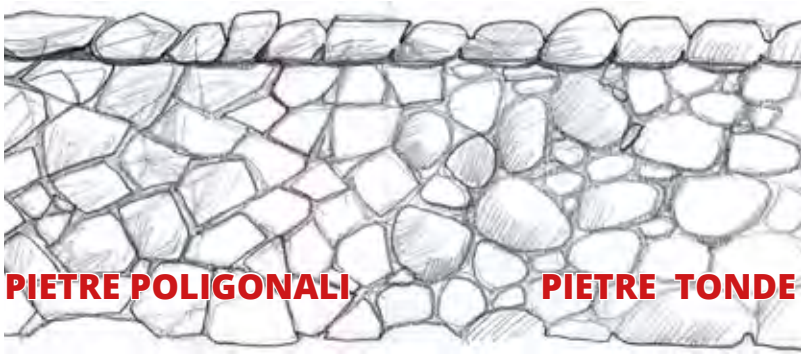


Figura 29
Corsi suborizzontali con "corso" di appianamento

... E NEL CASO DI PIETRE POLIGONALI?



Quando le pietre sono poligonali sono disposte a *opus incertum*[2].

Figura 30
Apparecchiatura a *opus incertum*

2. Opus incertum: tecnica di costruzione di origine romana per la realizzazione di un muro, che prevede l'utilizzo di pietre di misure diverse generando un disegno irregolare della facciata.

2.2.8 REGOLA 6. L'INCROCIO DEI GIUNTI

A COSA SERVE L'INCROCIO DEI GIUNTI?

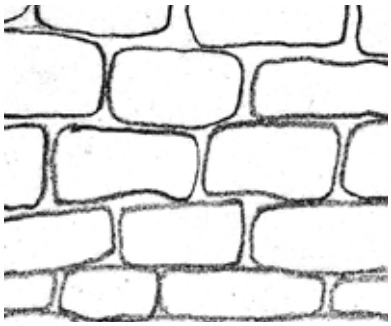


Figura 31

L'incrocio dei giunti serve a favorire la ripartizione dei pesi, che è ciò che lega le pietre tra loro.

Devono essere assolutamente evitati i giunti allineati verticalmente, detti "sorelle".

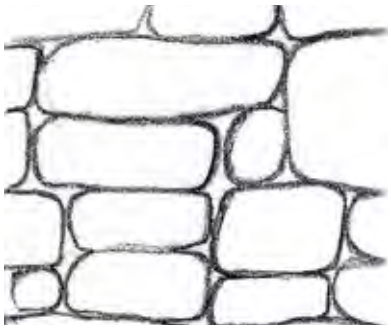


Figura 32

QUAL È LA CORRETTA DISPOSIZIONE RELATIVA DELLE PIETRE?

Ciascuna pietra deve essere appoggiata ad almeno due pietre.

Figura 33

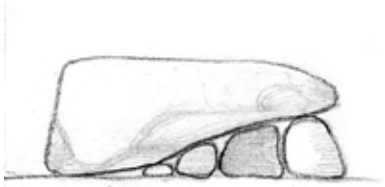


Figura 34

Figura 35

Figura 36

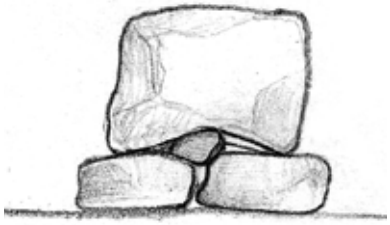


Figura 37

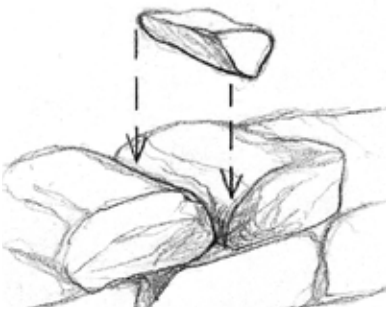


Figura 38

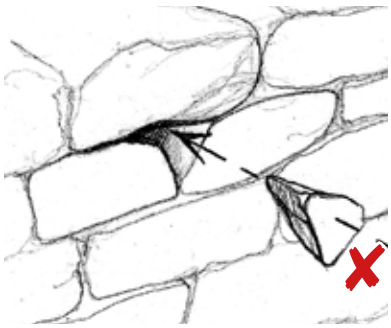


Figura 39

QUESTE SEI REGOLE SONO UNIVERSALI?

In generale si, naturalmente si tratta di una sistematizzazione teorica di una prassi millenaria, con tutti i limiti del caso. Tuttavia osservando costruzioni a secco appartenenti ad aree geografiche e culturali diverse, non si può fare a ameno di riscontrare fortissime analogie. E questo fatto è stato verificato anche tramite il confronto tra mastri muratori di diversa estrazione culturale. Ad esempio Alfredo e Silvio Tabachi, Egidio Sandretti , Paolo Mafrici (Ossola), Louis Cagin (Provenza), Irwin Campbell (Scozia), Reo Kaneko (Giappone), confrontatisi sul tema del costruire a secco, a volte in maniera diretta partecipando a laboratori inseriti in congressi internazionali, si sono trovati a parlare una lingua comune.

2.2.9 GEOMETRIA, APPARECCHIATURA, INGRANAMENTO, EQUILIBRIO

DA COSA DIPENDE L'EQUILIBRIO DI UNA MURATURA A SECCO?

La muratura di qualunque tipologia e materiale è essenzialmente un materiale anisotropo e disomogeneo, il suo comportamento meccanico è quindi piuttosto lontano da quello elastico che caratterizza materiali quali l'acciaio. Diversamente dalle strutture a scheletro (travi, pilastri o telai), i solidi murari variano la configurazione dei propri canali statici a seconda di come vengono caricati (Di Pasquale,1996).
Infine la risposta resistente è legata intimamente alla forma degli elementi e alla loro disposizione (apparecchiatura). Prendendo in esame un modello elementare come un muro isolato incastrato alla base, questo si comporterà in modo molto differente a seconda che sia caricato nel piano o fuori dal piano Se caricato da forze verticali nel piano medio esso è soggetto a compressione semplice, se la risultante dei carichi esce dal piano medio si avranno delle sollecitazioni di pressoflessione tollerate sino a quando esse saranno contenute nel terzo medio della sezione. Se le azioni fossero fuori dal piano il muro si troverebbe sollecitato a flessione (nel caso di un muro massiccio assimilabile ad un corpo rigido, a ribaltamento), sollecitazione ben più pericolosa per la stabilità di un materiale anelastico e anisotropo. Se aggiungiamo il fatto che nel muro a secco manca la coesione data dall'adesione della malta tra le pietre, i soli meccanismi resi-

stenti sono quelli dipendenti dall'attrito e dall'ingranamento. Per comprendere il funzionamento strutturale di un muro in pietra a secco è necessario esaminare i meccanismi interni che si stabiliscono tramite i contatti fra le pietre, abbandonando la teoria elastica, che assimilerebbe erroneamente il comportamento della muratura a quello di un materiale omogeneo ed isotropo. Sarà bene invece individuare e descrivere correttamente i fattori che conferiscono alla muratura le resistenze a compressione e a taglio che le permettono di contrastare le diverse sollecitazioni cui vengono sottoposte.

Nel caso dell'opera secca propriamente detta, che esclude quindi l'apparecchio perfettamente isodomo, possiamo –semplificando – raggruppare i tipi murari in due grandi categorie: quelle che tendono all'apparecchio pseudoisodomo, quelle che tendono al caotico. Le opere appartenenti alla prima categoria, dove i corsi sono grossomodo paralleli o subparalleli, gli elementi che si approssimano alla forma parallelepipeda, perché originati da litotipi caratterizzati da piani di scistosità da uno ad alcuni decimetri di spessore (come ad esempio la beola di Beura), e vi sono in opera un numero sufficiente di diatoni; l'equilibrio dei singoli elementi è garantito dalla trasmissione di sole forze verticali, mentre nel secondo caso, gli elementi tendenti alla sezione poligonale o tondeggiante, trasmettono le forze attraverso i punti di contatto che appartengono a piani comunque inclinati e pertanto si originano componenti orizzontali nel piano medio del muro.

Il primo gruppo di murature sviluppa resistenze mediante l'ingranamento degli elementi pseudoparallelepipedi, favorito dalla scabrosità delle superfici e quindi in definitiva dall'attrito che si trasforma in una resistenza a trazione equivalente della muratura.

Il secondo gruppo in cui gli elementi sono a contatto puntuale non sempre consentono ingranamenti efficaci, pertanto l'equilibrio interno che si instaura tra gli elementi per reciproco contrasto genera uno stato di precompressione orizzontale nel piano medio del muro. Immaginiamo un muro fatto di soli ciottoli. Senza cantonali di dimensioni adeguate che svolgono un'azione di contenimento, una sorta di contrafforti, le azioni orizzontali che si sviluppano all'interno del muro condurrebbero il muro al collasso. Per questo si incontrano molti casi di murature storiche (a secco come a umido), in cui i terminali del muro (cantonali) sono formati da elementi maggiormente squadrati e di dimensioni assai maggiori, perfettamente incrociati, mentre il resto della muratura compresa tra questi due estremi è costituita da trovanti a mala pena sbozzati o al limite da ciottoli. (Cfr. disegno cantonali muro a secco).

Questo tipo di murature ha un comportamento meccanico assai singolare, paradossalmente si approssima maggiormente ad un comportamento isotropo di quanto non fa il muro a blocchi squadrati (che si comporta in modo ortotropo), è caratterizzato infatti dalla presenza di più giaciture principali equivalenti, in questo modo può assorbire sforzi comunque inclinati (da verticali ad obliqui), mentre il muro di blocchi squadrati ben adatto a sopportare i carichi verticali e gli sforzi di compressione da essi generati sui piani orizzontali dei corsi, traduce sempre gli sforzi inclinati in sollecitazioni di taglio applicati ai medesimi piani. Nella muratura di ciottoli la sollecitazione trasmessa ad un singolo elemento si trasmette con la stessa intensità a tutti gli altri elementi e questo avviene in tutte le direzioni.
In ogni caso le murature a secco di ciottoli sono piuttosto rare, mentre le più diffuse sono quelle costituite da trovanti grossolanamente sbozzati, aventi una forma idealmente inscrivibile in un poliedro, ...asperità...

Nicola Cavalieri San Bertolo, nel suo trattato di architettura statica definiva la muratura come: "...un ammasso artefatto di pietre... disposte in guisa tale... che quelle forze, per cui tenderebbe ciascuna di esse a spostarsi, s'impediscano e si elidano nel vicendevole conflitto". (Cavalieri S. Bertolo,1826-1827).

COME SI POSSONO DECRIVERE LE MURATURE "CAOTICHE"?

La geometria frattale applicata allo studio dell'organizzazione delle tessiture murali in pietra a secco, ha fornito nuovi strumenti descrittivi, utili a rappresentare più efficacemente le geometrie complesse ed irregolari e meglio comprenderne la configurazione e l'equilibrio. Come è noto la geometria frattale oltre ad occuparsi di configurazioni che replicano sé stesse all'infinito variando di dimensione (ingrandendosi o rimpicciolendosi) grazie alla trasformazione geometrica denominata omotetia interna, indaga anche le configurazioni caotiche. È possibile trovare la dimensione frattale di geometrie caotiche passando dai frattali deterministici a quelli aleatori, schematizzando il reticolo caotico formato dagli interstizi tra le pietre come una mesh a maglia triangolare, e variando in modo aleatorio lo spostamento dei triangoli base. In questo modo si possono ottenere modelli descrittivi di enti o fenomeni caratterizzati da un gran numero di accidenti locali, ad esempio una nuvola, una catena montuosa, i cambiamenti di forma in una zona di faglia, il processo di erosione del suolo, un cumulo di ghiaia, infine un muro a secco fortemente irregolare. (Monno, 1987; Pilipski, 2002).

ESISTONO METODI O CODICI DI CALCOLO PER LE MURATURE A SECCO?

Come è stato dimostrato da ricerche avanzate nel campo della meccanica teorica delle murature lapidee (sia a secco o con leganti) e dalle relative prove sperimentali, sono la coesione, l'attrito interno e l'ingranamento tra gli elementi, a garantire la resistenza di una muratura. Se questa è a secco, l'assenza di leganti azzera la coesione e quindi la resistenza è affidata ai soli *attrito* e *ingranamento*, se ne deduce quindi che è proprio l'ingranamento, espresso in IQM, il componente decisivo, che incrementa sia l'attrito interno che il serraggio tra le pietre.
Un buon ingranamento dipende essenzialmente dall'apparecchiatura e dall'equilibratura di ciascuna pietra, se l'apparecchiatura è pseudoisodoma vi è minore ingranamento e maggiore resistenza per attrito lungo i piani paralleli o subparalleli, se l'apparecchiatura tende all'opera incerta coi pannelli murari ben serrati dai cantonali si innesca il comportamento meccanico chiamato "autostringente", (Cangi, 2015) dove l'attrito si esplica non più per piani ma per punti di contatto tra pietra e pietra in senso radiale nello spazio. E questo crea uno dei risultati più suggestivi del mondo delle costruzioni: opere anche di dimensioni ragguardevoli realizzate completamente senza legante.
Queste osservazioni di natura meccanica ancora non si sono tradotte in un modello di calcolo che sappia interpretarle pienamente.

Attualmente i codici di calcolo assistiti dall'elaboratore si dividono essenzialmente in due grandi gruppi, i metodi FEM (*Finite Element Analysis*) ed i metodi FME (*Frame* by Macro Element). I primi sono stati pensati per il calcolo di strutture isostrope e quando vengono utilizzati per il calcolo delle murature, se non sono convenientemente tarati (*model updating*) sulla base di prove dinamiche in situ, possono portare a risultati fuorvianti. I secondi permettono di modellare le strutture murarie con schematizzazioni più semplici ed affidabili, che si basano sulla suddivisione della struttura in macroelementi, che si desumono dall' analisi dei meccanismi di collasso deducibili dai quadri fessurativi. La schematizzazione per cinematismi di collasso conduce a semplici calcoli basati sul principio dell'equilibrio dei corpi rigidi, risolvibili anche manualmente o con semplici fogli di calcolo elettronici.
Un modello di calcolo molto raffinato, che tiene in conto della geometria poligonale delle pietre e delle azioni di contatto pietra/pietra basato su un sistema discreto-continuo, denominato UDEC (Universal Dinstinct Element Code, code ITASCA, è stato sperimentato dall'Università di Lyon confrontando i risultati di calcolo con prove meccaniche di laboratorio su muri a secco in scala 1/1 (Oetomo, 2014).

2.2.10 FATTORI DI VINCOLO

L'esperienza e le analisi strutturali insegnano che un muro isolato e vincolato semplicemente al piede ha comportamenti meccanici differenti a seconda che venga caricato nel piano o fuori dal piano (si intende il piano medio passante per la sua sezione trasversale). Le sollecitazioni fuori dal piano come le azioni del vento, quelle sismiche o la spinta del terreno, sono quelle più impegnative e per farvi fronte, la compagine muraria deve avere localmente un comportamento monolitico. Tale monoliticità dipende proprio dall'apparecchiatura, maggiore è la regola dell'arte con cui è eseguita, maggiore è il livello di risposta che il muro è in grado di sviluppare alle sollecitazioni.
Naturalmente sulla stabilità intervengono altri fattori, come quelli di vincolo, ad esempio la presenza di cantonali nel caso dell'articolazione di più muri a costituire un vano, oppure quelli laterali ad un muro di terrazzamento, o ancora le cosiddette "catene" verticali (ammorsamenti sviluppati in altezza inseriti nella tessitura muraria). Nel caso di edifici poi il ruolo delle coperture e dei loro tipi di vincolo rispetto al coronamento sommitale delle murature è fondamentale.
Vale la pena ricordare che è bene che esse non siano spingenti (capriate), impostate su una coppia di travi di ripartizione dei carichi concentrati tramessi da ciascuna capriata (dormienti o banchine), o se spingenti (falsi puntoni o volte) opportunamente contrastate nelle componenti orizzontali delle loro reazioni vincolari rispetto al muro d'imposta, tramite catene o tiranti (lignei o metallici), opportunamente collocati.
Per quanto concerne poi il territorio di riferimento proprio del progetto *MAIN10ANCE* le coperture dalla Valsesia, attraverso Cusio e Verbano, fino all'Ossola e al Canton Ticino (Cfr. infra Scotton, inoltre: Bretto 1994, Fasana, Scarzella, 2015), sono caratterizzate proprio dalla presenza di carpenterie lignee assolutamente non spingenti che unitamente al notevole peso proprio del manto di piode, concorrono sensibilmente all'equilibrio globale degli edifici. Infatti i carichi della copertura, redistribuiti a per unità di lunghezza sui muri portanti attraverso le banchine agiscono alla sommità murale come carichi stabilizzanti, e questo vale sia rispetto all'equilibrio dei macroelementi murari considerati come corpi rigidi, sia rispetto all'equilibrio interno ai solidi murari incrementando con il peso proprio l'attrito interno alla muratura. (Bretto 2016, 2018)

2.2.11 MURI A SECCO E DRENAGGIO

Figura 40
Muro a secco che drena (particolare): parete dello scannafosso a protezione della parete posteriore del pilone/altare di San Vincenzo Férrer, Via Crucis di Bannio, valle Anzasca, località San Vinzént, (prob. XVIII sec.)

QUAL È LA CARATTERISTICA COMUNE A TUTTI I MURI A SECCO

È senza dubbio il drenaggio per quanto riguarda i muri controterra, e la traspirabilità per quanto riguarda i muri degli edifici.
Nel primo caso è noto che un muro di sostegno se non drena a sufficienza, causa gravi problemi poiché l'acqua non correttamente convogliata tende ad erodere il terreno in fondazione lungo la base della faccia posteriore del muro, quindi il muro così scalzato a seguito della spinta esercitata dal terreno a tergo, fortemente imbibito d'acqua, aumenta sino a portare il sistema al collasso, solitamente per ribaltamento.
Nel secondo caso bisogna considerare che negli edifici rurali un'alta traspirabilità, o meglio una sorta di ventilazione attraverso la porosità macroscopica dell'apparecchio a secco, è strettamente necessaria per la conservazione di foraggi o derrate, o per stagionare correttamente i prodotti caseari. Nel caso in cui si dovesse garantire una certa impermeabilità all'aria si usava intonacare almeno la faccia interna della murature. Questo garantisce comunque una quantità d'aria presente nel muro nell'ordine del 10% par unità di volume, cosa che favorisce sia la conduttanza che la traspirabilità in presenza di umidità (sia ambientale che di risalita). Per questo è un grave errore stilare i giunti di una muratura a secco senza valutarne gli effetti sul sistema edilizio a livello globale. Rimane tuttavia un errore nei confronti del rispetto delle caratteristiche materiche originali del manufatto.

Figura 41
Sbocco di un canale sotterraneo di drenaggio inserito nel muro basale dei terrazzamenti di Rivetto di Pontegrande (comune di Bannio-Anzino). Questi canali, alcuni di origine antica come a Varchignoli in valle Antrona, furono realizzati sino a fine '800 laddove la grande estensione delle superfici terrazzate raccoglie una enorme quantità d'acqua meteorica tale da non essere agevolmente evacuata dall'intrinseco drenaggio naturale del muro.

2.2.12 SOSTENIBILITÀ

QUANTA ENERGIA GRIGIA CONSUMA UN MURO DI PIETRA SECCA?

Ne consuma molto meno di quanta non ne consumi un muro di cls armato. Ma per affermare questo occorre fare un bilancio serio e scientifico, come hanno fatto ad esempio i ricercatori dell' ECL (Ecole Centrale de Lyon) i cui risultati sono esposti nelle seguenti tabelle.
Occorre precisare che nel bilancio sono state computate tutte le variabili in gioco, quindi il ciclo completo, in cui ogni passaggio, dall'energia consumata per produrre i materiali, i trasporti, gli scavi, le opere provvisionali, eccetera. Va osservato che, naturalmente se si facesse il bilancio delle opere in pietra a secco storiche (fino all'anteguerra) l'esito sarebbe ancora più favorevole, poiché esse sarebbero davvero a km zero, e a costo di produzione zero o quasi (spietratura in situ, lavorazione manuale sommaria, ecc.). (Descazeaud, Faraggi, Soulage,2009).

Tabelle comparative dell'ecobilancio di un muro di pietra a secco e di un muro di cls armato (campioni di lunghezza unitaria, medesimo spessore, altezza ad incrementi, 1 m, 2 m, 5 m. (da Descazeaud M., Faraggi T., Soulage J.,2009, Murs desoutènement. Comparaison environnementale et financière des différentes technologies, Ecole Centrale de Lyon.

ECOBILANCIO PIETRA A SECCO (muro di sostegno controterra)			
O. E.v Opere elementari (1 ml di muro per altezze incrementate)	Punti ecobilancio UBP	Energia grigia (MJ eq)	Emissioni di CO_2 equivalente (kg)
O.E.1 (h=1 m)	67799	444,81	22,88
O.E.2 (h=3 m)	623568	4090,09	210,34
O.E.3 (h=5 m)	1672667	10975,64	564,56

ECOBILANCIO CALCESTRUZZO ARMATO (muro di sostegno controterra)			
O. E.v Opere elementari (1 ml di muro per altezze incrementate)	Punti ecobilancio UBP	Energia grigia (MJ eq)	Emissioni di CO_2 equivalente (kg)
O.E.1 (h=1 m)	590646	3121	250
O.E.2 (h=3 m)	1777335	9491	757
O.E.3 (h=5 m)	1289914	7618	516

2.2.13 DA MURO A COPERTURA

Tra gli archetipi delle costruzioni in pietra secca oltra al muro parcellare, e quello da terrazzamento si annovera la tipologia a thòlos che meglio incarna il rapporto forma/struttura magistralmente analizzato da Anna Maria Zorgno e Giulio Pizzetti (Zorgno, Pizzetti, 1980). In nell'ambito geografico proprio di *MAIN10ANCE*, non conosco costruzioni a pianta circolare coperta a pseudocupola, i manufatti che più si avvicinano sono i forni a calce tra cui quelli della Val Soana laterale della Val Vigezzo in territorio di Finero (Parco Nazionale Val Grande), a forma troncoconica. Edifici a *thòlos* sono diffusi in tutta l'area mediterranea (in particolare Puglia, Abruzzo, Baleari, Catalogna, Istria, ecc.), con presenze significative in area alpina nelle valli occitane del Piemonte e della Provenza, dove prendono il nome di truno.

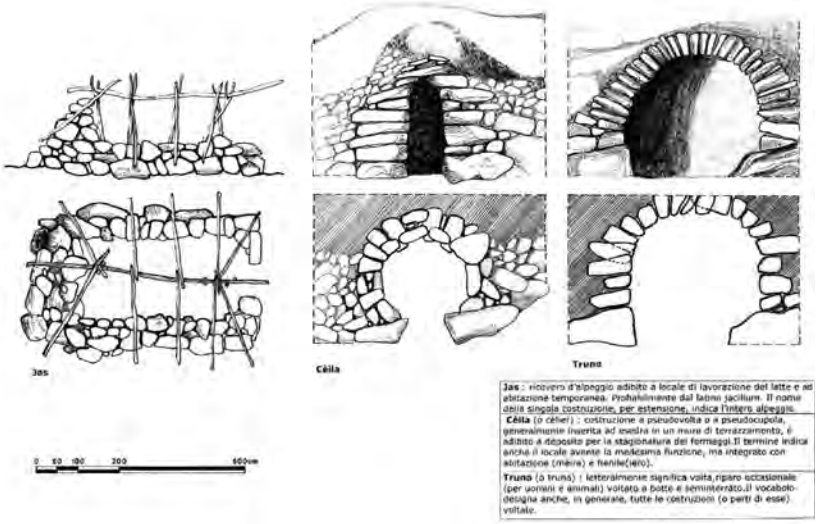


Figura 42
Jas, cèila, truno. Tipologie pastorali a secco nell'area culturale occitana (rilievo tipologico e disegno G. Bretto, G.E. Giordano)

In Ossola, e segnatamente in Valle Anzasca, nel comune di Ceppo Morelli, nell'alpeggio denominato Cortenero (Kurtnègar, 2036 m s.l.m.), i rifugi stagionali da pastore furono costruiti in muratura a secco e coperti in piode senza l'ausilio della consueta carpenteria lignea, per mancanza in situ della materia prima (siamo ben oltre il limite vegetativo degli alberi) e a causa dell'estrema difficoltà a trasportare legname da opera. Tali rifugi sono coperti in genere da piode disposte in aggetto, secondo la direttrice a falso arco della pseudovolta, ciascuna pioda a sbalzo rispetto alla sottostante, fino alla chiusura del colmo, dove le due metà simmetriche, elidono reciprocamente la spinta in chiave. La pseudo volta non necessita di membrature di contenimento all'imposta essendo nulle le componenti orizzontali, è noto infatti che il fal-

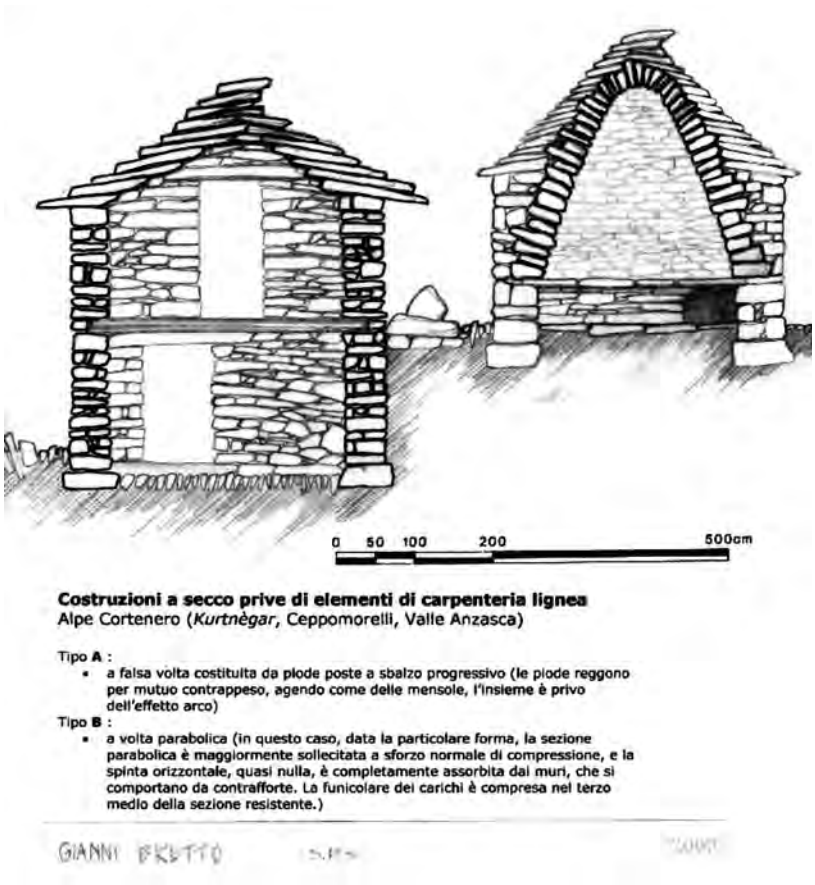


Figura 43
Tipologie interamente in pietra a secco. Rifugi pastorali a pseudovolta e a volta parabolica. Alpe Cortenero, Ceppomorelli, Valle Anzasca.

so arco, al contrario del vero arco non esercita spinte rispetto ai vincoli lineari di contatto tra muro e struttura pseudo arcuata.
Ma a Cortenero esiste una costruzione assolutamente unica nel suo genere, dove la muratura piega senza soluzione di continuità nella copertura. La cosa di notevole interesse è data dalla geometria della volta (vera volta) che è del tipo a catenaria, quasi che l'anonimo costruttore conoscesse la "catenaria dei pesi diseguali" di Poleni o i modelli funicolari di Antoni Gaudì (Cfr. Zorgno, Pizzetti,1980) La singolare costruzione, di incerta datazione (presumibilmente sette-ottocentesca), non è dato sapere se opera di pastore o di maestro muratore, pone l'attenzione al comportamento globale delle falde coperte a piode. Il tetto in piode infatti, per via della disposizione che segue la "regola del tre", ovvero la spiccata sovrapposizione delle lastre poste con lieve inclinazione in fuori rispetto all'orizzontale (Cfr. Infra, Scotton e Fasana,-Scarzella, 2015), si approssima a quello di una falda costituita da una sorta di muratura inclinata armata dai correnti in legno, il cui comportamento statico sembrerebbe in parte godere dell'effetto falsa-volta, tant'è che si osservano numerosi tetti in cui i correnti (*témpiar*, pl. *tampiér*) hanno ceduto e porzioni di falda di piode resistono in opera senza supporto alcuno. Anche questo aspetto assai singolare meriterebbe adeguate indagini analitiche e prove sperimentali per testarne la reale consistenza.

2.2.14 CONTADINI E MASTRI COSTRUTTORI

CHI COSTRUIVA I MURI DI PIETRA SECCA?

Occorre puntualizzare come il mito degli Anonymous architects, come li chiamerebbe Bernard Rudosky, ossia pastori/contadini autocostruttori non sempre è vero.

In molti casi è il contadino oppure il pastore che come risposta ad una necessità funzionale, il liberare campi e pascoli dalle pietre di superficie o appena interrate a profondità di aratura, ammonticchia le pietre a margine, formando cumuli più o meno strutturati in apparecchio murario. Lo stesso contadino certamente in molti casi era anche il costruttore dei terrazzamenti.

Eppure si ha notizia documentata di compagnie di specialisti, tanto delle murature a secco, che dei tetti, che come i maestri comacini erano itineranti, come ad esempio i mastri muratori che realizzarono terrazzamenti in Val Maira, provenienti nientemeno che dalla Valle d'Aosta, (Archeologia medievale (1980). Vol. 7: Per una storia delle dimore rurali. Atti del Convegno, Cuneo, 1979), oppure di professionisti ingaggiati in Val d'Aosta sia per opere da muro che di legname (carpenterie), come si evince ad esempio dall'importante saggio di Claudine Remacle, in cui sono pubblicati i documenti in assoluto più probanti, i contatti d'opera (Remacle, 2008). Anche gli ossolani e i valsesiani erano costruttori migranti, basti ricordare gli imponenti terrazzamenti di Lavaux (Ginevra) o i mastri da muro e da legno come i Bodmer o gli Heinrich (del casato che diede le origini a Tanzio da Varallo) di Pietregemelle (Alagna), le cui opere sono diffuse nelle Alpi Occidentali, dal Piemonte alla Svizzera.

2.3
IL TETTO STORICO
Andrea Scotton

Il tetto storico in pietra delle valli dell'Ossola è un sistema tecnologico sviluppato nell'arco di molti secoli, evolutosi attraverso mutamenti sociali e culturali. Dai primi anni 2000, dopo anni di scarso interesse e poche pratiche realizzative, si assiste ad un rinnovato interesse, mosso quasi esclusivamente dalla reputata "bellezza" di questi manti. Questo testo, di natura divulgativa, propone un approccio tecnologico e non di natura estetizzante, fissando alcuni dettagli tecnici specifici non raccolti nella letteratura presente.

2.3.1 PRINCIPI E CURIOSITÀ GENERALI INTRODUTTIVI AL TETTO DI *PIODE*

CHI HA INVENTATO IL TETTO DI *PIODE*?

Questo sistema di copertura nasce, in analogia con i processi che in tutto il mondo hanno portato alla definizione di architetture specifiche di contesti territoriali, dalla necessità di assolvere determinate funzioni ottimizzando le risorse presenti.
Queste architetture vengono definite vernacolari, ovvero generate con attenzione all'ambiente in cui sorgono e alle tradizioni locali.
Oltre ai materiali presenti, l'altro aspetto che determina la definizione dell'oggetto costruito è l'estrazione culturale della comunità che opera in quel determinato territorio.
Nel caso delle valli dell'Ossola, si osserva la compresenza di due culture, romanza e germanica. Alla cultura romanza appartengono la maggior parte degli insediamenti diffusi, a partire dai laghi e risalendo nelle vallate; alla cultura germanica appartengono gli insediamenti delle comunità Walser di alta quota come Formazza, Macugnaga, Salecchio; caso a se Ornavasso, insediamento di fondovalle in cui le due culture si fondono: qui la vicinanza ai laghi e la presenza di pietra particolarmente duttile, hanno determinato tetti dalla ridotta pendenza, la cui orditura lignea si intreccia con schemi di carpenteria provenienti da zone più a sud.

Queste due culture, che generalmente differiscono per morfologia insediativa e per tecnica di elevazione dei fabbricati, in questi territori si uniscono nella realizzazione dei manti di copertura.

SU COSA SI APPOGGIA UN MANTO DI PIETRA?

La struttura di sostegno che si è sviluppata in stretto legame al manto in piode, è la capriata lignea, che in questo contesto non prevede, rispetto agli schemi più diffusi, la presenza di trave di colmo o di monaco.

Gli elementi presenti nella carpenteria ossolana sono infatti: puntoni, catene e "saette" (o controventi), inseparabili dalla radice sottoposta alle catene; questi costituiscono l'orditura prima-

ria, su cui si innestano "*tampiere*" ovvero i listelli porta piode. A volte si può riscontrare anche la presenza di rompitratta, nei casi di capriate con luce elevata o a fronte di sezione di legname non adeguata.
In alcuni insediamenti Walser, soprattutto a fronte dell'abbondanza di legname di grandi dimensioni, la ricerca di generosi sporti di gronda sul frontone fa assistere alla realizzazione di carpenteria con la presenza di colmo e terzere.
Una curiosità, che può aiutare nella lettura del paesaggio, è che gli edifici di lavoro o residenziali "popolari", devono la loro larghezza alla dimensioni della carpenteria, ovvero all'altezza delle piante reperibili nel territorio considerando la porzione utile del fusto che poteva essere utilizzata per realizzare le catene. Si può infatti ritrovare una larghezza comune del corpo degli edifici che si attesta mediamente tra i cinque e i sette metri.

QUANTO DURA UN TETTO DI PIETRA?

Il tetto è fatto per durare secondo il buon senso che portava all'ottimizzazione degli forzi fisici, di tempo ed economici. Le culture che hanno sviluppato questo tipo di copertura, hanno infatti esercitato per secoli la loro pratica di realizzazione, che ha portato alla definizione di un sistema di copertura tecnologicamente eccellente e di cui esistono realizzazioni che superano i 7 secoli di età.

TUTTI I TETTI SONO UGUALI?

A seconda del tipo di edificio da coprire, dell'operatore che andava a realizzare l'opera e dal materiale disponibile in quello specifico sito, si possono trovare coperture "meglio o peggio realizzate": questo aspetto dipende spesso dal materiale utile disponibile, oltre che, ovviamente, dalla destinazione del manufatto.

COSA ACCOMUNA LE COPERTURE REALIZZATE CON ELEMENTI PIANI?

Il tetto in piode è accomunabile ad altre coperture realizzate con elementi con superficie assimilabile ad un piano (ad esempio *lose* o scandole di legno), tramite il principio di sovrapposizione dei due terzi; infatti si ritrova la regola per cui, prendendo come riferimento tre corsi di posa, il terzo corso (ovvero il superiore dei tre) copre il primo corso per un terzo della sua lunghezza. Questa proporzione fa si che la sovrapposizione degli elementi non permetta l'ingresso di acqua sotto il manto. Si possono trovare indici di sovrapposizione minori o superiori, ma la regola dei terzi può essere assunta come riferimento.

LA PIETRA PUÒ AGEVOLARE IL RUSCELLAMENTO DELLE ACQUE PIOVANE?

Il principio di allontanamento dell'acqua, sfruttando la struttura del materiale stesso, è un criterio fondamentale dei tetti di pietra.
Trattandosi essenzialmente della necessità di una cultura contadina di utilizzare i matertiali disponibili e, come già accennato , di realizzare i manti tramite l'ottimizzazione di questi, la conoscenza specifica della pietra era imprescindibile. Le piode, soprattuto le tipologie che caratterizzano le valli dell'Ossola, hanno generalmente una struttura specifica; immaginiamo di avere nelle mani un pezzo di legno, sarà immediatamente individuabile la venatura che caratterizza la struttura del pezzo osservato; lo stesso avviene con la pietra ed anche qui, dipende dalla stratificazione di materiale che l'ha creata ovvero dalla disposizione dei minerali costituenti secondo piani paralleli o subparalleli (carattere dal quale dipende la proprietà di **scistosità**, cioè l'attitudine del materiale ad essere ridotto in lastre. Questa tessitura, evidente in materiale come le "Beole" e più nascosta in materiale come i "Serizzi", caratterrizza il buon funzionamento delle coperture e dovrà essere sfruttata longitudinalmente al senso di discesa dell'acqua. L'acqua correrà lungo le "vene" della pietra gestendo al meglio eventuali ristagni o fenomeni di risalita.

COME SCELGO LA PIETRA?

Un tempo, le piode erano ottenute tramite la coltivazione (overo la cavagione) di piccole porzioni di roccia affioranti nei pressi del luogo del cantiere; per questo motivo non era insolito trovare manti realizzati con materiale molto differente benché a poca distanza gli uni dagli altri. Ad oggi la pietra migliore che si può scegliere è ancora quella che caratterizza il territorio, ed in val d'Ossola esitono due protagonisti: il "Serizzo" e la "Beola"; quest'ultima è il materiale che si presta maggiormente alla realizzazione delle coperture, grazie alla sua struttura scistosa che la rende facilmente lavorabile ed adatta a creare elementi dalla superficie regolare. Lo spessore delle piode, ricavate a spacco (le uniche che permettono la realizzazione di un tetto tradizionale), va dai 4 ai 7 cm.

Va inoltre considerato che nel ripasso e manutenzione di tetti esistenti, è buona prassi considerare l'uso misto di piode nuove e recuperate; tranne in casi di crolli rovinosi, le piode dei tetti risultano riutilizzabili, sebbene ciò avvienga solo raramente, sia per una scorretta informazione, sia per una mancanza di maestranze capaci di lavorare con il materiale in questione che ne

scoraggiano quindi il riuso; si sottolinea infine, che la posa di piode nuove di zecca e "fresche di cava", aumenta l'inquinamento data dall'energia grigia[1] inglobata nel materiale.

1. Energia grigia è la quantità di energia necessaria per produrre, trasportare fino al luogo di utilizzo, e smaltire un prodotto o un materiale o per assicurare un servizio.

COME SCELGO IL LEGNO?

Così come per la pietra, il legno che un tempo veniva utilizzato per la carpenteria dei tetti era quello reperibile in loco. In linea di principio, il materiale preferibile era legno duro, come il castagno, ma si ritrovano esempi in cui viene utilizzato anche l'abete in caso di scaristà di altre essenze; tutti ciò era comunque fattibile e ragionevole, in virtù di un attento processo di coltivazione, scelta, taglio e maturazione del legno, che restituiva un legname d'opera di elevata qualità.

Ad oggi, in Ossola, come in molti altri contesti territoriali, la filiera del legname è pressochè inestistente. Per una corretta scelta delle essenze di legname è necessario analizzare quanto presente nelle architetture esistenti; per le porzioni strutturali i materiali più adatti e diffusi sono larice e castagno, nonostante si ritrovino spesso anche elementi di rovere.
Ciò che è fondamentale, anche se difficile, è reperire un materiale adeguatamente essiccato; attualmente il periodo di segagione, il metodo e la quantità di stagionatura sono fattori scarsamente controllati, che quindi non garantiscono prestazioni adeguate al legname, soprattutto in termini di durata e resistenza agli attacchi di insetti. Per questo motivo, si consiglia di provvedere ad ordini di taglio con largo anticipo, raccomandando la cura nella selezione dei tronchi al proprio fornitore di fiducia.

IL TETTO DI PIETRA PESA TROPPO?

Nelle coperture oggetto di analisi, siamo di fronte ad un sistema che basa il funzionamento sull'insieme degli attriti che si generano; la minima pendenza con cui i corsi di piode vengono posati, definendo la geometria del tetto, favorisce la creazione di attriti significativi sia tra i vari livelli che tra questi e l'orditura secondaria della carpenteria.
Inoltre, le forze verticali determinate dal peso della copertura si scaricano sulle murature sottostanti per mezzo di capriate che trasmettono carico esclusivamente verticale: questo aspetto costituisce parte integrante del funzionamento statico delle murature.

In generale la tecnica di posa prevede una sovrapposizione delle piode per circa il 70 % della profodità, con una pendenza di posa di circa il 7% (dato variabile in funzione del tipo di materiale uti-

lizzato e del punto specifico del manto), ricreando così un profilo esterno lineare detto "randa". Con una tale disposizione degli elementi litici, il manto di copertura arriva ad avere un peso che per i tetti più compatti può raggiungere i 500 kg/m^2.

FACCIAMO IL TETTO PERCHÉ È BELLO O PERCHÉ SIA DUREVOLE?

Il tetto ossolano, come tutte le tecniche vernacolari, nasce su motivazioni prevalentemente tecniche, sebbene non prive di intenzionalità "estetiche"; molto spesso, al contrario, la lettura contemporanea, attribuendo a questi tetti quasi esclusivamente una funzione estetica, sia lontana dal comprenderne le ragioni fondative, finisce con il produrre, spesso, copie esteticamente brutte e funzionalmente inefficaci.

Adolf Loos scrisse nel 1913 "Regole per costruire in montagna"; la prima e la terza regola dovrebbero guidare chiunque decida di avere a che fare con l'architettura vernacolare (e non):

"Non costruire in modo pittoresco. Lascia questo effetto ai muri, alle montagne e al sole. L'uomo che si veste in modo pittoresco non è pittoresco, è un pagliaccio. Il contadino non si veste in modo pittoresco. Eppure lo è".

CON IL TETTO DI PIETRA POSSIAMO FARE SOLO "BAITE" DI MONTAGNA?

Il manto di pietra è incredibilmente duttile: il fatto che i singoli elementi che lo compongono siano poco inclinati, permette agli operatori di modificare le pendenze del manto, adattandosi alla presenza di espluvi, impluvi, geometrie anticlastiche, ecc., sempre con un unico materiale, senza pezzi speciali o di supporto, conferendo risultati estetici unici e non conseguibili con altre tecnologie; questa è già di per se la spiegazione del perchè la "baita" di montagna sia solo il più piccolo risutato che si può ottenere con questa tecnica costruttiva.

IL TETTO IN PIETRA PUO' ESSERE MODIFICATO UNA VOLTA REALIZZATO?

Come già anticipato, la tecnologia oggetto di analisi è estremamente duttile sia per le differenti forme che per le modifiche a cui essa si doveva prestare; si pensi alle consuete modalità di accrescimento dei tessuti dei nuclei abitati, con l'annessione continua di porzioni di fabbricati che, oltre a sfruttare porzioni murarie già realizzate e a servizio degli edifici esistenti, vedevano spes-

so la prosecuzione o la modifca delle coperture di questi ultimi, per continuare sugli ampliamenti. Si era di fronte ad un continuo lavoro di "cuci-scuci". Il manto si presta quindi facilmente a modifiche, estensioni, inserimento di varchi passanti per impianti o "ri-cucitura" in caso di rimozione degli stessi.

QUALE PUÒ ESSERE IL COSTO DI UN TETTO DI PIETRA?

La questione del costo delle coperture di pietra, è imprescindibilmente legato alla loro longevità, argomento attualmente controverso.
Risulta difficile all'uomo contemporaneo, abituato a edifici in rapida evoluzione, dismissione e abbandono, anche in conseguenza di un diverso radicamento degli abitanti nei confronti della casa, pensare e capire l'importanza che può avere la durabilità dell'architettura.
Manutenere e rinnovare, invece di dismettere, erano regole di vita nella civiltà alpina, a cui l'avvento di un presunto benessere ha fatto perdere di vista la capacità limitata della terra di fornirci materiali e risorse. Proprio questi concetti stavano dietro alla costruzione delle "dimore" e quindi dei tetti di pietra, che oltre ad avere il vantaggio di essere costruiti con un materiale quasi eterno, erano anche controllati e "curati" in modo da garantirne la trasmissione a chi sarebbe vissuto dopo.
Questi temi portano alla considerazione che oltre ad avere un costo iniziale, si parzialmente superiore, ma non inavvicinabile rispetto ad altre coperture, l'investimento se calcolato sugli anni di vita di questo tetto ed anche alla facilità manutentiva dello stesso, è del tutto ragionevole ed inferiore ai prezzi dell'edilizia corrente, che sul lungo termine perde la sfida con le coperture tradizionali.

QUANTA MANUTENZIONE RICHIEDE UN TETTO DI PIETRA?

La manutenzione, dipende dalla qualità di realizzazione: vi sono casi di edifici con tetti pristini e in condizioni ancora performanti, dopo oltre un secolo di abbandono, e casi in cui, dopo un decennio, tetti nuovi sono stati addirittura smontati e rifatti. Per un tetto antico i cicli manutentivi possono riguardare un quinquennio, per tetti contemporanei una manutenzione trentennale può essere più che valida. Il fattore territoriale è molto condizionante, immaginiamoci una baita immersa in un bosco di larici: in questo caso la manutenzione dovrà essere annuale. La manutenzione avviene sia dall'interno che dall'esterno del manto: in caso di posa di linea vita, è da preferire un sistema ad anelli rispetto al cavo sovracolmo, il cui fissaggio non è compatibile con il sistema di sormonto di colmo proprio del tetto di pietra.

UN SOTTOTETTO ISOLATO, È REALIZZABILE E COMPATIBILE CON QUESTO TIPO DI STRUTTURE?

La risposta è molto più articolata di quanto si possa pensare. In linea di massima si può dire che è sconsigliabile.

Si è parlato molto di manutenzione e conseguentemente di durata di questi tetti; nel momento in cui si realizza un volume isolato nel sottotetto, quanto detto risulta molto difficile, quindi indebolisce l'efficacia e la durabilità del sistema.

Un manto non osservabile dall'interno, svelerà molto tardi dei segni riconducibili ad esempio ad un'infiltrzione, e a quel punto potrebbe essere già in atto un fenomeno di marcescenza nella carpenteria primaria o secondaria. Uno dei punti più critici, ma anche strutturalmente fondamentale, è il nodo tra puntone e catena che nella maggior parte di sottotetti isolati risulta inaccessibile; un'altro tema è quello della ventilazione, che deve essere garantita, in quanto le piode "bevono" l'acqua che scorre su di esse e devono essere in grado di asciugarsi rapidemante per non compromettere il legname (questo è un aspetto critico per tetti antichi, ma è da tenere molto in considerazione anche nel caso di tetti contemporanei).

Oltre alle questioni tecnologiche, c'è poi il tema economico: se si paragona l'investimento che bisogna affrontare per realizzare un sottotetto isolato, proporzionalmente alla metratura dello stesso, si otterrà un prezzo €/mq poco ragionevole, che dovrebbe scoraggiarne la progettazione e la realizzazione, se non in casi in cui la sua presenza sia imprenscindibile per ragioni funzionali.

In tal caso, per esempio in una casa con superficie minima che deve ospitare più persone o funzioni, sarà fondamentale seguire alcune regole base, per non dover ricostruire il tetto dopo un periodo relativamente breve, ovvero:

- messa in opera di una quantità ben valutata di isolante, tale per cui il calore presente nell'ambiente del sottotetto non vada ad alterare lo scioglimento del manto nevoso superiore, che comincierebbe il suo processo di liquefazione a contatto con il manto, causando così pericolosi fenomeni di infiltrarione e di gelo tra le piode;
- realizzazione di "corridoio" manutentivo lungo la porzione più bassa di tetto per permettere la verifica del nodo tra catena e puntoni;
- realizzazione di adeguata ventilazione.

Una nota in proposito: talvolta viene proposta la realizzazione di tavolato su carpenteria portante anche nel caso di copertura "fredda". Nella maggior parte dei casi ciò avviene per non incorrere in problemi di gestione di un manto che potrebbe non essere correttamente realizzato; la presenza delle guaine infatti abbassa la soglia di attenzione dei posatori e in generale non consente che a lavori ultimati si possa verificare la corretta esecuzione del manto. In generale, dunque, piuttosto che fare un tetto in piode destinato ad essere isolato, potrebbe essere più corretto pensare ad altre tipologie di manti, idonei a essere coibentati.

QUALI SONO I RUOLI DEL POSATORE E DEL PROGETTISTA?

Per varie ragioni, le coperture di pietra sono uscite dalla quotidianità di utilizzo, per essere riproposte solo negli ultimi trent'anni, ma, come sopra accennato, ciò è avvenuto spesso principalmente per ragioni "estetiche". Per questo si assiste oggi a un abisso conoscitivo che caratterizza le attuali maestranze, i cui stessi padri avevano già disimparato le attenzioni e le malizie realizzative, necessarie per la delicata composizione di queste coperture. Sono questi i principali motivi che, unitamente a ragioni economiche, peraltro spesso fittizie, portano a preferire la realizzazione di manti con materiali e tecniche di posa non coerenti con il territorio, di chiaro impatto ambientale. Il ciclo di vita di tali tetti, per esempio dei così detti "inchiodati", è infatti decisamente inferiore rispetto a uno tradizionale.

Si parla principalmente di maestranze perché un tempo solo loro affrontavano la costruzione di queste coperture, mentre oggi entra in gioco anche la figura del progettista /direttore lavori.

La stretta collaborazione di queste figure è indispensabile come indispensabile è la loro personale formazione e sensibilità, senza le quali il risultato non può che essere che di dubbia validità.

Le maestranze devono essere in grando di realizzare il manufatto e di padroneggiare perfettamente i materiali e le tecniche di posa; i progettisti, oltre ad avere un'elevata conoscenza pratica di questi manufatti, devono essere in grado di indirizzare committenti e artigiani verso scelte compatibili con l'edificio e con l'intorno, controllandone la realizzazione pratica.

2.3.2 LA CARPENTERIA LIGNEA

GLI ELEMENTI DELLA CARPENTERIA DI BASE

QUALI SONO GLI ELEMENTI BASE DELLA CARPENTERIA NEL TETTO OSSOLANO?

I tre elementi base che compongono la carpenteria sono:

puntone, catena, radice.

I due puntoni **P**, ovvero i lati obliqui del triangolo, sono elementi strutturali che spingono le forze, create dal peso del tetto, verso la base, il nodo e infine il muro; sui puntoni sono fissate le tampiere **t**, ovvero correnti orizzontali facenti parte della carpenteria secondaria, su cui poggiano le piode.
La catena **C**, ovvero la base del triangolo, ha funzione statica di tirante, trasformando così le spinte da diagonali a verticali e scaricando poi le forze sulla radice **R**.
La radice è l'elemento orizzontale poggiante sull'elemento murario e su cui poggiano le capriate. La sua funzione è di distribuzione del peso sui muri sottostanti.
Tra le capriate si trovano i controventi, elementi fondamentali per la stabilità, che lavorano tra radice e puntone.

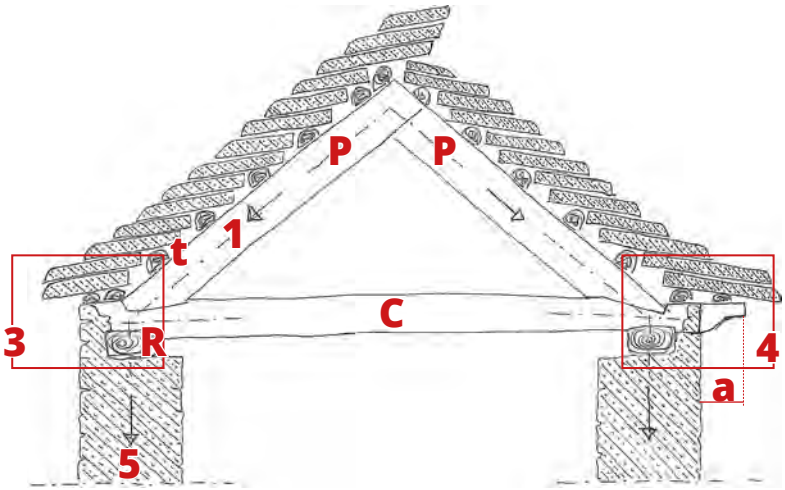


Figura 1
Capriata semplice con gronda minima e semplice.
1 - Assi baricentrici con indicazione dell'andamento delle forze; **2** - Tampiere (t), elementi di appoggio per le piode; **3** - Esempio di gronda minima, tipica di strutture di lavoro; si nota l'esempio di tamponamento; **4** - Esempio di gronda semplice, in cui la testa di catena è leggermente protesa (a) oltre il filo di facciata; **5** - La capriata conferisce carico verticale alle murature sottostanti, andando quindi a stabilizzarle e a legarle.

Figura 2
Carpenteria di tetto tipico ossolano. Si evidenzia l'assenza di trave di colmo. Veglio - Montecrestese (VB). Arch. Scotton

Figura 3
Dettaglio del nodo di capriata. Si nota la catena con fresatura per la posa a filo delle tavole di pavimento. Casa Gatti - Varzo. Arch. Scotton/Saegesser

Figura 4
Vecchia carpenteria. Si nota il sistema di fissaggio delle tampiere con "chiodi" lignei e la prosecuzione delle stesse sul muro del frontone.

IL MANTO DEL TETTO IN PIODE HA UN'UNICA PENDENZA?

No, è corretto prevedere una pendenza di posa diversa per le piode di partenza e per le piode di colmo; nonostante la pendenza di posa all'interno della falda venga mantenuta omogenea, è possibile realizzare anche forme anticlastiche[1].

1. Forma anticlastica:

LA CARPENTERIA PER GRONDA SU *ASTRIC*

Figura 5
Astric e frontone aperto.
Fraz. Veglio - Montecrestese (VB)

Figura 6
Vista interna di *Astric*. Dettaglio carpenteria.
Fraz. Veglio - Montecrestese (VB)

Figura 7
Nodo capriata innestata su *Astric*
1 - Gronda realizzata con tripla tampiera e montante un canale pluviale con cicogna; **2** - Spesso la porzione esterna della catena è ridotta per favorire l'aumento di pendenza delle piode di partenza; **3** - A ogni capriata, nelle strutture più alte, corrisponde un pilastro di legno; **4** - Elementi di pietra con funzione di ripartizione del carico e di prevenzione della marciscenza per straventi.

IL TETTO PUÒ SCARICARE IL SUO PESO SOLO SU DI UN MURO PIENO?

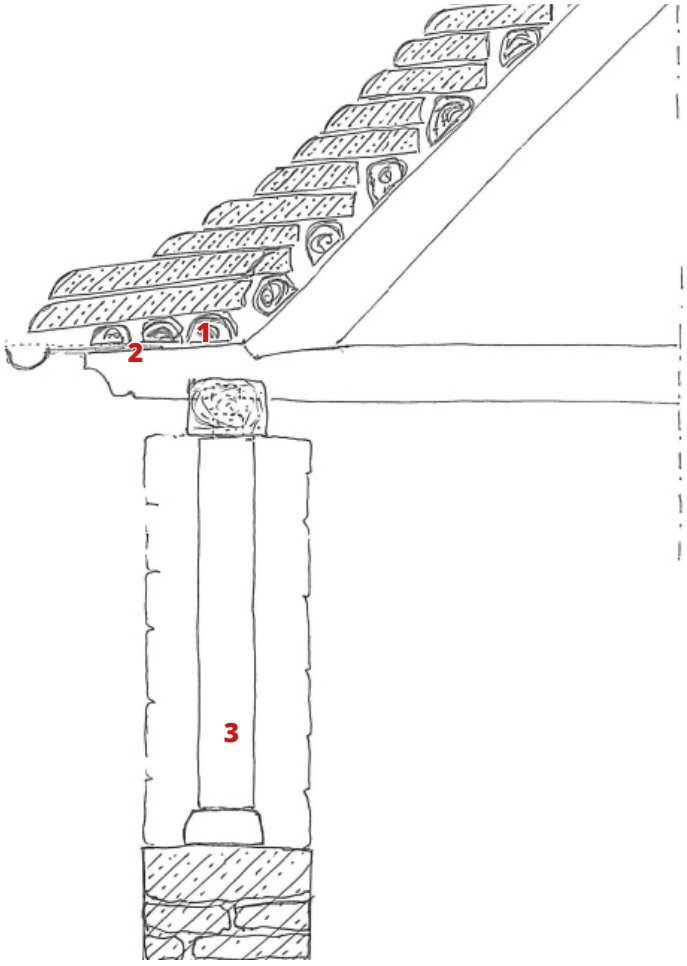
No, nel caso della presenza di un *Astric*, la carpenteria può scaricare su pilastri di legno, a loro volta poggianti sulla muratura sottostante. Al di sotto dei pilasti, spesso, si trova una pietra, per ripartire maggiormente il peso sulla muratura sottostante, ma soprattutto per garantire l'assenza di acqua sugli elementi lignei.

COS'È L'*ASTRIC*?

L'*Astric* è un termine dialettale che indica un fienile, essiccatoi, che presenta ampie aperture utili per questo tipo di ambiente.

IN QUESTO CASO, SERVE UN MONTANTE PER OGNI CATENA O MENSOLA?

Si, questa è la soluzione ideale per scaricare il peso verso terra.



IL LOGGIATO CON MENSOLA DATA DA CATENA LUNGA E PASSAFUORI

CHE COS'È UN *PASSAFUORI?*

Un *passafuori* **Pas** un elemento di raccordo tra parti di carpenteria che ha la funzione di estendere la falda del tetto oltre al filo di facciata. A questo, di norma, corrisponde un cambio di pendenza del manto. Esso può essere minimo, oppure interessare l'intero sviluppo di una falda.

CI SONO *PASSAFUORI* SOLO IN CORRISPONDENZA DELLE CAPRIATE?

Dipende: i *passafuori* più piccoli possono essere accostati alla capriata, soprattutto se si sovrappongono alla radice; mentre quelli di lunghezza più importante, cioè che si estendono all'interno della falda, oltra la posizione della radice, sono necessariamente coincidenti con la capriata.

A COSA SERVE IL *ROMPITRATTA?*

Il *rompitratta* **Ro** o *saetta* **S** ha il compito di diminuire la flessione dell'elemento che supporta, quando questo è di luce significativa.

Figura 8
Loggia con saette e passafuori a tutta falda.

Figura 9
Gronda aggettante con saette. Trontano (VB). Arch. Scotton

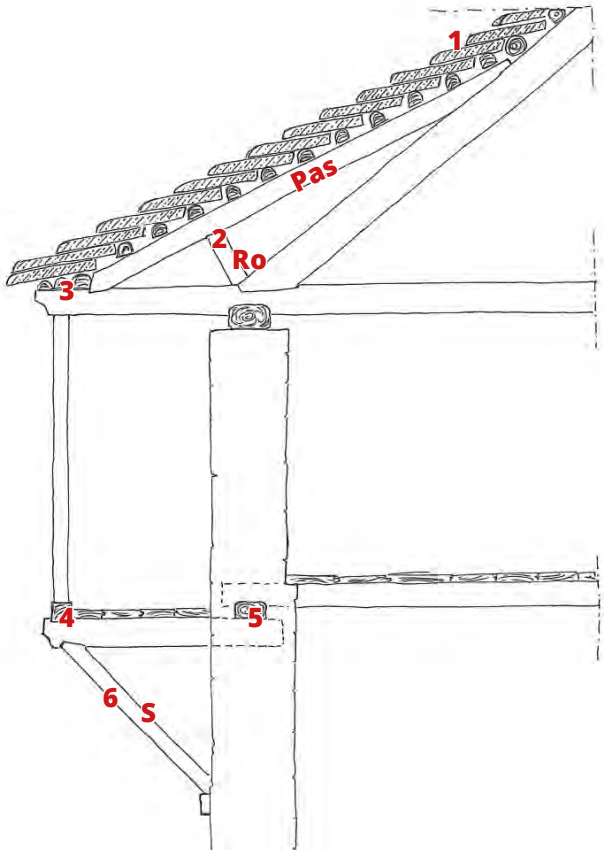


Figura 10
Capriata con catena aggettante e passafuori.
1 - Cambio della pendenza del manto; **2** - Rompitratta di aiuto al passafuori; **3** - Ogni singola catena ha un montante loggia dedicato; **4** - Una piattabanda distribuisce il carico alle mensole; **5** - Radice; **6** - La saetta riconduce il carico al muro portante; **7** - Eventuale mensola litica di rafforzamento al punto d'innesto della saetta.

IL LOGGIATO CON MENSOLA SOTTOPOSTA A CATENA

Figura 11
Loggia con mensole sottoposte.
Veglio-Montecrestese (VB)

Figura 12
Loggiato con mensole sottoposte.
Casa Gatti-Varzo. Arch. Scotton/ Saegesser

IN QUALI ALTRI MODI SI PUÒ REALIZZARE IL PROLUNGAMENTO DELLA FALDA PER COSTRUIRE UN LOGGIATO?

Può essere realizzato con mensola lignea sottoposta a catena.

LA MENSOLA SOTTOPOSTA ALLA CARPENTERIA PRIMARIA, È SEMPRE IN DIRETTO CONTATTO CON LA RADICE?

No, talvolta può essere completamente in muratura; ciò può accadere quando si prosegue sulle gronde con la stessa pendenza della falda del tetto.

A QUALE SCOPO, IN ALCUNI LOGGIATI, SI TROVA UNA MENSOLA SOTTOPOSTA ALLA STRUTTURA DEL SOLAIO INTERNO?

Ciò avviene nel caso in cui le travi lignee del solaio interno non siano reperibili con una lunghezza che possa soddisfare l'aggetto del loggiato che si vuole raggiungere. Nella migliore delle soluzioni, riscontriamo la presenza di una trave orizzontale nel muro (dormiente), che lega longitudinalmente e controbilancia l'azione delle mensole.

SI RITROVA ANCHE IN ALTRI PUNTI, OLTRE A QUELLA INDICATA NELLO SCHEMA DI LOGGIA, LA PRESENZA DELLA SAETTA?

Sì, le saette possono essere inserite sotto le mensole sottoposte alla radice, o coincidenti con estensione di catena, per realizzare un aggetto di gronda significativo anche in assenza di loggiato.

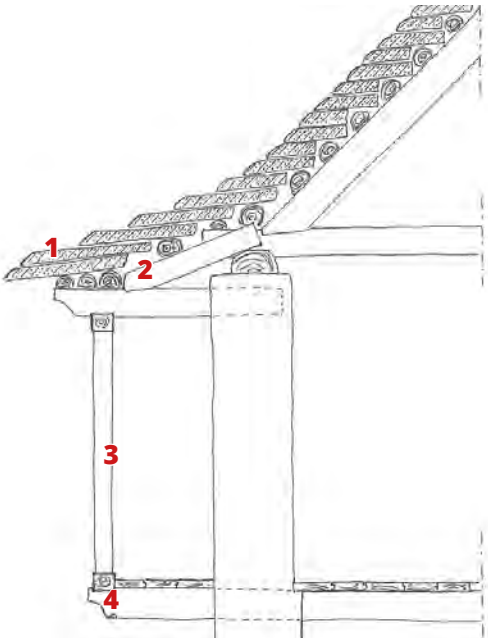


Figura 13
Capriata semplice a gronda con mensole sottoposte a radice.
1 - Per favorire il rilascio dell'acqua spesso i primi corsi hanno maggiore inclinazione; **2** - Elemento di raccordo della pendenza; **3** - Montante su piattabanda inferiore e superiore, ideale in caso di sfalsamento in pianta delle mensole ai diversi piani; **4** - Mensola constituita dall'estensione della trave del solaio.

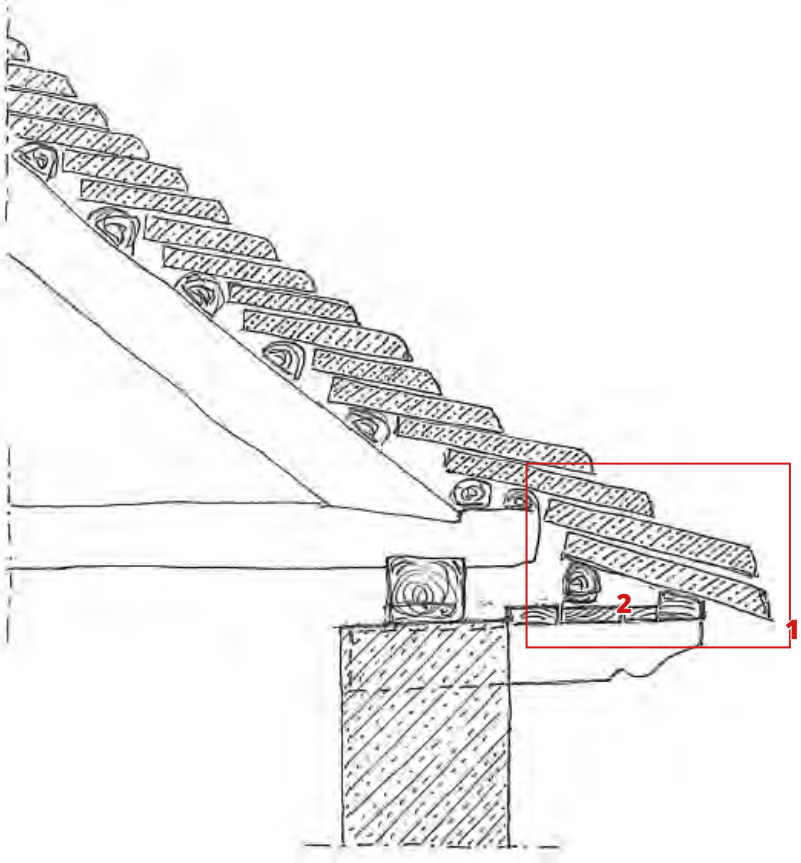


Figura 14
Gronda con mensola sottoposta a radice.
1 - Si aumenta la pendenza nella posa delle piode per agevolare il rilascio delle acque; **2** - Quando la gronda è realizzata in tavoloni, la prima tavola è sagomata per favorire la posa del primo corso secondo la pedenza voluta.

Figura 15
Gronda alla Romana.
Oratorio Veglio - Montecrestese (VB)

Figura 16
Gronda alla Romana. Piazza Mercato - Domodossola (VB)

2.3.3 LE GRONDE

LE GRONDE SEMPLICI E CON MENSOLA SOTTOPOSTA

Figura 17
Gronda con mensola sottoposta. Partenza posa piode.
Veglio - Montecrestese (VB). Arch. Scotton

Figura 18
Aggetto di gronda. Piode di partenza e corsi superiori.
Veglio - Montecrestese (VB). Arch. Scotton

CHE AGGETTO POSSONO AVERE LE GRONDE?

Si può passare da un aggetto quasi nullo o minimo, caratterizzato da una porzione delle ultime due piode, che può aggirarsi intorno ai 15 cm, fino ad aggetti profondi, caratterizzati da loggiati che si spingono fino ai 3 metri.

E' NECESSARIO INSERIRE DEGLI ELEMENTI AGGIUNTIVI ALLA CAPRIATA PER REALIZZARE LA GRONDA SEMPLICE?

No, la gronda semplice è caratterizzata da una catena facente parte della carpenteria primaria del tetto, che si estende oltre alla muratura perimetrale, su cui poggiano le piode di partenza che avranno una profondità maggiore rispetto a quelle utilizzate per le gronde minime, riscontrabili in strutture povere o di lavoro.

PERCHÉ LE PIODE DI GRONDA SONO PIÙ LUNGHE?

Le piode di gronda sono la partenza del manto e la loro lunghezza lunghezza è maggiore, in particolare quella della seconda pioda, perché devono garantire la chiusura tra le fughe del primo corso che risponde alla geometria della carpenteria sottostante; esse devono essere particolarmente stabili e posate al meglio per rilasciare l'acqua di falda, di conseguenza saranno sempre un po' più inclinate delle piode di falda.

QUAL È IL METODO PIÙ DIFFUSO PER ESTENDERE LA GRONDA?

Il metodo più diffuso è quello che prevede di sottoporre una mensola alla radice della carpenteria del tetto; in questo modo verrà bilanciato dal peso del tetto principale quello proveniente dall'aggetto di gronda.

SI POSSONO REALIZZARE SOLO GRONDE CON CARPENTERIA IN LEGNO?

No, possono essere realizzate anche utilizzando una mensola in pietra, o delle lastre in pietra poggianti a loro volta su mensole anch'esse costituite da elementi litici. Queste gronde sono dette "alla romana".

COME SONO POSATE LE PRIME PIODE DI GRONDA NELLA TIPOLOGIA ALLA ROMANA?

Rispetto alle gronde con carpenteria in legno, nella gronda alla romana, le piode di partenza sono fissate agli elementi inferiori con della calce, o in parte verso il lato esterno, o per intero.

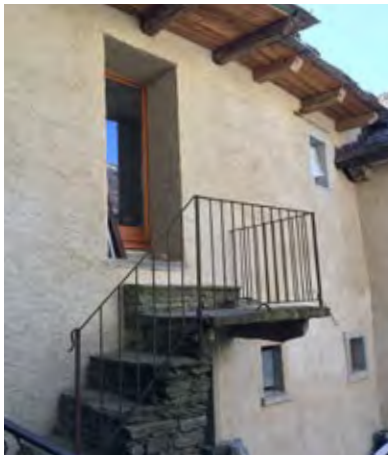


Figura 19
Vista inferiore di nuovi aggetti di gronda con mensole sottoposte. Trontano (VB). Arch. Scotton

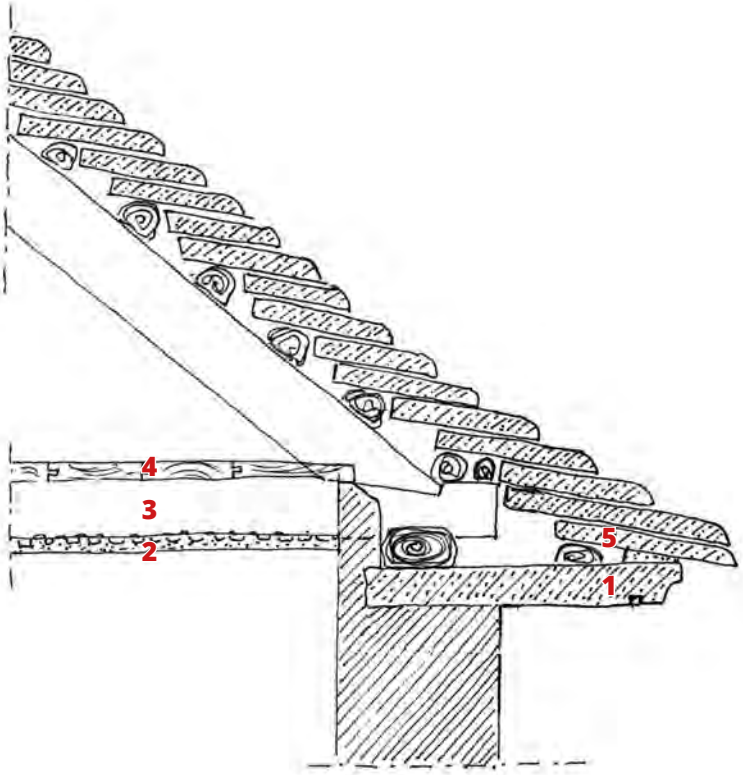


Figura 20
Esempio di gronda alla Romana in edificio.
1 - Sopra la pietra aggettante di gronda si possono trovare mensole di legno anch'esse incastrate sotto radice; **2** - Listelli e cantinelle più intonaco; **3** - Camera d'aria in corrispondenza della catena; **4** - Tavolato, pavimento del sottotetto; **5** - Sulle gronde alla romana la prima pioda può essere fissata del tutto o in parte con malta.

I CANALI DI GRONDA

DI CHE MATERIALI POSSONO ESSERE REALIZZATI I SUPPORTI DEI CANALI DI GRONDA?

Possono essere di metallo, legno o pietra.

COME SI CONNETTE UN PORTA CANALE IN LEGNO ALLA CARPENTERIA?

Il porta canale può essere incastrato tra radice e orditura secondaria, oppure connesso lateralmente alla capriata con un piolo ligneo o un chiodo metallico.

QUAL È IL PORTA CANALE UTILIZZATO NELLA GRONDA ALLA ROMANA?

Nella gronda alla romana è utilizzato un porta canale metallico, anche se esistono rari casi di elementi in pietra.

Figura 21
Canali di gronda: fissaggio dei supporti dei canali prima della posa del primo corso di lastre del manto (cfr. Figura 22A).

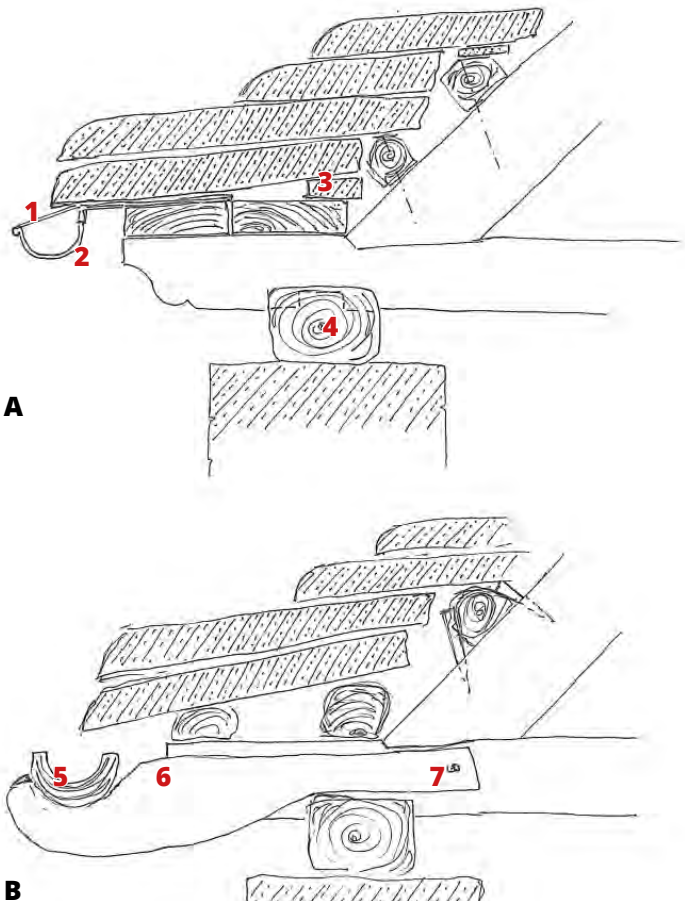


Figura 22
Canali di gronda.
1 - Cicogna; **2** - Portacanale; **3** - Zeppatura di pietra; **4** - Incastro a dente; **5** - Canale di gronda in legno; **6** - Portacanale in legno; **7** - Piolo in legno o chiodo metallico.

2.3.4 GLI ELEMENTI COSTITUTIVI DEL MANTO

I MANTI DI COPERTURA A CORSO SINGOLO, DOPPIO, TRIPLO E MANTO COMBINATO

Figura 23
Manto monocorso.
Balmella - Varzo (VB). Arch. Scotton

Figura 24
Manto triplo corso.
Veglio - Montecrestese (VB). Arch. Scotton

PER QUALE MOTIVO ESISTONO DIVERSI TIPI DI MANTO DI COPERTURA?

Le diverse tipologie di manti si riscontrano per l'utilizzo di materiali lapidei e di carpenteria differenti.

ESISTE UN SOLA PENDENZA DI MANTO?

No, in base al legname di carpenteria, alla dimensione delle piode e quindi al reperimento del materiale, si hanno tetti caratterizzati da pendenze diverse. La pendenza è quindi una questione essenzialmente geografica e di ottimizzazione del materiale.

L'INCLINAZIONE DELLE PIODE DA COSA DIPENDE?

L'inclinazione viene stabilita, sempre con riguardo agli attriti necessari al perdurare della pioda in posa, in base alla scistosità del materiale (pietra con direzione chiara necessita di meno pendenza, pietra con grana più grossolana necessità di maggiore pendenza).

COME SI CAPISCE SE UN TETTO È MONO/BI/TRIPLO CORSO?

"Leggendo" il numero di corsi tra le tampiere. Ciò si legge solo dall'interno (o dal prospetto di frontone quando le tampiere sono estese oltre la muratura).

QUALE MANTO PESA DI PIÙ?

La differenza di peso è data principalmente dall'indice di sovrapposizione degli elementi, quindi non vi è una tipologia in assoluto più pesante delle altre.

QUAL È LA TIPOLOGIA DI MANTO PIÙ DIFFUSA?

Da cent'anni a questa parte, la tipologia commercialmente più diffusa è quella del tetto a doppio corso.

QUAL È IL TIPO PIÙ DIFFICILE DA POSARE?

Il tetto combinato richiede moltissima attenzione, esperienza e tempo di posa; è infatti ormai desueta questa tipologia di manto, propria della civiltà rurale che era in grado di utilizzare pietre molto diverse tra loro allo scopo di realizzare una copertura.

COME SI MISURA LA SOVRAPPOSIZIONE DELLE PIODE?

L'indice di sovrapposizione, o indice di copertura, fa riferimento al principio della triplice sovrapposizione alla base delle coperture di elementi piani; si misura prendendo come riferimento tre corsi di posa, e verificando quanto il terzo corso copre la fuga del primo corso.

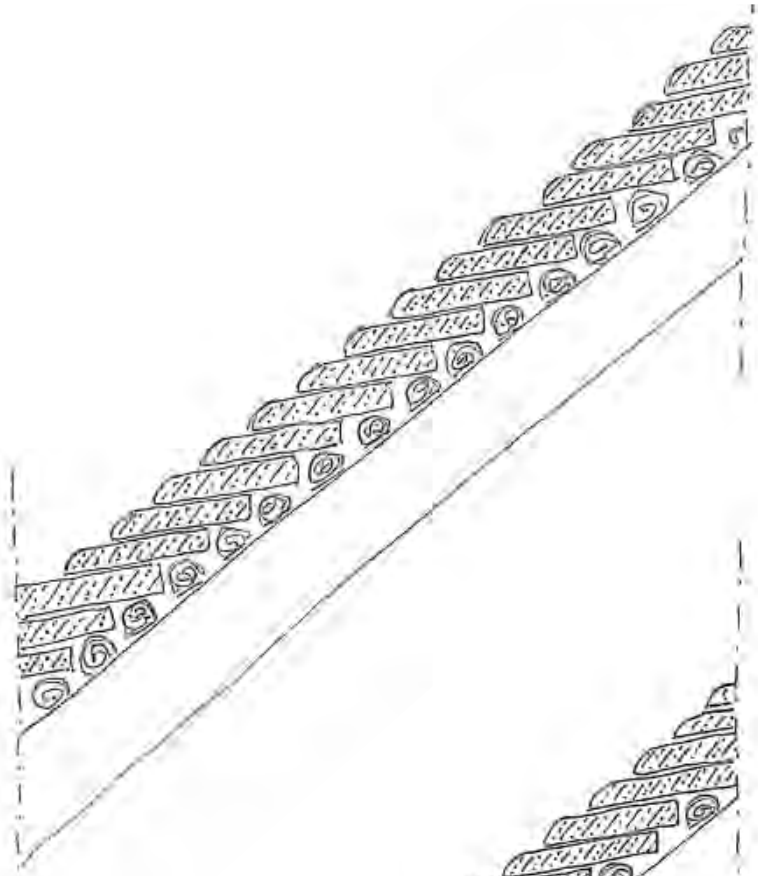


Figura 25
Manto monocorso.

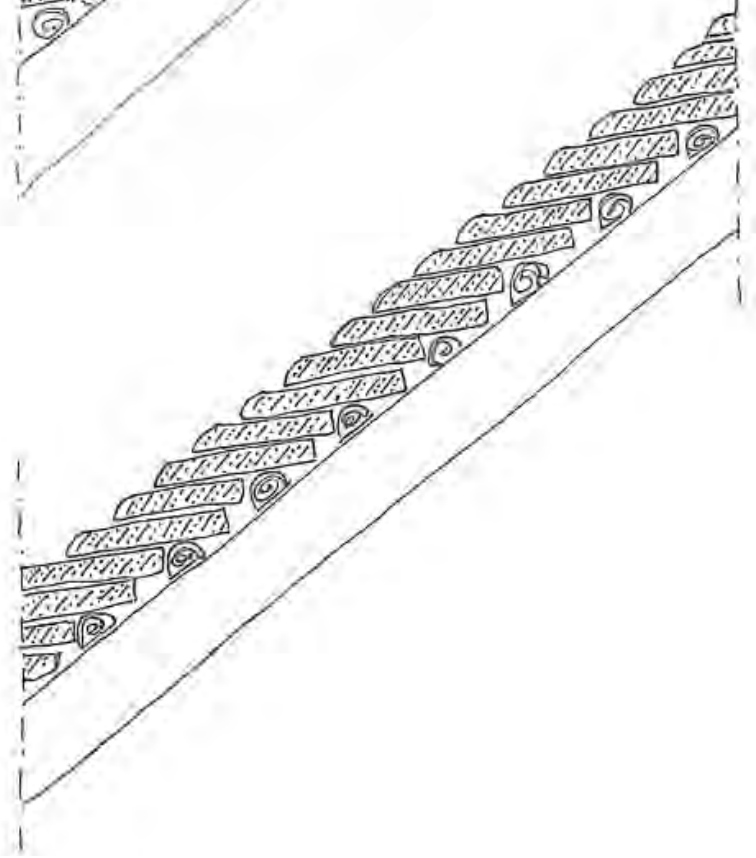


Figura 26
Manto a doppio corso.

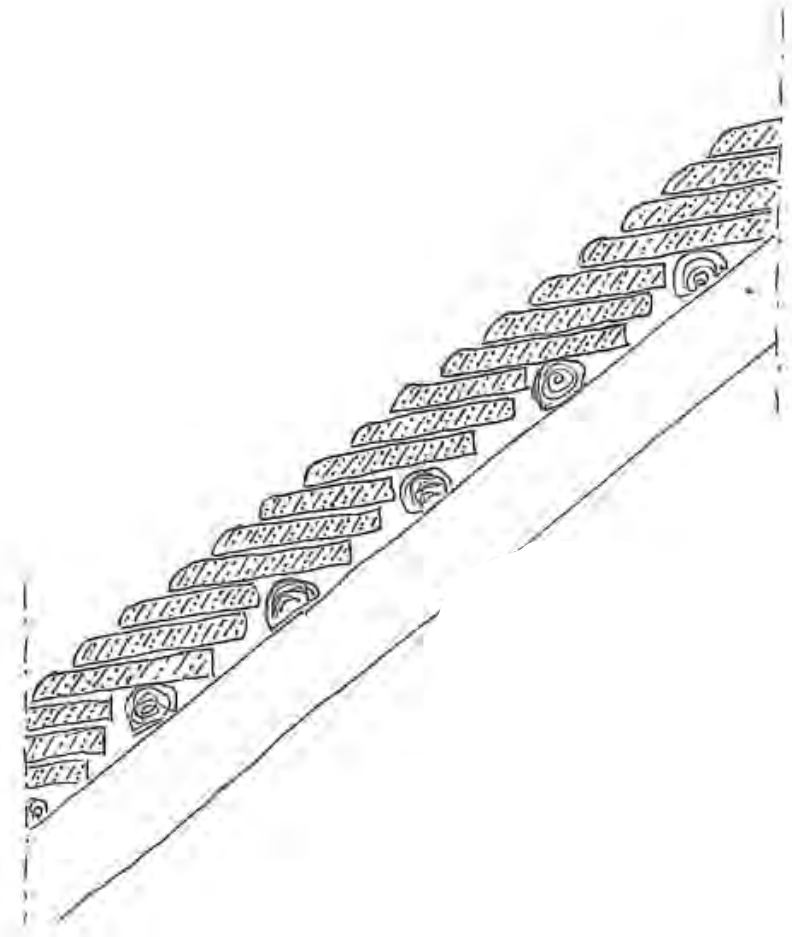


Figura 27
Manto a triplo corso.

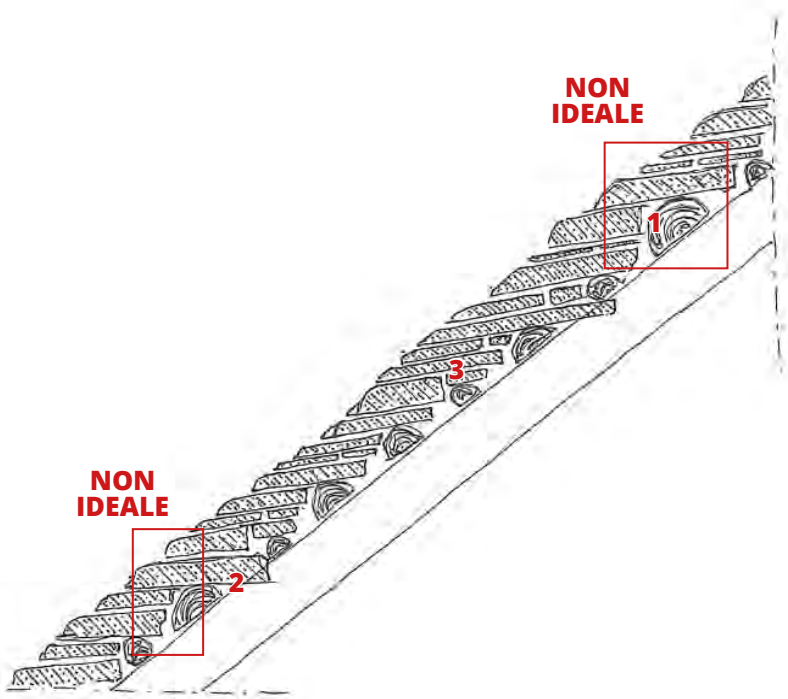


Figura 28
Manto combinato.
1 - Legname per orditura secondaria posato preventivamente al manto in pietra e di varia geometria; **2** - Alcune piode sono volutamente protese all'interno del manto per consentire un incremento di stabilità dello stesso; **3** - Zeppature su orditura secondaria per la continua conferma dei piani di posa.

IL COLMO

Figura 29
Colmo. Cappella di Abramo - Sacro Monte di Ghiffa. Arch. Scotton.

IL COLMO HA LA STESSA PENDENZA DEL RESTO DEL MANTO?

Il colmo si caratterizza per una diminuzione della pendenza delle piode, con lo scopo di favorire la stabilità dei corsi. Il colmo è infatti uno dei punti più fragili e delicati di queste coperture. La leggera diminuzione della pendenza di posa e l'utilizzo di materiale a sormonto delle due falde, di grande dimensione, conferisce stabilità al sistema del colmo.

IL COLMO È SEMPRE CHIUSO TRAMITE DELLA MALTA?

No, la malta viene introdotta quando il materiale lapideo non è di dimensioni sufficienti per garantire una buona stabilità e un'adeguata copertura alla fuga sommitale.

Figura 30
Rompitratta su capriate. Casa Gatti-Varzo. Arch. Scotton/Saegesser.

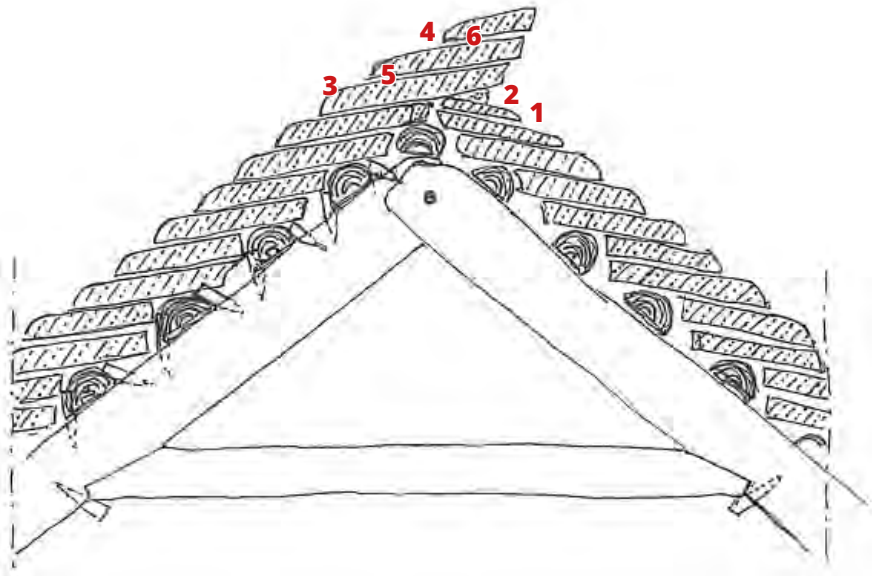


Figura 31
Colmo.
1 - Zeppatura colmo; **2** - Eventuale giunto in malta di calce dolce; **3** - Pioda di sormonto (meglio se spessa); **4** - Diminuzione della pendenza, posa delle piode per conferire maggiore stabilità al colmo; **5** - Penultima pioda coincidente, se presente, con pettine di finitura; **6** - Ultimo corso per chiusura fughe.

I PARANEVE

SONO SEMPRE NECESSARI I PARANEVE NEI TETTI IN PIODE?

No, la giacitura della piode offre già una superficie sufficientemente pianta e scabra, che blocca lo scorrimento a valle della neve. I paraneve solitamente si ritrovano in località caratterizzate da elevate nevicate invernali e da pendenze importanti delle coperture. Spesso vengono posati paraneve nei centri con elevata densità di popolazione, anche se non necessari, per evitare possibili danni a persone o cose.

CON CHE ELEMENTI POSSONO ESSERE REALIZZATI I PARANEVE DI PIETRA?

Esistono localmente due tipi di paraneve in pietra, ovvero:

- **tipologia ossolana,** caratterizzata dalla presenza nel manto di piode molto profonde, che proseguono oltre la linea della cimosa (la cimosa è la linea che descrive il profilo del manto, leggibile tramite il prospetto della gronda su frontone) e che quindi offrono più attriti al manto nevoso.
- **tipologia valsesiana,** caratterizzata da piode poste perpendicolarmente al manto e fissate alla carpenteria tramite elementi metallici, che quindi bloccano fisicamente lo scorrimento della neve.

COME VENGONO ANCORATI I PARANEVE A PALI ORIZZONTALI?

Possono essere ancorati alla capriata con elementi metallici rigidi o con elementi metallici flessibili (cavi). Anticamente i pali venivano fissati tramite elementi simili a porta canali in legno che entravano nel manto e venivano fissati alla carpenteria primaria.

Figura 33
Piode paraneve. Casa Brencio - Masera (VB).

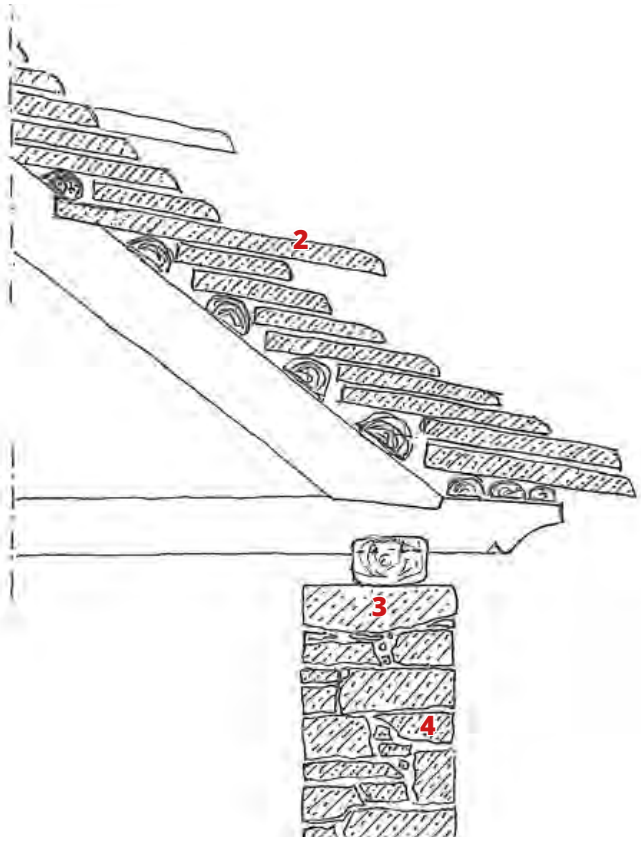


Figura 33
Paraneve con piode aggettanti.
1 - Paraneve in vista laterale; **2** - Paraneve in sezione; **3** - Elemento di ripartizione del carico tra radice e trama muraria portante; **4** - Esempio di sezione di trama muraria portante in pietrame.

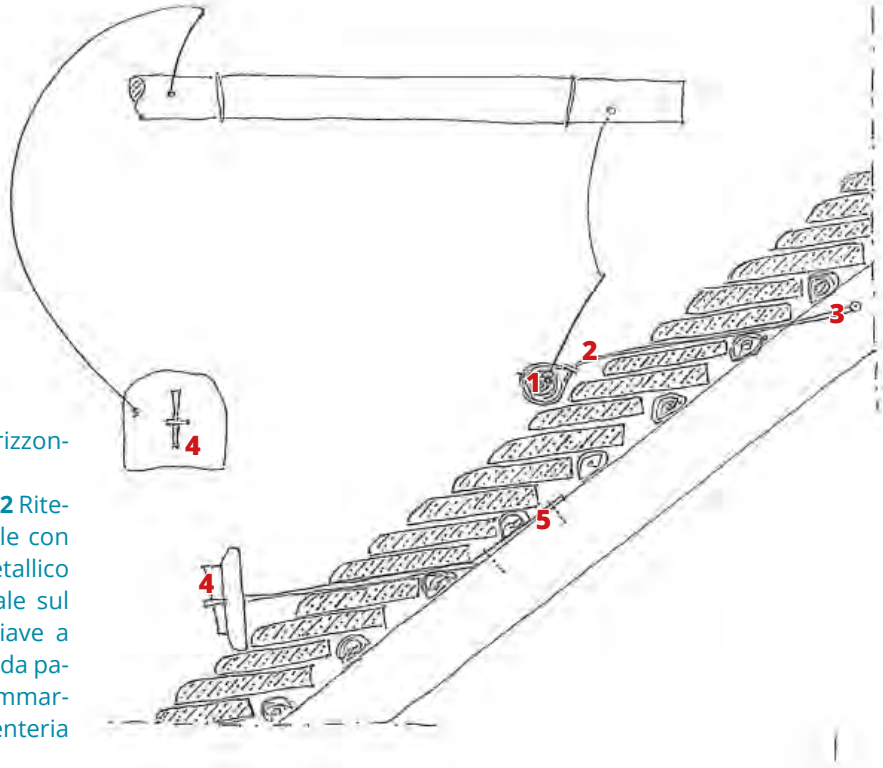


Figura 34
Paraneve: tipologie a palo orizzontale e valsesiana.
1 - Paraneve a palo di legno; **2** Ritegno del paraneve realizzabile con profilo rigido o con cavo metallico (inox); **3** - Ammarro puntuale sul fianco del puntone; **4** - Chiave a cuneo per fissaggio della pioda paraneve alla valsesiana; **5** - Ammarro su estradosso della carpenteria portante.

IL VARCO PER L'ISPEZIONE DEL TETTO

QUAL È IL PRINCIPIO DI REALIZZAZIONE DI UN VARCO PER L'ISPEZIONE DEL TETTO?

La realizzazione del varco per accedere all'esterno del tetto da sotto la copertura, è analoga al principio di posa che regola tutto il manto: fra la pioda alla base e quella in sommità del varco, l'omissione dei corsi di piode viene sopperita dalla profondità dei due elementi litici sopra citati, che tramite la regola di sovrapposizione, garantiscono il deflusso delle acque. Talvolta i passaggi per l'ispezione risultano tamponati e apribili in caso di manutenzione, soprattutto quando la sovrapposizione tra pioda superiore e di base è minima.

Figura 35
Vista laterale di un varco di passaggio per ispezione esterna del manto. Cappella di Abramo - Sacro Monte di Ghiffa. Arch. Scotton.

COS'HA A CHE FARE QUESTO TIPO DI ABBAINO CON LA MANUTENZIONE DEL TETTO?

Questo tipo di abbaino viene realizzato per creare un passaggio diretto tra sottotetto ed esterno della copertura, indispensabile per ragioni manutentive, soprattutto in caso di tetti difficilmente raggiungibili con scale o strutture temporanee da terra.
La manutenzione del tetto in piode è ciò che permette a queste strutture una durata di vita compatibile con il corretto sfruttamento dei materiali utilizzati. Il controllo periodico dei tetti in piode dipende dalla qualità con cui essi sono realizzati: si può andare da una manutenzione periodica triennale, per tetti antichi realizzati con geometrie complesse, a una manutenzione cinquantennale, per tetti posati con eccellente attenzione e materiale di grande formato e regolarità.

Figura 36
Vista frontale di varco di passaggio per ispezione esterna del manto. Cappella di Abramo - Sacro Monte di Ghiffa. Arch. Scotton.

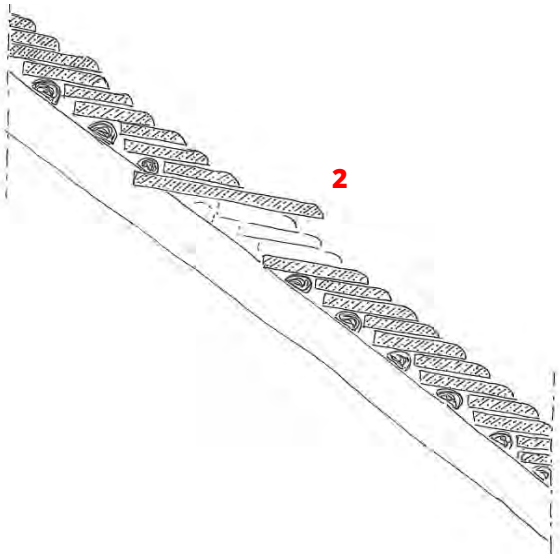


Figura 37
Varco per ispezione del tetto.
1 - Pioda di copertura; **2** - Pioda davanzale (previene gli straventi al meglio se ben protesa all'interno del manto di copertura).

L'ABBAINO

Figura 38
Abbaino. Dettaglio appoggio muratura su carpenteria.

Figura 39
Abbaino. Posizione tra capriate.

COSA DISTINGUE UN ABBAINO DA UN VARCO PER ISPEZIONE?

I due differiscono per la presenza nell'abbaino classico di due setti murari che creano un volume, sopraelevando una porzione di manto; frontalmente, l'abbaino, può presentare una finestra; in caso di gronda vicina al livello del terreno, raggiungibile con una scala, anche una porta per accedere al sottotetto.

DOVE SCARICANO IL LORO PESO GLI ELEMENTI MURARI DELL'ABBAINO?

I muri laterali dell'abbaino possono poggiare o su dei muri che proseguono fino al livello del solaio del sottotetto, oppure sulle due capriate a cui viene interposto l'elemento.

LA CARPENTERIA PRIMARIA DEL TETTO VIENE REALIZZATA DIFFERENTEMENTE IN PRESENZA DI UN ABBAINO?

No, come logico verranno solo interrotte le tampiere (correnti porta piode) nella porzione corrispondente all'abbaino.

LE PIODE DEL MANTO SU CUI VIENE REALIZZATO L'ABBAINO, SONO SEMPRE POSTE AL DI SOTTO DELLA MURATURA DI QUEST'ULTIMO?

Si possono trovare tre casistiche:

- piode completamente sotto i muricci;
- piode sotto fino a metà muro;
- piode solo fino a filo esterno del muro.

Ciò che accomuna queste tre tipologie è la corretta selezione, da parte del posatore, di materiale per quanto possibile concavo, che permetta di organizzare una posa che allontani il più possibile l'acqua piovana.

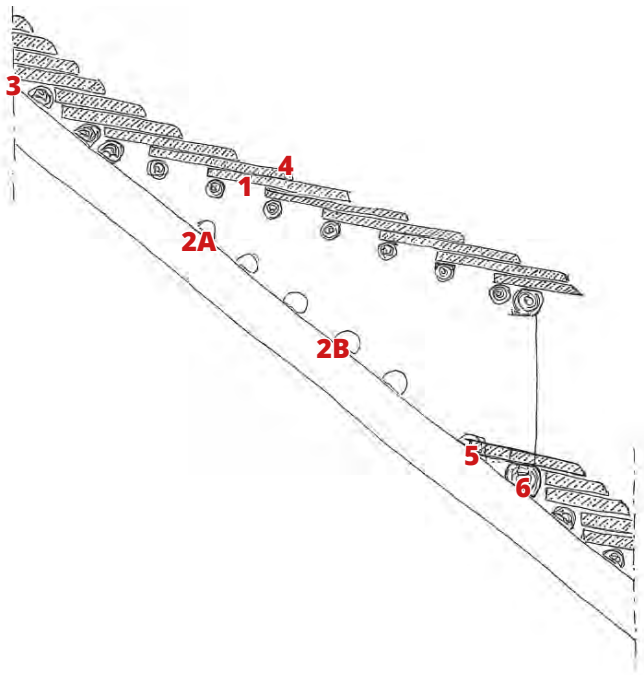
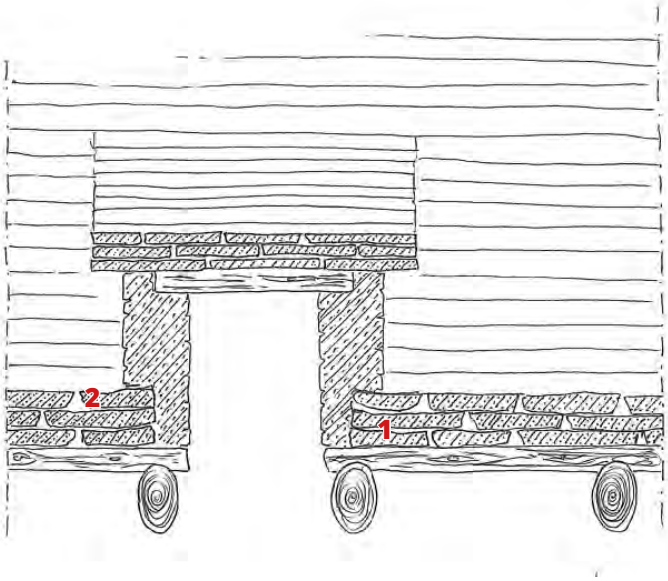


Figura 40
Abbaino, vista laterale.
1 - Data la ridotta inclinazione, spesso il manto di copertura è a corso singolo (1 corso di piode = 1 tampiera); **2** - Teste di tampiera riferite al manto retrostante, passanti (**2A**) o protese al centro della muratura (**2B**); **3** - Pioda davanzale; **4** - Tampiera per l'innesto della muratura.



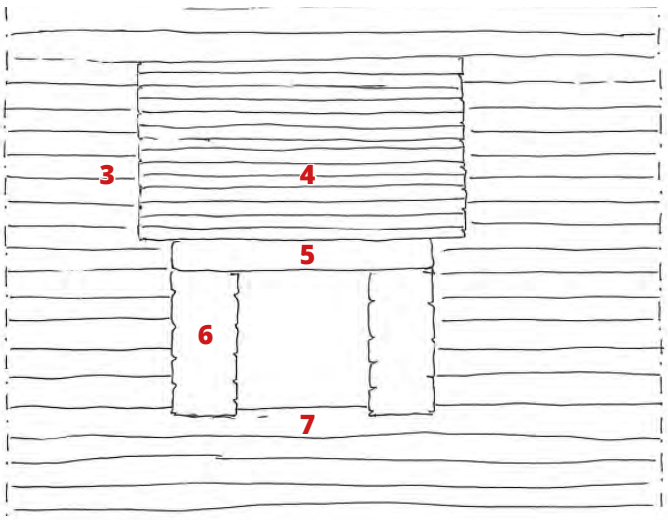


Figura 41
Abbaino, sezione e vista frontale.
1 - Talvolta le tampiere o le piode possono essere passanti sino a filo interno muro; **2** - Elementi litici concavi per l'allontanamento delle acque; **3** - Manto a corso doppio; **4** - Manto a corso singolo; **5** - Architrave in legno; **6** - Muratura; **7** - Pioda davanzale.

2.3.5 ESEMPI DI NODI RICORRENTI

IL RACCORDO DEL MANTO DI COPERTURA CON LA PARETE VERTICALE

IN ASSENZA DI LATTONERIA, COME SI RENDE LA PORZIONE DI TETTO, NEL PUNTO IN CUI INCONTRA UN MURO VERTICALE, RESISTENTE ALLA PRESENZA DELL'ACQUA?

Il principio è lo stesso che si riscontra in presenza di abbaini e di comignoli, ovvero tramite la posa leggermente inclinata delle piode aderenti al muro, che devono essere possibilmente scelte leggermente concave: ciò permette di convogliare le acque lontano dal muro. Infine il giunto tra manto e struttura verticale viene chiuso con della malta. In caso di presenza di lattoneria, la posa degli elementi lapidei è planare al resto del manto, ed è anche importante che questi si mantengano staccati dal muro di circa 3 cm, per permettere la pulizia del canale che si viene naturalmente a creare.

Figura 42
Manto in accostamento a struttura muraria di comignolo.

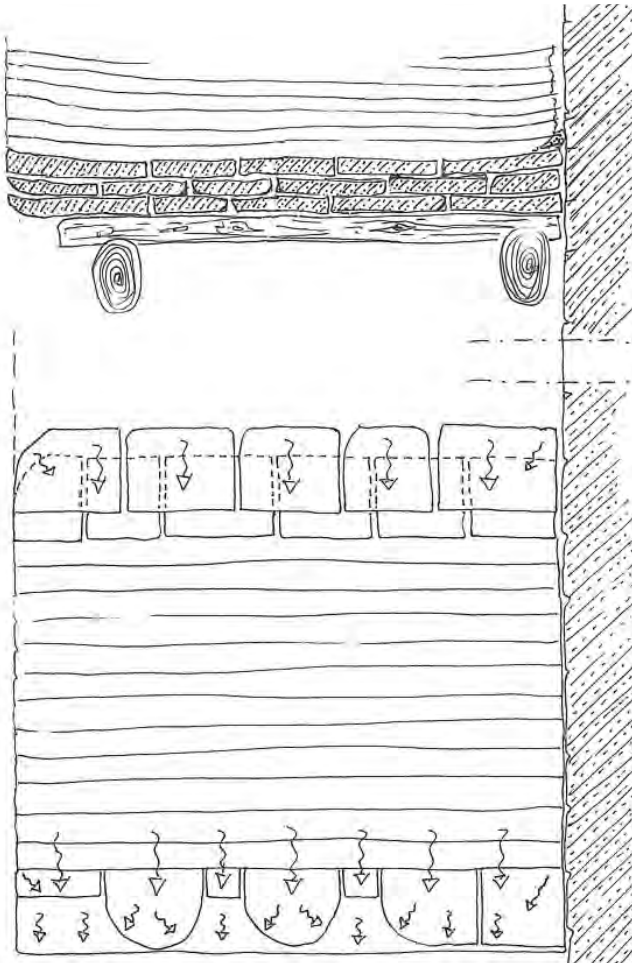


Figura 43
Metodo di allontanamento acqua di falda.
1 - Elementi idealmente concavi

LA FUGA CHE SI GENERA TRA PIODE E MURO DEVE ESSERE CHIUSA CON MALTA?

Ovviamente in presenza di lattoneria la malta non è contemplabile, ma è possibile non utilizzarla anche in caso di gronda superiore sufficientemente aggettante e vicina, oppure in caso di posizionamento nel paramento murario di piode sbordanti, posate con un profilo a scala dato dalla salita del profilo del tetto, che formano una sorta di aggetto continuo a protezione della fuga tra piode e struttura verticale.

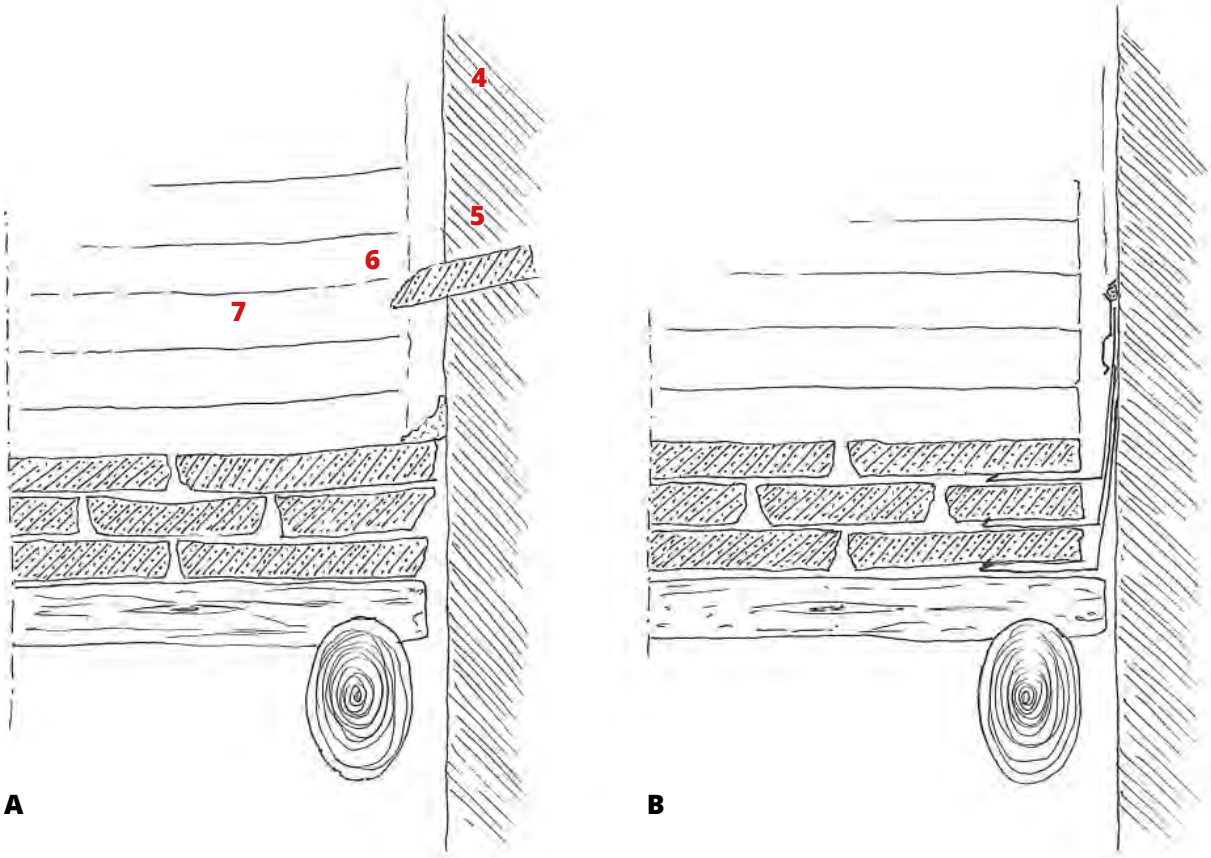


Figura 44
Dettaglio attacco manto a elemento murario tradizionale (**A**) e con lattoneria (**B**)
1 - Posa degli elementi in piano; **2** - Elementi litici concavi per l'allontanamento delle acque reflue; **3** - Manto a corso doppio; **4** - Manto a corso singolo; **5** - Architrave in legno; **6** - Muratura; **7** - Pioda davanzale.

IL RACCORDO DI COMIGNOLO E TESTE DI CAMINO CON IL MANTO

Figura 45
Camino in falda di nuova realizzazione.

COM'È POSSIBILE ALLONTANARE, IN UN CAMINO DI FALDA, L'ACQUA PROVENIENTE DALLO SVILUPPO SUPERIORE DELLA COPERTURA?

La tecnica di allontanamento sui fianchi del comignolo paralleli allo scorrimento dell'acqua è la stessa descritta per i manti adiacenti a pareti verticali; per quanto riguarda la porzione superiore, ortogonale all'acqua di falda, è necessario l'inserimento di un canale in pietra dedicato.

IL TETTO DEL COMIGNOLO HA DELLE REGOLE PARTICOLARI?

Idealmente il tetto del comignolo si compone di elementi di grande dimensione, che lo dotano di buona stabilità e lo caratterizzano di una pendenza inferiore rispetto al manto della falda della copertura principale. Tale regola è però molto labile, in quanto la conclusione dell'elemento camino, dipendeva tradizionalmente dall'approvvigionamento del materiale, nonché dall'estro del posatore: soprattutto in ambito rurale il comignolo è uno degli elementi che compongono la costruzione dove si manifestava la fantasia, quindi la firma della casa.

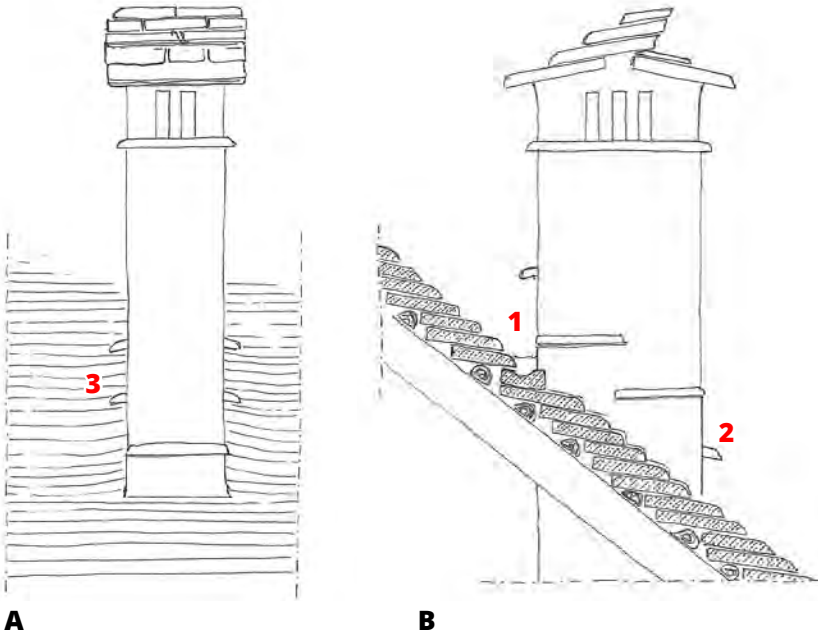


Figura 46
Camino in falda: vista laterale (**A**) e frontale (**B**).
1 - Canale in pietra a monte camino; **2** - Pioda aggettante dalla muratura per la gestione delle acque reflue **3** - Elementi concavi per l'allontanamento delle acque.

IMPLUVI ED ESPLUVI

L'IMPLUVIO TONDO QUANDO È DA PREFERIRSI AL QUADRO?

In realtà nessuna delle due tipologie è preferibile all'altra, come per altre situazione riguardanti queste coperture, il discrimine è il materiale a disposizione. Questi due tipi di impluvi sono due soluzioni tecniche che portano allo stesso risultato: nel caso di profilo tondo sarà necessario l'utilizzo di materiale di maggiore dimensione, mentre nel caso di impluvio angolare, si minimizza l'uso di piode di grande formato, che sarà presente nella quantità di uno per corso.

Figura 47
Manto con impluvio (**i**) tondo ed espluvio (**e**) angolare. Cappella di Abramo - Sacro Monte di Ghiffa. Arch. Scotton.

CHE COSA DIFFERENZIA PRINCIPALMENTE, A LIVELLO TECNOLOGICO, L'IMPLUVIO RAPPRESENTATO CON PIODA DIAGONALE DAGLI ALTRI DUE?

In questo caso la pioda diagonale viene inserita ogni due corsi, in quanto riesce a coprire completamente la fuga del corso sottostante

L'ESPLUVIO TONDO QUANDO È DA PREFERIRSI AL QUADRO?

Come per l'impluvio nessuna delle due tipologie è preferibile all'altra e anche qui la soluzione tecnologica varia in base al materiale.

CHE COSA DIFFERENZIA PRINCIPALMENTE, A LIVELLO TECNOLOGICO, L'ESPLUVIO RAPPRESENTATO CON PIODA DIAGONALE DAGLI ALTRI DUE?

Nell'espluvio con pioda diagonale, quest'ultima si accavalla completamente all'incontro delle due falde. In questo caso le piode diagonali lavorano in modo analogo all'espluvio proprio di un tetto in coppi, creando una fascia a se stante che si sovrappone al manto principale.

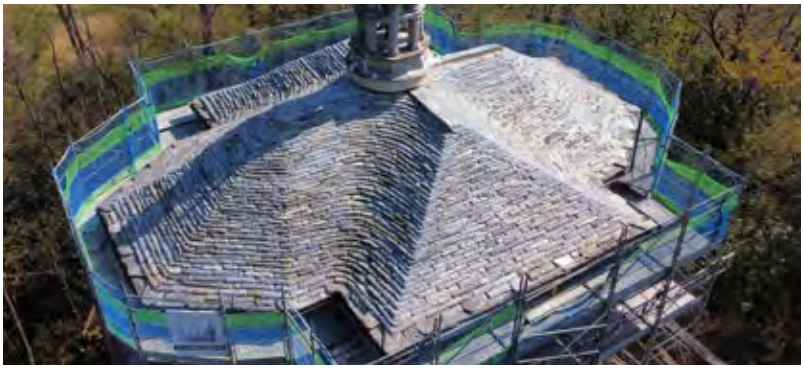


Figura 48
Impluvi ed espluvi in copertura polilobata.
Cappella di Abramo - Sacro Monte di Ghiffa. Arch. Scotton.

Figura 49
Impluvio tondo

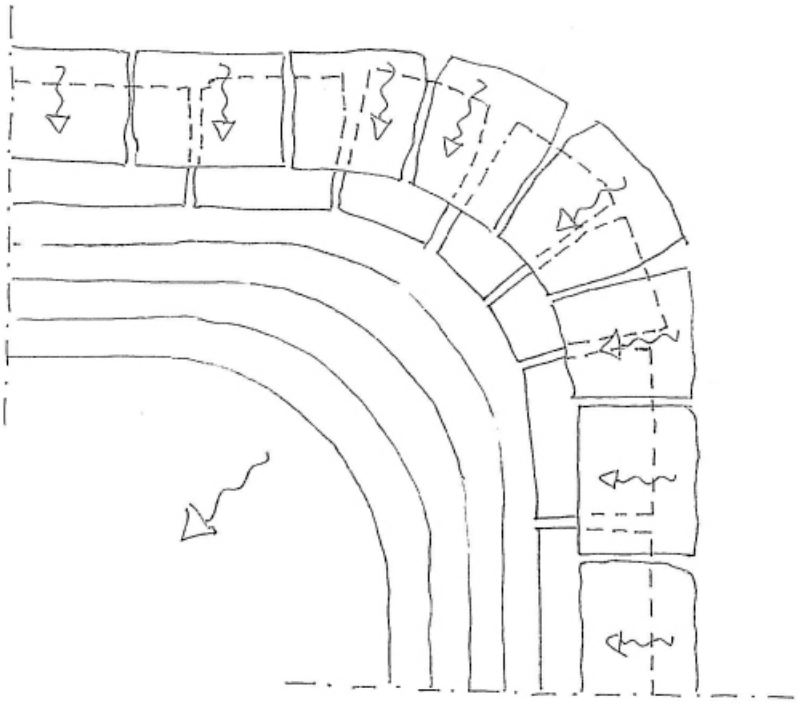


Figura 50
Impluvio tondo. Balmella - Varzo (VB). Arch. Scotton.

Figura 51
Piode di partenza per impluvio angolare. Balmella - Varzo (VB). Arch. Scotton.

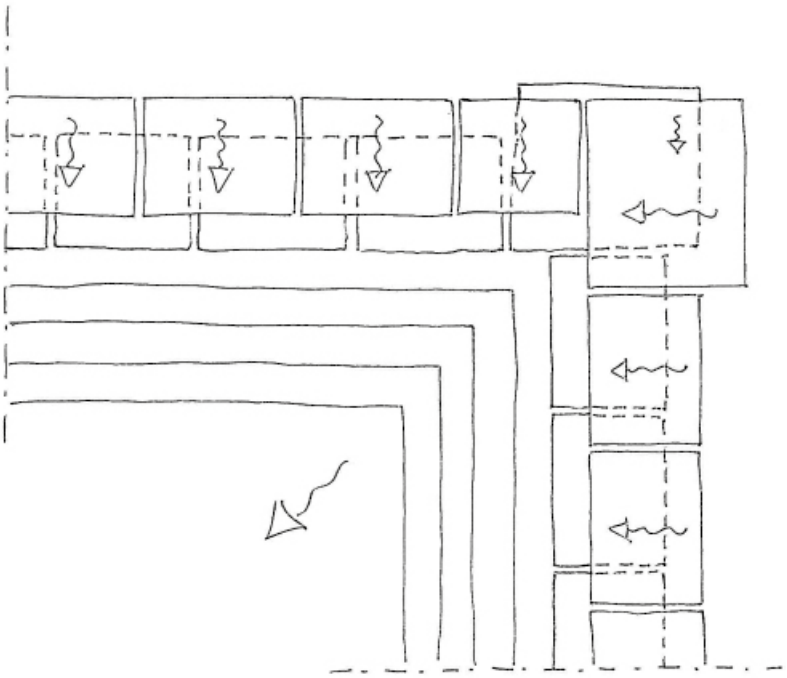


Figura 52
Impluvio angolare.
1 - Elemento idealmente concavo.

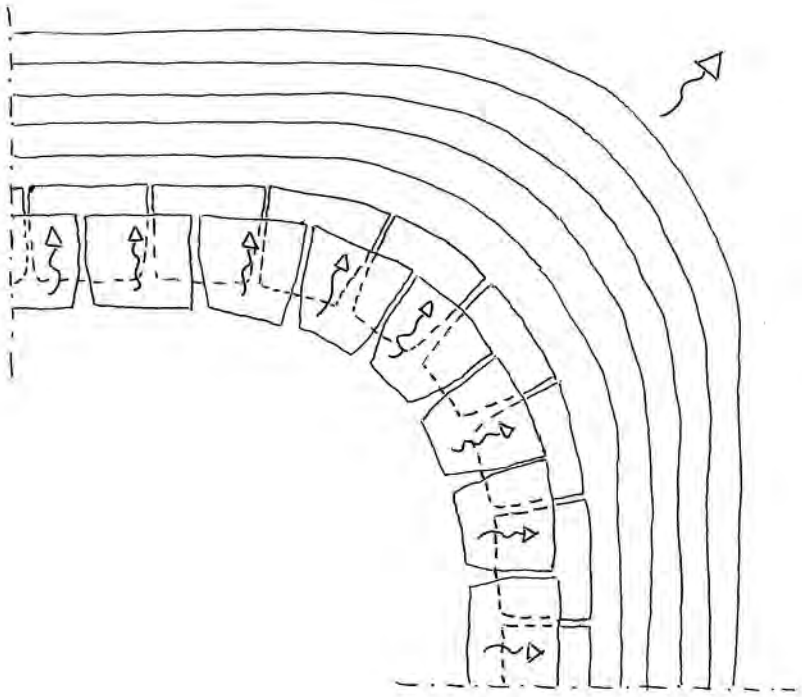


Figura 53
Espluvio tondo.

Figura 54
Espluvio angolare. Cappella di Abramo - Sacro Monte di Ghiffa. Arch. Scotton.

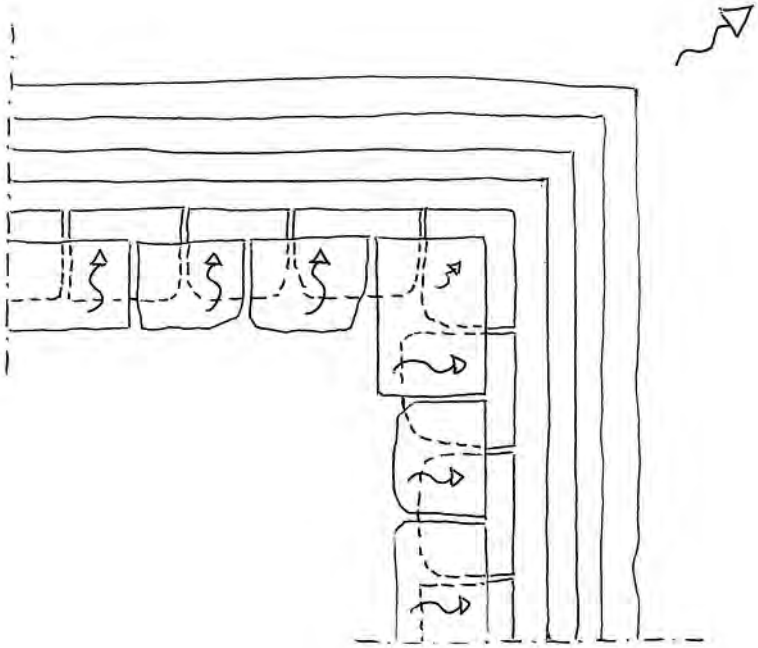


Figura 55
Fase di realizzazione di espluvio angolare. Cappella di Abramo - Sacro Monte di Ghiffa. Arch. Scotton

Figura 56
Espluvio angolare.
1 - Elemento idealmente caratterizzato da superficie convessa (espluvio naturale).

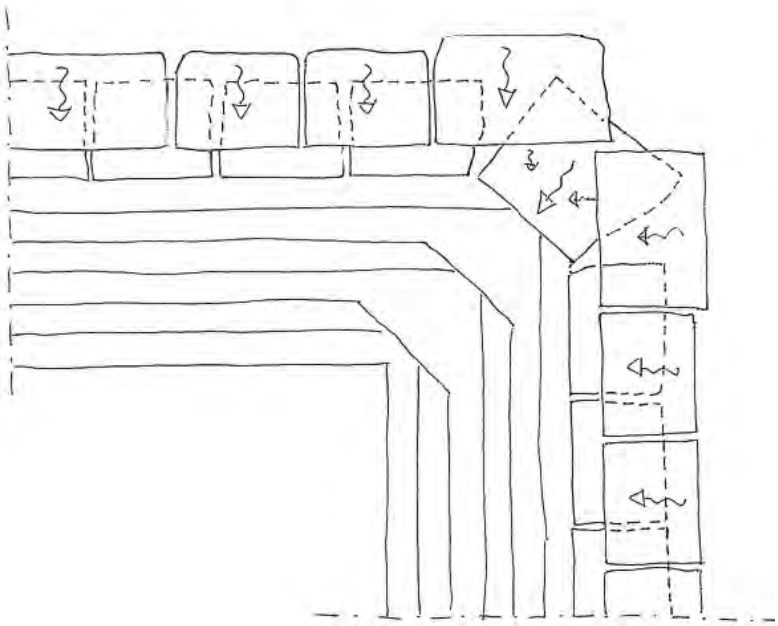


Figura 57
Impuvio angolare con pioda diagonale
1 - Elemento di maggiore profondità rispetto alle altre piode del manto; **2** - Elemento idealmente concavo.

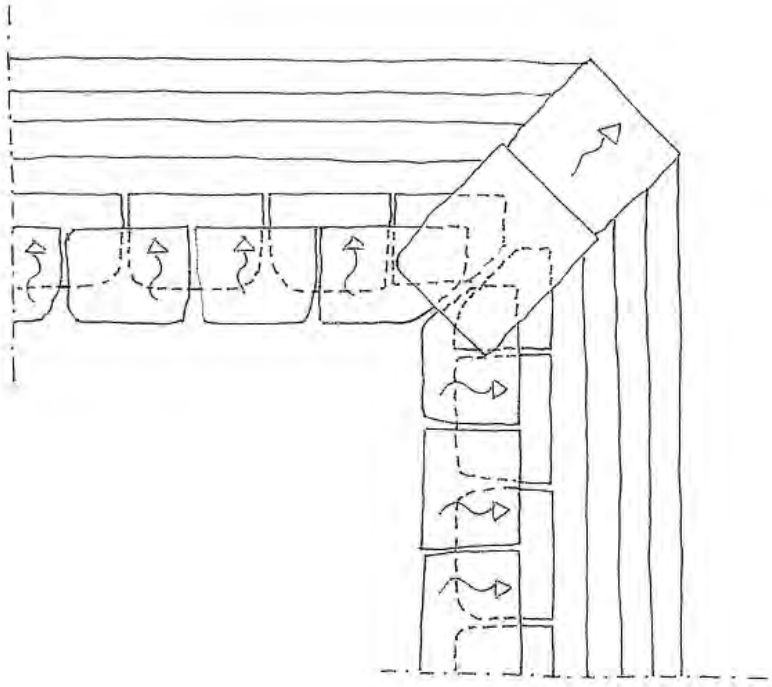


Figura 58
Espluvio angolare con pioda diagonale.
1 - Elemento di maggiore profondità rispetto alle altre piode del manto; **2** - Elemento idealmente concavo.

2.3.6 IL TETTO DI PIODE E LE FONTI RINNOVABILI ESEMPIO DI INTEGRAZIONE DI PANNELLI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE SOLARE

L'INSERIMENTO DEI PANNELLI NEL TETTO È REVERSIBILE NEL TEMPO?

Si, il tetto tradizionale si presta a essere "scucito e ricucito", offrendo la possibilità di variare la dimensione dell'asola in caso di sostituzione di elementi con altri con grandezze differenti.

QUALI SONO LE REGOLE FONDAMENTALI DA SEGUIRE PER L'INSERIMENTO DI PANNELLI NEL TETTO? QUALI I LIMITI?

Considerando che le falde del tetto sono naturalmente sovrapposte in corrispondenza del colmo, e quest'ultimo è necessariamente rivolto (aperto) alla porzione più favorevole alla radiazione solare, la posa dei pannelli avverrà idealmente nella porzione sommitale della falda, facendo sì che la cassa contenitiva dei pannelli si innesti sotto colmo. In questo modo si ovvierà notevolmente anche alla presenza di copertura nevosa o rischio di scivolamento della stessa verso la gronda.

Il limite più significativo è costituito dal numero di pannelli che si possono alloggiare in falda: è fortemente sconsigliato, in particolare per la gestione dei carichi e per il distacco neve, realizzare una copertura di pannelli estesa per più di un terzo di falda. Inoltre non si potranno spingere i pannelli fino alla gronda su frontone (cimosa); si consiglia di realizzare almeno un metro di falda tra questo elemento terminale e la cassa per i pannelli.

QUAL È IL METODO PIÙ SICURO PER ESEGUIRE IL GIUNTO DI LATTONERIA TRA LA CASSA CONTENITIVA DEI PANNELLI E LO SVILUPPO DI FALDA?

Un sistema di squadrette singole che caratterizzano la conclusione di ogni corso di piode andranno ad affiancarsi alla cassa di contenimento dei pannelli; entrambi questi elementi sono a questo punto uniti da un profilo a "C", che chiuderà la fuga unendoli. Il lato inferiore della cassa consente l'uscita delle acque piovane direttamente sul corso di piode da cui parte la cassa stessa. Il

Figura 59
Pannelli integrati in falda sotto colmo. Casa Gatti - Varzo. Arch. Scotton/Saegesser.

lembo superiore del vassoio contenitivo si innesta invece sotto il sormonto del colmo.

QUAL È L'EFFETTO CHE OTTENGO ALL'INTERNO DEL TETTO?

All'interno del tetto è consigliato far proseguire tutta l'orditura secondaria del tetto per dare la possibilità, in caso di rimozione del sistema dei pannelli, di chiudere agevolmente il manto integrandolo con piode mancanti. Si vedrà quindi il tavolato ligneo su cui poggia l'elemento metallico di contenimento.

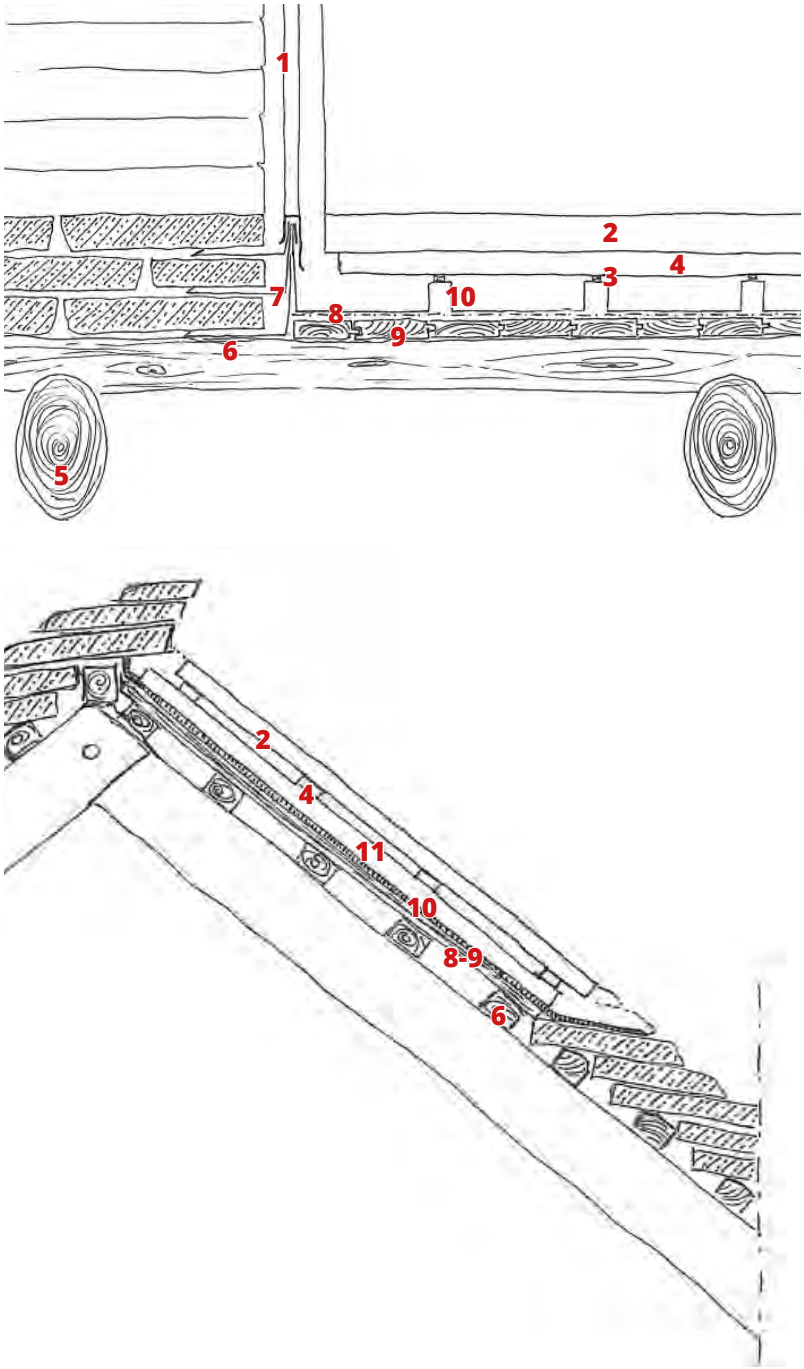


Figura 60
Dettaglio vasca per integrazione pannelli. Vista e sezione frontale.
1 - Profilo metallico di finitura; **2** - Pannello; **3** - Guarnizioni di gomma in presenza di ammarri; **4** - Telaio porta pannello; **5** - Puntone capriata; **6** - Orditura secondaria "tampiere"; **7** - Squadra a "L", sviluppo 500 mm (30+270+300), profondità 400 mm; **8** - Guaina; **9** - Tavolato; **10** - Lamiera grecata.
11 - Manto a corso doppio.

2.4
SUPERFICI A VISTA, INTONACI, SUPERFICI TINTEGGIATE
Marco Zerbinatti

Questo capitolo si pone l'obiettivo principale di favorire un uso chiaro di locuzioni e termini tecnici relativi ad alcuni manufatti, sistemi e subsistemi edilizi che quotidianamente abbiamo a portata dei nostri sguardi, ma che talvolta riusciamo a definire con fatica. Nel tentativo di perseguire tale obiettivo, i contenuti del testo cercheranno di aiutare il lettore a ri-conoscere determinati manufatti nel loro ambiente specifico, astraendo da questi alcuni criteri generali poiché utili, dal punto di vista metodologico e per analogìa, in tutti i contesti.

Perché riconoscere? Perché innanzitutto dobbiamo possedere gli strumenti e le informazioni utili per conoscere approfonditamente un manufatto edilizio, capirne l'origine, il grado di complessità, i suoi rapporti con l'ambiente circostante o con il tessuto edilizio in cui è inserito (è un richiamo palese ai concetti e ai criteri contenuti nel seguente Capitolo 2). Soltanto dopo avere acquisito e sedimentato basi di conoscenza secondo un percorso che, intuitvamente, tutti quanti comprendiamo essere progressivo, possiamo riconoscerne gli elementi connotanti, i materiali, le tecniche esecutive e tutti i caratteri costruttivi che ci permettono, in qualche misura, di catalogarlo e di collocarlo all'interno di una "categoria" di riferimento.

In proposito, pare utile evidenziare che le categorie a volte (anzi, spesso) sono strumentali e offrono il vantaggio di allestire insiemi e raggruppamenti (concettuali) che ci consentono un più agevole confronto per evidenziare similitudini, differenze, singolarità, ovverosia per effettuare la comparazione di informazioni essenziali per comprendere in modo critico il valore di ciò che stiamo osservando.

Questo approccio, nella maggior parte dei casi, ci consente di osservare come il patrimonio edilizio di interesse storico-documentario, oppure avente valore di inserimento ambientale, proponga numerose varianti in ragione di tradizioni costruttive, di disponibilità di materiali e di consuetudini locali; spesso, spostandosi di pochi chilometri anche all'interno della stessa area geografica, edifici che paiono simili nelle loro morfologìa, impostazione distributiva, costituzione materica, in realtà celano differenze rilevanti che non tutti gli interpreti sanno cogliere sino in fondo.

Cerchiamo qui di approfondire alcuni di questi temi in modo pratico, con riferimenti ad ambienti culturali particolarmente significativi per il patrimonio diffuso.

2.4.1 MURATURE A VISTA

di Marco Zerbinatti

Figura 1
Edificio rustico a Pontetto di Montecrestese.

COME È COSTRUITA UNA MURATURA A VISTA?

La domanda può apparire ovvia e, conseguentemente, la risposta scontata; ma in verità la definizione racchiude in sé una varietà di soluzioni sorprendente, grazie alla quale si può affermare che esistono vari generi di *muratura a vista*.
Ecco perché, in termini il più possibile chiari, si cerca di offrire alcune descrizioni che comprendano il più vasto insieme di casi riconducibili a questa fattispecie.

In prima approssimazione, le murature a vista sono quelle a cui non è stato applicato l'intonaco di rivestimento, il quale – a sua volta – può essere costituito da più strati e declinato secondo diverse modalità di applicazione, finalità di protezione e di esito estetico[1].
Tuttavia, la mancanza dell'intonaco è solo una delle caratteristiche delle murature a vista; infatti, una prima differenza tra diversi generi può essere evidenziata tra le murature costruite completamente *a secco*, ovverosia in assenza di malta nei corsi orizzontali e nei giunti verticali di connessione e murature i cui elementi costitutivi sono tra loro legati con malta [cfr. Cap. 3.2].

1. L'intonaco è un altro argomento specifico il cui studio può portare a molti approfondimenti, tra loro diversi e sorprendenti. In modo estremamente sintetico, esso è trattato nel paragrafo.

Figura 2
Ripresa di muro costruito a secco (in primo piano) e di muro con giunti di malta (in secondo piano) di due edifici di Veglio, frazione di Montecrestese.

Le murature edificate *a secco* sono state utilizzate spesso per opere di contenimento dei terreni, per la realizzazione di terrazzamenti e coltivi o per la regimazione di acque e per canalizzazioni. Ma anche nelle costruzioni per altre funzioni utili all'uomo, le murature di pietra a secco hanno trovato ampia (in senso geografico) e prolungata (in senso diacronico) diffusione: per opere difensive o infrastrutturali, per residenze rustiche, per edifici destinati ad attività agricole e pastorali, per esempio.

Figura 3
Edificio rustico all'Alpe Soi (Valle Anzasca). Muratura a secco formata con grandi cantonali non riquadrati, elementi minori grossolanamente lavorati e trovanti.

Le tecniche storiche di costruzione di muri a secco con funzioni portanti possono variare sia a seconda dei litotipi localmente disponibili (pietre più o meno facilmente lavorabili con gli attrezzi manuali), sia in ragione della destinazione d'uso della erigenda costruzione; le realizzazioni più impegnative e ricercate sono sicuramente quelle riguardanti edifici a più piani.

Nel corso di studi e approfondimenti condotti in più ambiti territoriali, è sempre emerso un dato saliente: i muri a secco contemperano sempre la presenza di diatoni[2], i quali possono essere più o meno frequenti nella tessitura muraria, ma sono sempre sfalsati rispetto agli analoghi elementi che si trovano nei ricorsi superiori e inferiori.

La capacità dei muratori di "legare" tra loro gli scapoli di pietra per formare murature in elevazione con grande capacità di resistenza alle forze statiche (talvolta anche a quelle dinamiche) è stata affinata nel tempo ed è stata sorprendentemente adattata alle condizioni di ogni specifico contesto.

La costruzione dei muri di pietra a secco (ma anche con malta) era condotta con la tecnica del "doppio paramento", in modo da fare progredire l'elevazione del muro in modo regolare; spesso, anche in presenza di murature a vista, le fasi del cantiere sono individuabili sui prospetti esterni dell'edificio.

COS'È LA TECNICA DEL "DOPPIO PARAMENTO"?

La tecnica del "doppio paramento" consisteva nell'erigere contemporaneamente, sia dal lato interno sia da quello esterno, la muratura, innalzando il livello della costruzione per ricorsi successivi. In tal modo, anche le opere provvisionali occorrenti potevano essere innalzate in funzione della loro effettiva utilità, rendendo solidali le stesse alla erigenda muratura attraverso l'inserimento di elementi di collegamento dentro le "buche pontaie" (fori che spesso sono ancora osservabili nei paramenti murari a vista). Questa tecnica consentiva di adottare i seguenti accorgimenti operativi:

2. I diatoni sono elementi monolitici posti in senso trasversale rispetto al lato più lungo della muratura che viene apparecchiata, con la finalità di "legare" gli elementi murari tra loro anche ortogonalmente rispetto alla faccia più estesa. La numerosità di questi elementi può variare, però resta sempre valido un criterio: le superfici superiore e inferiore non sono regolari, bensì presentano asperità e irregolarità che favoriscono un "muto ingranamento" delle facce dei conci lapidei, impedendo lo scorrimento orizzontale mutuo degli elementi. Questo accorgimento empirico, maturato attraverso l'osservazione diretta del comportamento in opera, di fatto ha un significato rilevante in caso di azioni dinamiche, poiché tende a contrastare l'azione di forze orizzontali che, altrimenti, farebbero scivolare più facilmente tra loro i blocchi della muratura.

Figura 4
Torre dei Lossetti presso Beura Cardezza. Edificio di avvistamento (quindi a carattere difensivo) tra i più alti realizzati a secco fra quelli conosciuti in Europa (fotografia di G. Bretto).

- lavoro di più squadre "in parallelo" nella realizzazione,
- adeguati insierimenti di elementi lapidei di legatura in senso trasversale (diatoni),
- inserimento, nei punti adeguati, di pali di legno per stabilizzare le opere provvisionali,
- preciso inserimento eventuale di catene o tiranti, nonché di impalcati per i solai intermedi,
- sollevamento progressivo (con l'erezione della muratura) di eventuali elementi portanti del tetto particolarmente gravosi da innalzare a muratura ultimata (tali elementi potevano "salire" progressivamente con il crescere delle murature).

LE MURATURE "A VISTA" SONO SOLO DI PIETRA?

Le murature lasciate a vista possono essere realizzate con materiali diversi. Nel corso della ricerca *MAIN10ANCE*, dato il contesto geografico e culturale, la nostra attenzione è stata focalizzata principalmente sugli edifici costruiti con la pietra.

Tuttavia, le murature "a vista" possono essere di laterizi (mattoni, anche di varie misure e forme) o anche realizzate con tecniche miste; in tal senso, un esempio può essere indicato nelle murature che prevedono l'utilizzo di pietra alternata a corsi di "regolarizzazione" composti con mattoni. Questa tecnica, ampiamente usata già dagli antichi Romani, ha avuto evoluzioni, adattamenti e declinazioni secondio modalità di applicazione locali sino alla prima parte del Novecento.

2.4.2 INTONACI

CHE COS'È UNA MALTA E COS'È UN INTONACO?

Generalmente, una **malta** è un impasto ottenuto mescolando un aggregato e un legante con acqua; l'aggregato utilizzato, di solito, è la sabbia ma, nel panorama del costruito diffuso sul territorio, si trovano malte ottenute miscelando con la sabbia anche argille, terre, *cocciopesto*. Le differenti modalità di utilizzo dei materiali elencati, per gli edifici storici, dipendono in gran parte dalla disponibilità locale di materiali e dalla cultura costruttiva del contesto specifico.
Le malte possono essere classificate in differenti categorie, in relazione con gli utilizzi, con le caratteristiche di resistenza meccanica e le prestazioni in opera, con le formulazioni e le caratteristiche costitutive e così via.
In proposito, oggi esistono normative europee (Norme EN) e italiane (Norme UNI) che regolano le diverse classificazioni, aiutando gli operatori del settore delle costruzioni a orientarsi sull'argomento.
Più specificamente, esistono anche normative italiane che aiutano a classificare le malte storiche e da restauro, poiché nel nostro Paese siamo particolarmente ricchi di manufatti edilizi di interesse storico culturale (un esempio è dato dalla Norma UNI 10924:2001, *Beni culturali - Malte per elementi costruttivi e decorativi - Classificazione e terminologia*).

La malta, in senso generale, è un impasto allo stato fresco che è stata ed è utilizzata per diversi scopi finali quali, per esempio:

- *per realizzare una muratura in elevato*
  per questi manufatti sono utilizzate malte da *allettamento* o da giunto, per legare gli elementi della muratura (siano essi pietre o laterizi);
- *per realizzare un intonaco*
  in questo caso, le malte possono cambiare composizione in relazione con lo strato di intonaco da realizzare;

- ***per porre in opera un elemento decorativo***
  può trattarsi di balaustre, di elementi per il coronamento sommitale di un edificio, oppure di elementi decorativi lavorati *al banco* (in laboratorio) o *a piè d'opera* (presso il cantiere) da fissare su di una facciata;
- ***per realizzare un elemento decorativo***
  come cornici di stucco, cornici di finestre o cornicioni sommitali di edifici civili e chiese, finte *bugne* nei paramenti di facciata di palazzi, ecc.;
- ***per conferire protezione a un muro o a una struttura edificata***
  intonaci, *copertine* di muri di recinzione, rivestimenti di cisterne per l'acqua.

Le malte innanzi descritte sono basate essenzialmente sull'uso di prodotti *minerali* o inorganici; tuttavia, anche nel costruito storico, l'utilizzo di *aggiunte* o di *additivi* organici era abbastanza diffuso. Questa operazione era eseguita con finalità precise, spesso conseguite attraverso saperi pratici non scritti e tramandati da "maestro" ad "allievo" oralmente; le 'malizie' e i 'segreti del mestiere', derivati da un'attenta osservazione della natura, del comportamento in opera dei materiali, delle prestazioni di questi nel tempo, diventavano così, progressivamente, patrimonio comune di esperienze tradotte in opere e realizzazioni rappresentativi di un contesto culturale.

Un **intonaco** è un rivestimento di un elemento costruttivo (di una parete, di una volta, di un solaio, di un pilastro, ecc.) realizzato con una malta allo stato fresco (ovverosia non indurita), atto a conferire protezione e decoro all'oggetto architettonico. Gli intonaci sono in prevalenza formati da più strati, soprattutto se sono destinati a ricoprire strutture murarie. Una suddivisione "classica" è quella che prevede tre strati, differenti per spessore, costituzione e lavorazione: l'intonaco di *rinzaffo* (o *mano di aggancio*), lo *strato di corpo* e lo *strato di finitura*. Talvolta, gli ultimi due possono essere ricompresi in un unico strato e applicati con unica stesura (in questo caso, è definito *corpo-finitura*).

Negli edifici storici, a seconda dell'importanza della costruzione, è possibile rilevare in opera intonaci molto differenti tra loro, per esempio: intonaci "rustici" applicati in unico strato su costruzioni rurali, intonaci con tre strati su edifici civili, intonaci per interni con finiture a finto marmo (*stucco lucido*, *marmorino*), intonaci a più strati e lisci per rendere impermeabili le superfici. La casistica enunciata è ovviamente indicativa e non esaustiva, poiché

nella realtà la varietà di opere è molto vasta; vige comunque il principio costante che, in passato, erano utilizzati in prevalenza materiali reperibili localmente, soprattutto nella costruzione di edifici non di particolare pregio. Invece, nelle chiese e nei palazzi di committenze importanti, è possibile riscontrare la presenza di materiali provenienti da luoghi di approvvigionamento lontani, soprattutto se famosi per la qualità del materiale offerto (ciò è vero, in particolare, per le rocce ornamentali; ma anche per le terre naturali coloranti e i pigmenti utilizzati nelle finiture delle pareti).

CHE DIFFERENZA C'È TRA UNA MALTA AEREA E UNA MALTA IDRAULICA?

Le **malte aeree** possono fare presa e indure esclusivamente all'aria, per reazione con l'anidride carbonica [CO_2] presente nell'atmosfera.

Nella preparazione di malte aeree sono utilizzati:

- la *calce idrata* in polvere, ottenuta dalla *calce viva* o *ossido di calcio* [CaO], spenta con la quantità di acqua esclusivamente necessaria per idratare la pietra cotta (chimicamente detta quantità *stechiometrica* di acqua)
- il *grassello di calce*, o idrossido di calcio [$Ca(OH)_2$] ottenuto dalla calce viva, spenta con un eccesso di acqua rispetto a quanto chimicamente sufficiente per idratare la calce viva.

In entrambi i casi, la malta prodotta indurisce solo per la reazione con l'anidride carbonica presente in atmosfera, catturando la stessa quantità di CO_2 che aveva rilasciato nella fase di cottura del calcare di partenza.

Le **malte idrauliche** possono fare presa e indurire anche in ambiente anaerobico, come per esempio sott'acqua; i composti dei leganti idraulici usati per tali malte, miscelati con acqua, innescano reazioni chimiche (esotermiche, ovverosia con sviluppo di calore) che dànno luogo a composti chimici nuovi (detti composti di *neoformazione*) in qualsiasi ambiente. A seconda delle miscele prodotte, le malte idrauliche possono essere fortemente i. oppure debolmente i. Queste ultime, di solito, associano alla presa idraulica anche una parte di presa aerea (con scambio di CO_2 con l'atmosfera).

Nella preparazione di malte idrauliche sono utilizzati:

- calci idrauliche naturali, ottenute dalla cottura di calcari e di argille naturali (o di *calcari marnosi*) in opportune dosi;

- calci idrauliche *formulate*, ottenute mediante processi industrializzati che non prevedono l'utilizzo di soli materiali naturali[3];
- cementi, ottenuti anch'essi dalla cottura di miscele adeguate di calcari e argille con rapporti differenti dalle calci idrauliche e a temperature maggiori.

Durante i processi di presa e indurimento delle malte composte con leganti idraulici non ha luogo il processo di riassorbimento dall'atmosfera della CO_2 rilasciata in fase di cottura, come invece avviene per le malte aeree.

Sia il processo di produzione che il completo ciclo di vita dei leganti idraulici (e, in particolare del cemento Portland) è molto più impattante sull'ambiente rispetto alla produzione di leganti aerei.

COSA SONO LE *AGGIUNTE*? QUALI SONO LE AGGIUNTE *INORGANICHE* E *ORGANICHE*? COSA SONO GLI *ADDITIVI*?

Nel lessico tecnico ***aggiunte*** e ***additivi*** hanno definizioni differenti perché hanno funzioni diverse. Una descrizione semplificata può portarci a individuare le *aggiunte* con quei materiali introdotti nelle miscele per conferire un particolare comportamento oppure per contenere determinati fenomeni conosciuti. Due esempi:

- il *cocciopesto* è una aggiunta inorganica nota fin dai tempi degli antichi romani (Vitruvio ne parla abbondantemente nel suo testo "*De architectura libri decem*") e mescolata con gli altri aggregati (o da solo) con la calce aerea serve per conferire agli impasti una presa idraulica più o meno accentuata, a seconda delle miscelazioni prodotte. Il *cocciopesto* è ottenuto macinando (con granulometrie diverse) mattoni e tegole cotti al di sotto della temperatura di clinckerizzazione (generalmente, al di sotto di 1.000 °C), perché questo materiale conserva una capacità di reagire con la calce aerea;
- le fibre vegetali, come canapa e paglia, sono fibre organiche che talvolta erano (e sono) aggiunte alle miscele di malta allo stato fresco, per contenere i fenomeni di ritiro di malte e intonaci in fase di asciugatura, indurimento e presa, oppure per favorire l'assorbimento del vapore acqueo.

Per le aggiunte, la definizione non tiene conto delle quantità relative introdotte in una miscela di malta.

Gli additivi sono sostanze formulate (ovverosia composti chimici) introdotte nei leganti oppure nelle miscele di malta in quantità

1. Rif. Norma UNI EN 459-2 2016

- di solito - molto contenute (piccole o piccolissime percentuali) e sono capaci di influire sia sulla *reologia* della malta allo stato fresco (caratteristiche di lavorabilità, di deformazione, ecc.), sia sui comportamenti in opera della malta stessa.

Esistono numerose famiglie di additivi, i quali possono anche cambiare le prestazioni di una malta attraverso azioni "combinate" tra loro.

PER GLI EDIFICI STORICI, QUALI PRODOTTI È PIÙ CORRETTO UTILIZZARE?

Un criterio fondamentale è quello di scegliere materiali che abbiano un comportamento in opera simile a quello dei materiali utilizzati nella costruzione. Nel caso delle malte, si tratta in particolare di utilizzare miscele che portino a ottenere valori di resistenza meccanica simili alle malte già presenti su di un manufatto edilizio; quando era consuetudine utilizzare i materiali locali, conseguire questo obiettivo era più semplice, perché i materiali d'origine erano gli stessi. Con l'introduzione dei prodotti industriali e con la contestuale capacità tecnica degli operatori (riferita ai magisteri tradizionali) il rischio di utilizzare materiali inappropriati e/o inadeguati è abbastanza elevato.

Si può semplificare la risposta introducendo due semplici criteri discriminanti, utili per chiarire il concetto:

- negli edifici dove sono presenti malte a base di calce (nei giunti, negli intonaci) è opportuno continuare a usare malte a base di calce;
- se le malte in opera sono caratterizzate da un certo rapporto legante/aggregato, è bene continuare a usare miscele simili a quelle utilizzate in passato.

È una questione di **compatibilità** tra materiali. È sbagliato utilizzare il cemento (e le malte a base di cemento) dove è sempre stata utilizzata la calce; così come sarebbe sbagliato utilizzare la calce per effettuare interventi riparatori su di un *cemento decorativo* (o *pietra artificiale*, locuzione con cui si definiscono quei manufatti a base di leganti cementizi realizzati tra fine Ottocento e primo Novecento per imitare la pietra naturale o produrre graniglie di varia natura e composizione).

2.4.3 SUPERFICI TINTEGGIATE

Per essere efficaci, iniziamo con distinguere le superfici tinteggiate in due grandi insiemi: le superfici tinteggiate per ambienti interni e quelle per ambienti esterni.

I due diversi ambienti richiedono durabilità differenti, quindi anche composizioni differenti dei materiali; è immediato comprendere come le tinteggiature per esterni debbano offrire una durabilità maggiore, poiché esposte agli agenti atmosferici. Invece, negli interni tale problema non sussiste, ma ne è presente un altro: la diffusione dell'acqua in fase vapore, che può generare effetti negativi sulle superfici.

QUALI SONO I MATERIALI STORICAMENTE UTILIZZATI ALL'ESTERNO?

Le pitture a base di grassello di calce (quindi di calce aerea) e di terre naturali coloranti (pigmenti minerali naturali estratti da appositi siti) sono i sistemi di pitturazione usati per secoli nella tinteggiatura esterna degli edifici.

Il grassello di calce era "stemperato" in acqua per renderlo fluido e applicabile a pennello; i pigmenti naturali (polveri macinate e ripulite dai residui organici) erano miscelati in opportune quantità per ottenere le cromìe desiderate e i valori tonali ricercati. Questi sistemi di tinteggiatura permettono di essere applicati in due modi:

- per **velature semi coprenti**, ovvero con una minore diluizione del grassello di calce, utile per ottenere una *coprenza* più elevata;
- per **velature semi trasparenti**, con una maggiore diluizione del *medium* (il grassello) al fine di ottenere una maggiore trasparenza delle mani di tinta (un po' come si fa con gli acquerelli).

E ALL'INTERNO?

All'interno di solito erano utilizzate pitture a base di calce oppure le tempere. Le prime non differiscono da quanto detto per gli esterni; le seconde, invece, sono di solito composte da un *medium* bianco (farine fossili, per esempio) pigmento (terre naturali coloranti) e colla (le colle animali). Le tecniche di applicazione sono praticamente le stesse.

QUESTI PRODOTTI SONO DUREVOLI?

Ci sono diversi modi per valutare la durabilità di questo genere di prodotti. La calce aerea, com'è stato ribadito, reagisce con l'atmosfera attraverso il processo di carbonatazione (assorbendo CO_2).

Per esempio, se la pittura a calce è stesa su di un supporto ancora non carbonatato, il pigmento può penetrare in profondità e fissarsi meglio (è quello che accade con la tecnica dell'affresco); se la pittura a calce è stesa su un supporto secco e carbonatato, la sua durabilità sarà più limitata. Per evitare che la pittura fosse facilmente asportabile (in gergo si dice *sfarinante*) tradizionalmente gli applicatori aggiungevano alla miscela di acqua, calce e pigmento del **latte**; questo perché il latte contiene caseina, un prodotto organico naturale che fissa la calce al supporto (cioè all'intonaco). Solo che il latte tendeva a fare apparire delle muffe sulle superfici, in determinate condizioni; ed ecco che, in base all'esperienza maturata, i "vecchi applicatori" potevano aggiungere alla miscela una certa quantità di... urina, in quanto avevano osservato che questo altro "prodotto naturale" preveniva la formazione delle muffe.

Oggi, se occorre usare la caseina, risulta possibile farlo senza ricorrere all'impiego del latte (evitando così altri ingredienti); inoltre, la disponibilità di fissativi e di protettivi (più o meno naturali) agevola il compito degli applicatori rispetto a un tempo.

Per certo, in passato le pitture all'esterno erano rinnovate dopo qualche decade, ripartendo sempre dalla stesura di un fondo bianco per potere applicare poi le mani di tinta pigmentata in velatura.

OGGI QUALI SISTEMI DI PITTURAZIONE È POSSIBILE UTILIZZARE?

Il mercato contemporaneo mette a disposizione degli applicatori moltissimi sistemi diversi di pitturazione.

In condizioni di ambienti non inquinati e non aggressivi è possibile utilizzare ancora le pitture a base di calce; non è semplice avere le terre naturali coloranti, poiché i giacimenti sono chiusi e i pigmenti sono ricavati perlopiù da ossidi sintetici industriali.

Nel caso di ambienti urbani in cui l'inquinamento atmosferico raggiunge livelli significativi, le pitture a base di silicati di potassio possono essere utilizzate sugli edifici storici con effetti del tutto simili a quelli ottenibili con i sistemi a calce. Inoltre, i sistemi ai silicati di potassio sono da considerarsi ormai "storici" poiché furono inventati a metà Ottocento, in Germania, proprio per fare fronte al problema della scarsa durabilità dei prodotti a calce in ambienti dove erano frequenti le piogge acide. Sono pitture particolarmente indicate per supporti (intonaci) realizzati con leganti idraulici.

Infine, oggi vi sono a disposizione altri sistemi per tinteggiature di produzione industriale, meno compatibili con i supporti più diffusi sugli edifici storici (gli intonaci a base di calce), per i quali occorre una attenta valutazione progettuale proprio in relazione con la compatibilità tra materiali; di questi si omette la trattazione, poiché occorrerebbero approfondimenti tecnici molto puntuali, non coerenti con le finalità di queste schede.

Pare tuttavia opportuno sottolineare gli effetti negativi e indesiderati che tali prodotti possono fare ottenere: la realizzazione di tinte *piatte* o *sorde,* come gergalmente sono definite. Pareti con "effetto cartone", poiché sembrano rivestite con un cartoncino colorato uniforme, estremamente differente dall'effetto *cangiante* e *vibratile* proprio delle pitture minerali a base di calce e di terre coloranti, sistemi quasi impareggiabili per morbidezza e delicatezza di toni coloristici.

2.5
GESTIONE DEL VERDE ARBOREO DEI GIARDINI AD ALTA FRUIZIONE

Antonio Aschieri

Contiguo al costruito c'è quasi sempre il giardino: pertinenza di ornamento, di completamento prospettico, di ingresso, di incontro e di pace.
La gestione del giardino presenta criticità e necessita di approccio del tutto similari agli immobili che ospita. Come per l'immobile protagonista, il giardino richiede un preciso piano di monitoraggio, una gestione programmata, analisi strutturali per garantirne il giusto grado di sicurezza e in fine necessita dell'intervento di figure professionali altamente specializzate.
Parte della gestione prevede anche la riduzione delle interferenze con gli immobili, con l'obiettivo di ornare e valorizzare l'immobile senza creare condizioni di deterioramento, come il permanere di eccessiva umidità, l'intasamento delle grondaie e delle vie di deflusso delle acque con la caduta delle foglie o il sollevamento dei materiali causati dalle radici.
In particolare la gestione di un giardino storico di medie o grandi dimensioni non può prescindere dallo sviluppo di un piano razionale di monitoraggio e di programmazione degli interventi concernenti soprattutto la componente arborea. Questa componente, di indubbia importanza ambientale, ornamentale e scenica, introduce nel giardino un rischio determinato dalla possibile caduta di parti o di intere piante per eventi avversi o per il venir meno delle caratteristiche intrinseche di stabilità statica dei soggetti.
Allo stesso tempo, un piano razionale di gestione non può prescindere dall'esistenza di un database capace di raccogliere ed ordinare nel tempo i dati relativi a tutti i soggetti arborei presenti, alle loro specifiche caratteristiche botaniche, statiche, geometriche e volumetriche, oltre che ai controlli ed agli interventi che vengono eseguiti o programmati su di essi nel tempo.
Nel quadro del progetto Interreg Main10ance si è sviluppato un database georiferito relativo ai Sacri Monti di Varallo e Orta entro cui registrare il rilievo completo dello stato attuale di tutta la componente arborea, sperimentando al contempo un protocollo di gestione il più possibile economicamente sostenibile, mediante la zonizzazione del rischio derivante dalla presenza di alberi".

2.5.1 LA GESTIONE DEL VERDE

QUALI SONO LE PROBLEMATICHE SPECIFICHE DELLA GESTIONE DEL VERDE ARBOREO?

Un giardino è per lo più composto da alberi, arbusti e piante erbacee. Tutte e tre le componenti partecipano alla creazione del paesaggio, della decorazione e dei teatri di verzura che compongono queste particolari forme d'arte viva che sono i giardini.
La componente arborea si distingue dalle altre per la potenzialità di produrre danni a persone o cose in caso di cedimento, di parti o dell'intero soggetto. Allo stesso tempo però gli alberi sono le uniche componenti capaci di produrre ombreggiature importanti, creare il clima mite e piacevole del giardino, oltre a costituire la più importante componente della struttura verticale della composizione vegetale.
Per quanto detto la gestione degli alberi deve tenere presente, rispetto alle altre componenti, non solo la loro salute fisiologica, il controllo dei parassiti che possono attaccarli, la potatura in forme particolari, ma anche e soprattutto la loro capacità statica.
Capacità statica intesa come:

- efficace capacità di ancoraggio al suolo;
- capacità del tronco di resistere a venti di forte intensità senza spezzarsi;

Figura 1 a sinistra
Pianta ribaltata con sollevamento della ceppaia per insufficiente capacità di ancoraggio al suolo.

Figura 2 a destra
Rottura di branca principale per eccesso di carico (peso della branca maggiore della resistenza della sezione).

- capacità delle branche (rami principali) e dei rami di sostenere il peso delle foglie e dei frutti oltre che di resistere a venti intensi.

QUALI SONO LE SITUAZIONI CHE INDEBOLISCONO LA STRUTTURA DELL'ALBERO?

L'albero è descrivibile come una struttura portante che tende alla perfezione, ovvero che tende ad adattare le sue dimensioni strutturali per resistere alle sollecitazioni fisiche dell'ambiente in cui vive e che deve sopportare: venti dominanti, carichi di foglie e frutta, carichi di neve e strutture vicine che interferiscono. L'albero non spreca nulla, non investe nella realizzazione di strutture sovra dimensionate alle sollecitazioni, per cui se le sollecitazioni aumentano in modo importante, in modo repentino, cede. Se le sollecitazioni aumentano anno per anno, l'albero si adatta e costruisce anelli conformati in modo adatto per sostenere le sollecitazioni.
Venti eccezionali, al di fuori delle condizioni tipiche in cui è cresciuto l'albero, ne determinano la caduta o la rottura di parti.
Costruzioni che tagliano le radici e ne compromettono la capacità di ancoraggio al suolo possono determinare il ribaltamento del soggetto.
Ferite sul tronco, rami e radici possono far penetrare nell'albero i funghi cariogeni che scompongono il legno e ne imitano la resistenza.

Figura 3
Caria bruna e zona cava su un fusto arboreo provocata probabilmente dall'ingresso di funghi dalla vicina lesione.

Figura 4
Grave lesione provocata da errata potatura di un albero, con conseguente sviluppo di caria e di cavità.

COSA È UNA CARIE DEL LEGNO?

Una gran parte del tronco e dei grossi rami è formato da legno morto o non vitale. Le funzioni fisiologiche degli alberi sono concentrati sui primi 5-7 centimetri della circonferenza. Il resto del volume legnoso ha funzioni statiche necessarie a sostenere la struttura dell'albero.
Il legno è formato per la maggior parte da due componenti biochimiche: cellulosa e lignina.
La cellulosa resiste alla trazione, come i ferri di una struttura di cemento armato.
La lignina resiste alla compressione, come il cemento in una struttura di cemento armato.
Ci sono funghi che si nutrono di una o dell'altra componente e in entrambi i casi determinano la generazione di una struttura finale che non ha più capacità strutturali.
La maggior parte delle volte le carie sono nascoste all'interno dell'albero o nelle radici, per cui è molto difficile riconoscere i segni che ci fanno comprendere se l'albero ha problemi strutturali.
La stessa cosa succede anche per le componenti lignee delle strutture degli edifici e dei tetti.
In tutti i casi la vista esterna da parte di una persona non esperta non riesce per lo più a valutare correttamente la capacità di resistenza statica di un albero o di una grossa trave.
In particolare per le piante vive la sicurezza statica è un problema occulto in quanto ci sono piante perfettamente sane dal punto di vista fisiologico che però sono vicine al collasso dal punto di vista strutturale.

Figura 5
Travatura principale vistosamente attaccata da insetti xilofagi e funghi di caria bianca. La capacità strutturale di resistenza risulta compromessa.

LE PIANTE ALL'APPARENZA SANE SONO ANCHE STABILI?

No, il fatto che una pianta abbia una chioma perfetta, foglie verdi e un aspetto sano non esclude che la pianta abbia carie importanti nel tronco o nelle radici. Ci sono funghi che rimangono nascosti nel legno morto del tronco per decenni senza rivelarsi. Solo 5-7 cm della circonferenza esterna del tronco e delle branche sostengono l'intera vita fisiologica della pianta, ma tutto il tronco partecipa al sostengo dell'architettura del soggetto.
Per questo motivo anche una pianta apparentemente sana può spezzarsi.
Inoltre gli alberi si comportano strutturalmente come un palo di una nave con una vela. Più la pianta ha una chioma sana ed espansa, più la vela del palo è estesa e maggiori sono le sollecitazioni sul palo. Per cui una pianta secca facilmente resiste al vento meglio di una pianta piena di foglie. Se poi il palo della pianta con le foglie è forato o cariato la pianta può spezzarsi.

QUALI SITUAZIONI POSSONO COMPROMETTERE LA STABILITÀ DI UNA PIANTA SANA?

In tutti i casi una pianta sana, senza carie e senza difetti del legno è adattata a resistere ai venti e alle intemperie dell'ambiente in cui è nata. Potrebbe cedere ugualmente se dovesse resistere a venti eccezionali come le trombe d'aria o le bufere.
Anche piogge molto durature che determinano condizioni di imbibizione eccezionale del terreno potrebbero compromettere la capacità di ancoraggio delle radici, per cui è più frequente che le piante cadano quando ci sono piogge prolungate e forti venti.
In conclusione si deve considerare che il rischio zero non esiste e che di fronte a manifestazioni climatiche intense è importante non sostare sotto gli alberi.

Figure 6 e 7
Danni provocati dalla tempesta dell'ottobre 2020 a Domodossola e Ghiffa. I cambiamenti climatici producono sempre più sovente condizioni estreme di ventosità che gli alberi non sono in grado di sostenere.

COME GESTIAMO LA SICUREZZA DELLE PERSONE IN PRESENZA DEGLI ALBERI?

Ci sono due fondamentali metodi per gestire la sicurezza:

- controllare la capacità di resistenza statica dell'albero;
- allontanare le persone dall'albero.

COME SI CONTROLLA LA CAPACITÀ STATICA DELL'ALBERO?

Per ridurre il pericolo di cedimento di un albero è necessario monitorarlo costantemente, ovvero ogni 5, 3, 2 o 1 anno, nei casi più complessi.
A seconda delle condizioni dell'albero si può intervenire riducendo la chioma, ovvero la vela che intercetta il vento, consolidando i rami più compromessi con cavi speciali o abbattendo la pianta.
Per lo più il pericolo aumenta con l'invecchiamento dei soggetti arborei e a seguito dell'innescarsi di patologie del legno e delle radici unitamente al raggiungimento di dimensioni importanti.

QUALI SONO LE TECNICHE DI ANALISI DELLA CAPACITÀ STATICA DELL'ALBERO?

- **Verifiche visuali mediante l'applicazione del metodo VTA *(Visual Tree Assessment)***: anche se non è l'unica tecnica, è certamente la procedura di valutazione di stabilità degli alberi più diffusa in Italia e in Europa. Il metodo si fonda sul fatto che i difetti statici interni di un albero siano correlati a specifici sintomi visibili esternamente. L'analisi visiva, ovvero il riconoscimento e la codificazione di tali sintomi, è la parte più delicata dell'analisi e permette di identificare i soggetti sui quali è necessario compiere approfondimenti strumentali finalizzati a confermare e quantificare le anomalie strutturali che maggiormente influiscono sulla stabilità dell'albero.
- **Verifiche strumentali con *Resistograph***: il *resistograph* (penetrometro) è uno strumento che fornisce una valutazione qualitativa della resistenza meccanica residua di tessuti legnosi, parzialmente o totalmente degradati, misurando la resistenza alla perforazione e alla rotazione di una sonda di acciaio armonico di 1 millimetro. I sensori estremamente sensibili registrano ogni variazione delle resistenze incontrate e sono in grado di distinguere con chiarezza il legno sano e solido da quello alterato. Il limite dello strumento è che fa un'analisi su una unica retta, per cui si deve ripetere sovente il test su più punti della circonferenza dell'albero. Inoltre le radici profonde non sono indagabili dallo strumento.

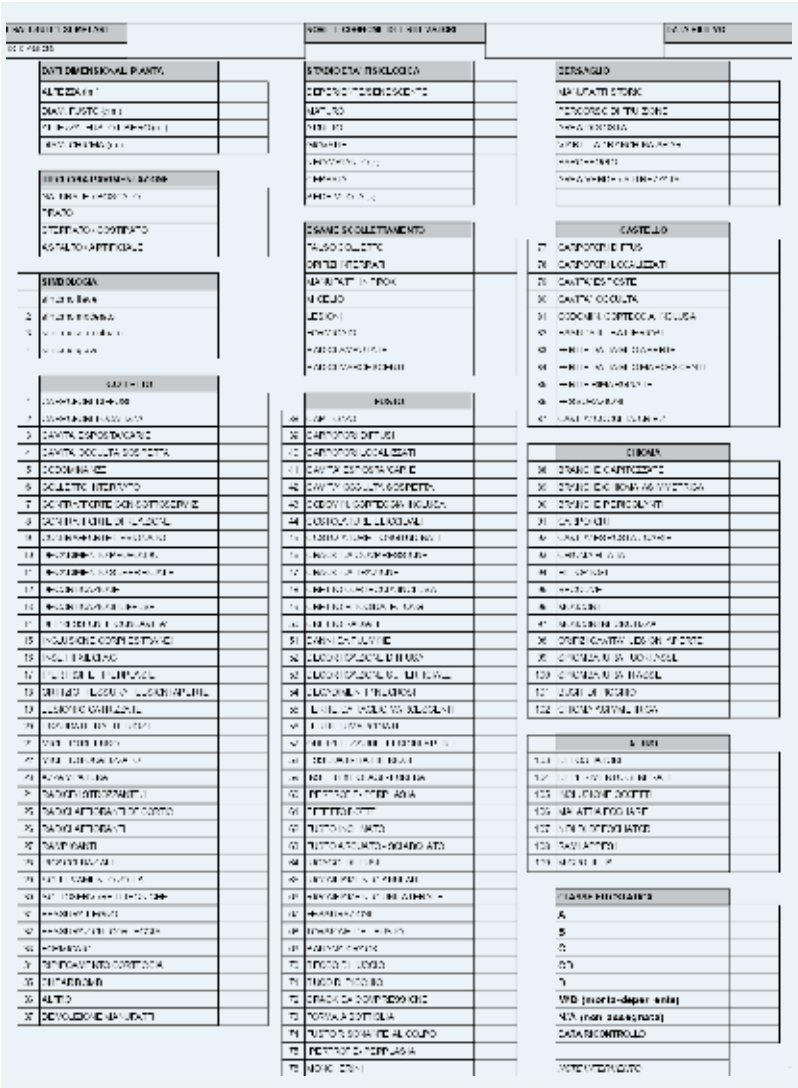


Figura 8
Esempio di scheda di rilievo per il controllo visuale della stabilità degli alberi secondo il metodo VTA (*Visual Tree Assessment*).

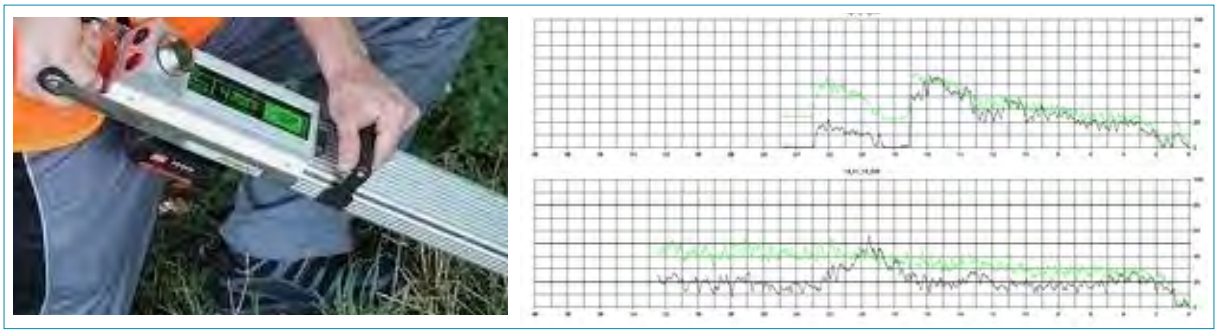


Figura 9
Resistograph elettronico con registrazione *software* dei dati e visualizzazione del risultato a *display*.

- **Verifiche strumentali con Tomografo sonico:** il tomografo è uno strumento capace di analizzare una intera sezione dell'albero mediante l'applicazione di sensori sonici intorno alla circonferenza. L'incrocio dei dati (onde sonore) provenienti da tutti i sensori all'azione di percussione sequenziale su tutti i punti di penetrazione dà origine a una ecografia sonica della sezione. La restituzione del dato permette di quantificare e localizzare aree a bassa conducibilità corrispondenti ad alterazioni meccaniche (carie del legno). Il limite dello strumento è l'assenza di dati sullo strato radicale della pianta, ovvero la capacità di ancoraggio dell'albero.

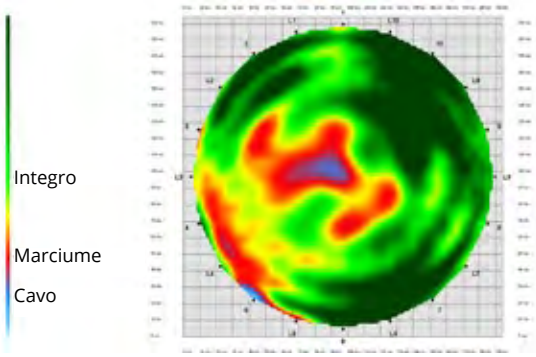


Figura 10
Tomografia sonica della sezione di un platano, si vedono i sensori posizionati sulla circonferenza

- **Verifica mediante *Pulling Test: il Pulling Test*** è un sistema capace di sottoporre l'albero oggetto di indagine a un carico progressivo verso una direzione di interesse (direzione dei venti prevalenti o di bersagli sensibili). Alla base dell'albero vengono posizionati inclinometri ad alta precisione che misurano il movimento della zolla radicale al millesimo di grado. La prova simula il carico del vento secondo una serie di parametri (altezza, superficie della chioma, fattore di permeabilità della chioma, ecc.), con restituzione della propensione allo scalzamento in base alla velocità del vento (*Safety Factor*).

Figura 11 e 12
Prove di *Pulling test* dove è visibile il cavo su cui andrà misurata la tensione e la resistenza radicale della pianta, il *tirfort* posizionato al colletto e il risultato che restituisce lo strumento di analisi.

- **Verifica mediante *Dynaroot:*** il *Dynaroot* ha come principio di funzionamento quanto descritto per il *Pulling Test*, con la differenza che le sollecitazioni non vengono indotte per trazione, ma registrate con la naturale spinta del vento. In questo caso un anemometro ad alta precisione misura forza e direzione del vento presente in quel momento, "dialogando" con gli inclinometri posizionati sulla pianta oggetto di indagine. Questo sistema non prevede l'uso di ancoraggi, risultando particolarmente vantaggioso nei casi di alberature stradali o contesti con spazio limitato, evitando chiusure al traffico per l'esecuzione delle prove.

Figura 13 a sinistra
Anemometro per la misurazione del vento.

Figura 14 a destra
Inclinometro fissato alla base della pianta.

COME SI ABBASSA IL RISCHIO ALLONTANANDO I BERSAGLI?

Come abbiamo detto, il rischio zero non è raggiungibile. In presenza di bufere e di trombe d'aria cadono anche gli alberi sani e senza difetti statici. In particolare gli alberi hanno problemi importanti di stabilità a partire da una sollecitazione ventosa di 70-75 km orari. In presenza di venti di questa intensità non si dovrebbe mai sostare in vicinanza di un albero ed è consigliabile assumere atteggiamenti prudenti, come porsi alla distanza di una volta e mezzo l'altezza degli alberi presenti.
In queste condizioni non contano più tutti i monitoraggi effettuati, l'unico rimedio è fare in modo che le persone non siano presenti.
Per questo motivo in molti giardini si sono introdotti cartelli di informazione con pittogrammi di sicurezza (pittogrammi a forma triangolare con cornice di colore rosso su sfondo bianco):

	Indica il pericolo di caduta alberi o rami in caso di forte vento. L'azione consigliata è quella di recarsi rapidamente nelle aree di sicurezza predisposte.
	Indica il pericolo di fenomeni di folgorazione in caso di temporali. L'azione consigliata è quella di recarsi rapidamente nelle aree di sicurezza predisposte.
	Indica il pericolo di caduta neve sospesa o ghiaccio a terra in caso di nevicate. L'azione consigliata è quella di utilizzare calzature adeguate e porre attenzione ai carichi di neve sospesi e al fondo ghiacciato.

Si sta cercando di ottimizzare le informazioni utili all'adozione di un corretto comportamento mediante tutti i canali come le *App* di visita, i siti *social* e i siti ufficiali.

COME FUNZIONA IL SISTEMA DI SICUREZZA DEGLI ANEMOMETRI ALLARMATI?

È difficile per una persona comune valutare se il vento presente risulta critico per le condizioni del giardino che sta visitando, anche perché le persone sono sempre meno consapevoli delle dinamiche delle forze naturali, diversamente dai nostri progenitori che vivevano in campagna.
All'interno di giardini storici, ultimamente si sta sperimentando l'adozione di anemometri dotati di allarme, in grado di avvisare i fruitori della presenza di raffiche di vento sopra la soglia di sicurezza.
Le soglie di allarme sono stabilite sulla base delle intensità (scala *Beaufort*) capaci di provocare progressivi danni agli alberi; esse sono identificate come di soglia di allerta (la prima), con emissione sonora intermittente e soglia di pericolo (la seconda), con emissione sonora prolungata.
Questi strumenti risultano particolarmente utili non solo per la prevenzione dei rischi ma anche per la progettazione dei giardini e per l'analisi *ex post* degli eventi avversi.
La possibilità di monitorare e registrare il vento presente in modo continuo ci consente di verificare cambiamenti climatici in atto, fare scelte sulla necessità di sostituire determinate specie, di comprendere quali sono i limiti di ventosità che mettono a rischio specificamente i soggetti arborei del giardino in analisi e anche, in ultimo, di capire fino a che punto si possono conservare soggetti arborei compromessi o limitare la fruizione attorno a essi.
Per esempio, per alcuni soggetti arborei si può vietare l'avvicinamento delle persone.

Figura 15
Grande platano senescente caratterizzato da parametri di resistenza statica insufficiente per permettere la fruizione in sicurezza dell'area sottostante, per cui si è provveduto a interdire l'avvicinamento delle persone.

PERCHÉ REALIZZARE UN RILIEVO E UN CENSIMENTO DEL VERDE ARBOREO?

Tutte le attenzioni e le necessità di gestione sopra dette rendono necessario avere sempre perfettamente chiaro lo stato degli alberi presenti, realizzare verifiche con cadenza regolare e registrare le variazioni delle condizioni di sicurezza degli alberi o gli interventi di potatura e consolidamento effettuati nel tempo.
Sopra il centinaio di piante è necessario avere un sistema ordinato e automatico di registrazione per non commettere errori o mancanze.
Attualmente nei giardini storici importanti si effettuano:

- una cartellinatura completa degli alberi presenti;
- la cartografia della loro posizione;
- la creazione di un *database* capace di raccogliere tutte le informazioni del soggetto.

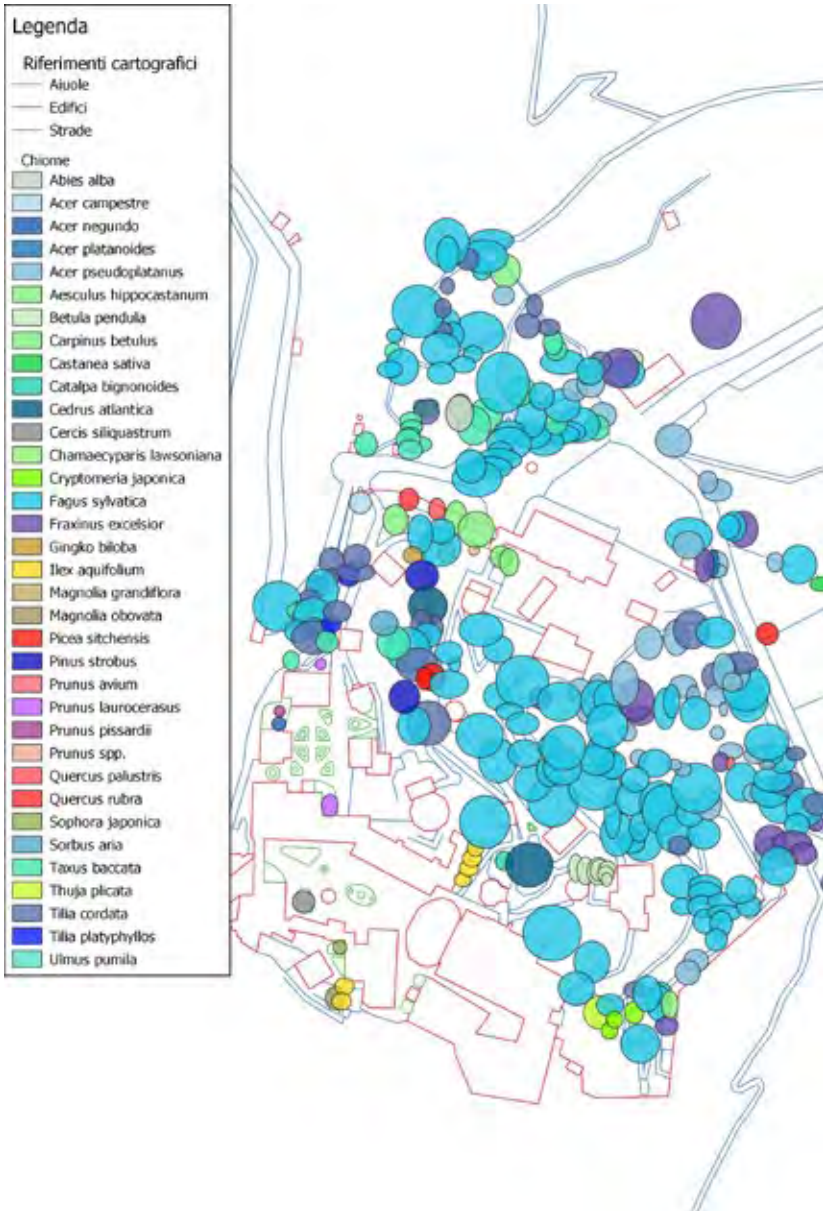


Figura 16
Esempio di cartografia degli elementi arborei presenti all'interno dell'area sacra del Sacro Monte di Varallo.

COME SI ESEGUE UN RILIEVO DEL VERDE (PATRIMONIO ARBOREO)?

Un rilievo del verde si esegue attraverso la raccolta di dati inerenti i soggetti arborei che compongono un giardino. Si va fisicamente sul campo con una carta elementi del costruito e si segnano i seguenti dati di particolare importanza:

- assegnazione di un codice alfanumerico univoco;
- punto esatto di radicazione;
- specie botanica;
- caratteristiche geometriche: altezza, diametro del tronco, altezza del primo palco, altezza del castello della chioma, larghezza della chioma con quattro raggi in direzione nord-sud-ovest-est;
- valutazione dello stato fitopatologico e dello stadio evolutivo;
- indicazione degli interventi di potatura e consolidamento effettuati;
- danni presenti di particolare importanza;
- valutazione di stabilità dell'albero VTA;
- valutazioni strumentali effettuate;
- valutazioni o misurazioni pregresse;
- indicazioni della classe di propensione al cedimento;
- Indicazione degli interventi da eseguire per una corretta gestione.

COME AVVIENE IL PASSAGGIO DAL RILIEVO DEL VERDE AL *DATABASE* DI GESTIONE?

Il passaggio dal rilievo del verde arboreo avviene riportando i dati in un sistema di registrazione informatica che connette i dati della pianta alla sua posizione cartografica.
Il *database* deve essere costruito in modo da poter essere implementato nel tempo, consentendo la registrazione delle azioni fatte sulla pianta e delle sue caratteristiche sino alla sua morte o al suo abbattimento.
La connessione tra *database* e strumenti di cartografia tematica come QGIS consentono di avere una restituzione di facile lettura su cui possono essere evidenziati gli attributi di utilità.
Per esempio è possibile estrarre:

- tutte le piante che necessitano di un controllo in quanto è scaduto il tempo di sicurezza assegnato;
- le piante che non hanno ricevuto interventi di potatura negli ultimi 3-5 anni;
- i costi annui di manutenzione con la conseguente previsione degli investimenti necessari.

Le cartografie sono anche particolarmente utili per progettare interventi di riordino e di restauro del giardino, in quanto ne restituiscono lo stato di fatto.

È POSSIBILE STIMARE IL VALORE DI UNA PIANTA O DI UN GIARDINO?

Con la costruzione e il continuo aggiornamento dei database sopra descritti è possibile applicare delle formule di stima del valore sperimentale in varie parti del mondo, compresa l'Italia.

COME STA OPERANDO IN PROPOSITO L'ENTE DI GESTIONE DEI SACRI MONTI?

L'Ente di gestione dei Sacri Monti sta sperimentando una variazione di una formula utilizzata dal Comune di Torino che mette in relazione:

- l'interesse naturalistico o ornamentale della specie;
- il valore estetico del soggetto;
- la localizzazione in termini di importanza funzionale o interferenza negativa;
- le dimensioni;
- le criticità che ne determinano il deprezzamento (criticità di salute e staticità).

Dall'applicazione del metodo si è evidenzata la presenza presso i Sacri Monti di soggetti arborei a cui è possibile assegnare un valore di più di 10.000 euro e un valore complessivo dei giardini storici gestiti che va dai 200.000 agli 800.000 euro, per un valore complessivo del verde arboreo dei giardini storici gestiti dall'Ente pari a circa 1.500.000 euro.
Questi valori rendono comprensibili e forse accettabili necessità di gestione ordinaria che si aggirano intorno ai 100.000 euro/anno.

Comune di Torino → $V.o. = (b \times c \times d \times e) - f$
[Regolamento del verde pubblico e privato della città di Torino]

- b → Indice della specie e varietà
- c → Indice del valore estetico e stato fitosanitario
- d → Indice della localizzazione
- e → Indice delle dimensioni
- f → Deprezzamento

Metodo *Full CAVAT*

- Valore base
- Densità di popolazione
- Accessibilità
- Stato vigore e salute
- Aspettativa di vita
- Fattori speciali

(a)	(b)
Prezzo di vendita al dettaglio (ridotto del 24,30% - utile d'impresa)	a/10

Descrizione	(c)
Soltana	5
Filare	4
Gruppo	3
Bordo percorso	2,5
Bosco	1

Descrizione	(c2)
Condizioni ottime	3
Vitalità legg. alterata	2
Seccume in chioma	1
Carpofori	0,8
Clorosi	0,8
Scottature fusto/colletto	0,8
Vitalità alterata	0,6
Carie sul fusto	0,7
Carie al colletto	0,6
Deperiente	0,5
Morto	0,25

Localizzazione	(d)
Giardino storico	3
Area di fruizione	2
Area naturaliforme	1

Diametro (cm)	(e)
10	1
...	...
150	35

Descrizione	(f)
Piante senza danni	1
Piante con danni o ferite di modesta identità	0,9
Piante fenule a dim. ridotte per esigenze di stabilità	0,7
Piante con ferite e cavità di rilevanti dimensioni	0,5
Piante con ferite, cavità, capitozzature	0,3

Descrizione	(g)
Grande importanza storico-simbolica-paesagg.	5
Grande importanza naturalistica-ambientale	3
Importanza naturalistico-ambientale	1,5
Pianta indifferente	1
Pianta con problemi di adattamento, stazione	0,8
Pianta esotica invasiva naturalizzata	0,5
Pianta esotica invasiva	0,1

Figura 17

3

NUOVI STRUMENTI PER UNA CONOSCENZA DIFFUSA E CONDIVISA

Marco Cerutti
Elisabetta Colucci
Matteo Del Giudice
Sara Fasana
Emmanuele Iacono
Marco Indolfi
Andrea Maria Lingua
Francesca Matrone
Gianvito Marino Ventura
Marco Zerbinatti

3.1 INTRODUZIONE ALLA DIGITALIZZAZIONE PER IL COSTRUITO **3 | 3**

3.1.1 POTENZIALITÀ DELLA DIGITALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO 5

3.1.2 DAL RILEVAMENTO ALLA MODELLAZIONE 7
IL RILIEVO METRICO 3D: LE NUVOLE DI PUNTI
LE NUVOLE DI PUNTI: IL CONTENUTO INFORMATIVO
DALLA REALTÀ AL MODELLO DIGITALE: LO *SCAN-TO-BIM*
INTEGRAZIONE BIM-GIS: PRO E CONTRO

3.1.3 DALLA CONOSCENZA ALLA CONCEZIONE DI UN MODELLO *BIM* 19
MODELLAZIONE E CONOSCENZA DEL COSTRUITO
LE FASI DELLA CONOSCENZA
LA CONCEZIONE DEL MODELLO E LA SUA IMPOSTAZIONE

3.2 STRUMENTI INNOVATIVI PER LA RAPPRESENTAZIONE, IL PROGETTO E LA GESTIONE DEL COSTRUITO **3 | 31**

3.2.1 STRUMENTI DIGITALI PER IL MONDO DELLE COSTRUZIONI 33

3.2.2 STRUMENTI PER IL RILIEVO METRICO SPEDITIVO DEI FRONTI 44

3.2.3 IL *DATABASE* SPAZIALE E LA SUA GESTIONE 48
IL *DATABASE* DEL PROGETTO *MAIN10ANCE*

3.3 SCENARI FUTURI **3 | 55**

3.3.1 PIATTAFORME MULTISCALARI E CONDIVISIONE DI DATI: RISPOSTE LOCALI A SFIDE GLOBALI 57
PIATTAFORMA *MAIN10ANCE*
MAIN10ANCE LIVELLI DI AUTORIZZAZIONE
MAIN10ANCE APP
MAIN10ANCE ID
MAIN10ANCE MODEL MANAGER

3.3.2 DAL PIANO DI MANUTENZIONE PROGRAMMATA AL “FASCICOLO DEL FABBRICATO” 75

3.0
INTRODUZIONE

Questa sezione si pone l'obiettivo di affrontare il tema della digitalizzazione del costruito con particolare riferimento alle potenzialità che l'applicazione di metodi e strumenti innovativi può offrire in relazione con i temi specifici affrontati dal Progetto di Ricerca Interreg MAIN10ANCE.
Con un taglio sintetico e operativo, i capitoli che seguono espongono alcuni richiami a fondamentali criteri operativi utili

- per l'adozione del metodo BIM, o HBIM,

- per l'utilizzo di strumenti innovativi per il rilievo e la modellazione del costruito,

- per l'utilizzo della Piattaforma MAIN10ANCE, lo strumento integrato BIM-GIS Data Base ideato a allestito nell'ambito del progetto.

Occorre essere consapevoli dei numerosi ostacoli che ancora si frappongono a un'ampia adozione di questi strumenti, tanto da parte dei progettisti, quanto da parte di gestori, amministratori e Enti territoriali, in ragione dell'investimento, non solo economico, che la cosiddetta "transizione digitale" comporta; allo stesso tempo, è necessario riconoscere gli indubbi vantaggi che, in una prospettiva a medio-lungo termine, questo processo può offrire. Vantaggi che, nel caso specifico dei Sacri Monti, vanno dalla semplice possibilità di ampliare i modi di fruizione del patrimonio, alla efficienza nella programmazione degli interventi manutentivi, alla efficacia nella capitalizzazione della conoscenza, nella sua più ampia accezione; ma vantaggi che sarebbero significativi anche nel caso del patrimonio ecclesiastico, sino al caso del patrimonio diffuso.

La prospettiva con cui sono stati individuati gli argomenti tiene conto di alcuni aspetti, che si ritengono basilari per affrontare in modo pragmatico un tema così complesso:

- la necessità di porre le basi per un lessico condiviso

- l'importanza di declinare caso per caso, in ragione della complessità, delle risorse e dell'urgenza, l'utilizzo degli strumenti secondo le esigenze effettive

- il valore aggiunto rappresentato dalla possibilità di accedere a informazioni strutturate secondo un metodo comune e condiviso.

3.1
INTRODUZIONE ALLA DIGITALIZZAZIONE DEL COSTRUITO

Sara Fasana

Sono ormai consolidate e discretamente diffuse le metodologie per la digitalizzazione del costruito con straordinarie potenzialità, poiché in grado di supportare la redazione di elaborati in grado di rispondere in modo efficace a molteplici esigenze, che possono spaziare dalla divulgazione, alla fruizione supportata della realtà aumentata in ottica di inclusività, all'efficienza per la gestione, alla pianificazione e al controllo delle attività manutentive, sino alla valutazione della capacità statica residua di un edificio o di una parte del suo organismo, in presenza di stati di deformazione o di manifesto quadro fessurativo. Tra le sfide più significative, in analogia a campi paralleli, vi è senz'altro la capacità di saper individuare, caso per caso, quale sia il livello necessario e sufficiente affinché il ricorso alla digitalizzazione risulti sostenibile e commisurato agli obiettivi. I contributi di questo capitolo hanno lo scopo di illustrare le potenzialità del metodo e di esporre alcuni basilari principi per la sua applicazione.

3.1.1 POTENZIALITÀ DELLA DIGITALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO

di Andrea Maria Lingua e Francesca Matrone

Figura 1
Esempi di laser scanner (in alto) e droni (in basso) per la digitalizzazione del patrimonio architettonico e territoriale.

PERCHÉ DIGITALIZZARE IL PATRIMONIO?

La digitalizzazione 3D è preziosa per molti scopi:

- può supportare vari campi quali la ricerca, l'istruzione, l'esplorazione e il riutilizzo creativo o legato al turismo;
- è una necessità per il patrimonio culturale tangibile a rischio, ai fini della conservazione e del restauro;
- può permettere una fruizione virtuale al patrimonio culturale di difficile accesso o inaccessibile, ad es. sott'acqua;
- può ampliare l'accesso al patrimonio culturale per le persone con disabilità visive, contribuendo alla creazione di esperienze tattili accessibili;
- può contribuire a una migliore protezione dei siti e degli oggetti del patrimonio culturale fisico, consentendo un avanzamento della conoscenza grazie alla "consultazione" di modelli 3D, anziché la manipolazione diretta[1].

QUALI BENI CULTURALI POSSONO ESSERE DIGITALIZZATI?

Il concetto di bene culturale è molto vasto, pertanto la lista di beni che può essere digitalizzata è molto ampia, ma si può suddividere in due categorie: beni mobili (come libri e manoscritti antichi, foto, video, statue, quadri ecc.) e beni immobili (patrimonio architettonico). In generale, con tecniche differenti, è oggi possibile digitalizzare ogni tipo di bene culturale materiale.
Come si digitalizza il patrimonio?
Esistono plurime tecniche, applicabili a seconda del bene da digitalizzare. Nel campo dei beni culturali mobili si possono utilizzare dei laser scanner (solitamente triangolatori) oppure la tecnica fotogrammetrica. Per quanto riguarda il patrimonio architettonico, invece, esistono tecniche che prevedono l'integrazione di laser scanner terrestri, droni (per la fotogrammetria) e *Mobile Mapping Systems*.

1. DCHE N.D.

Figura 2
Chiesa digitalizzata per il progetto INCEPTION (sopra) e modelli 3D di reperti archeologici digitalizzati per il progetto ResCult (sotto). www.rescult-project. eu/.

UN ESEMPIO DI APPLICAZIONE?

Un progetto europeo chiamato INCEPTION[2,3] utilizza i modelli HBIM del patrimonio architettonico acquisendo questi dati e caricandoli sulla sua piattaforma dove sono accompagnati dalle coordinate geospaziali per poterli posizionare su una mappa globale.

I modelli sono stati poi arricchiti con informazioni digitali esplicative (come documenti storici) corrispondenti a caratteristiche fisiche o interventi nel tempo.

Utilizzando un *web browser standard,* gli utenti (dagli studiosi ai cittadini) possono cercare i modelli caricati sulla piattaforma gratuitamente e possono interagire con il modello in loco, utilizzando strumenti di realtà virtuale (RV) o da remoto tramite piattaforma web.
Questo esempio ci permette di capire come il patrimonio digitalizzato sia fruibile in diversi modi e come possa essere sfruttato a diversi scopi, non solo dai professionisti.

Analogamente, il **Progetto Main10ance**, che si basa sullo stesso principio, ha lo scopo di supportare la manutenzione e la conservazione programmata del patrimonio architettonico.

2. European Commission (CORDIS) 2021
3. www.inception-project.eu/en

3.1.2 DAL RILEVAMENTO ALLA MODELLAZIONE

di Francesca Matrone

IL RILIEVO METRICO 3D: LE NUVOLE DI PUNTI

Figura 3
Nuvola di punti di un apparato decorativo.

CHE COS'È UNA NUVOLA DI PUNTI?

La nuvola di punti (*point cloud* in inglese) è una rappresentazione geometrica tridimensionale di un oggetto e può essere creata di qualsiasi manufatto o superficie, da quelli più piccoli come una statua o un quadro, fino a quelli più grandi come un edificio o una parte di territorio.

QUALE STRUTTURA HA?

Come espresso dal nome stesso, è un insieme di punti, in cui ognuno di essi è dotato di tre coordinate note (x, y, z) rispetto a un dato sistema di riferimento. Grazie a queste informazioni è possibile misurare distanze, aree e volumi tra i punti.

Figura 4
Nuvola di punti del Comune di Tolentino (MC) e della Basilica di San Nicola.

A COSA SERVE?

Può essere utile a diversi scopi:

- nel caso di rilievi topografici serve da supporto per la produzione di modelli altimetrici rappresentanti l'andamento del terreno o di superficie, i cosiddetti **DTM** (*Digital Terrain Models*) e **DSM** (*Digital Surface Models*)[1], oppure di ortofoto;
- come base per la creazione di mesh, ossia superfici areali utilizzate nella realtà virtuale o aumentata;
- nel campo del disegno tecnico è spesso utilizzata come base per la restituzione 2D o 3D (in software come *Autodesk AutoCAD* o *Revit*). Nel caso dei modelli 3D, è il punto di partenza per il processo scan-to-BIM (v. scheda 3).

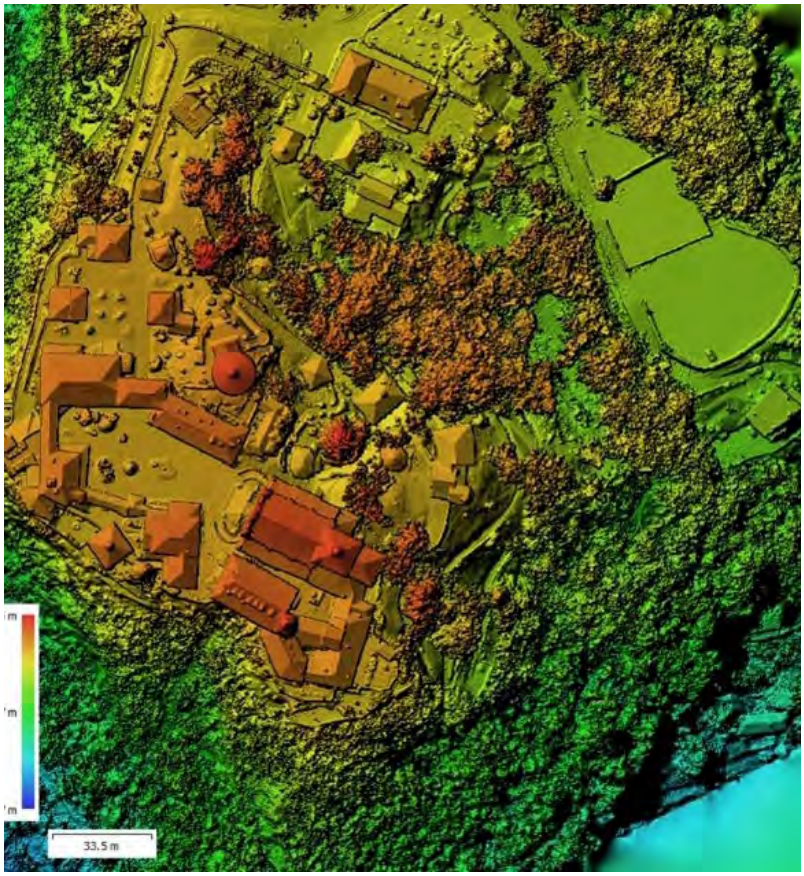


Figura 5
DSM del Sacro Monte di Varallo.

COME ACQUISISCO I DATI PER LA CREAZIONE?

Si possono utilizzare **Aeromobili a Pilotaggio Remoto** (APR, comunemente detti droni) che acquisiscono le immagini e successivamente, tramite tecniche fotogrammetriche, restituiscono la nuvola di punti, oppure i laser scanner, sia aerei che terrestri[2]. In entrambi i casi è necessario post-processare i dati grezzi per

1. Gomarasca 2009, 506.
2. Stylianidis, Remondino 2016.

ottenere la nuvola di punti densa finale. Negli ultimi anni, si sono anche diffusi i **Mobile Mapping Systems** (MMS) che creano le nuvole di punti in tempo reale.

QUALI *SOFTWARE* POSSO UTILIZZARE PER L'ELABORAZIONE?

In commercio ce ne sono molti. Per le immagini acquisite da drone, tra i più comuni si possono citare: *Agisoft Metashape, Pix4D, 3D Zephyr, ContextCapture* o *MicMac* (quest'ultimo è libero). Per i *laser scanner*, invece, i software sono solitamente legati alla casa produttrice dello strumento come *Leica Cyclone 3D* o *FARO Scene*.

QUALI *SOFTWARE* POSSO SCEGLIERE PER LA GESTIONE?

Anche in questo caso, come nel precedente, c'è un'ampia scelta. *CloudCompare* è quello più comunemente utilizzato, essendo un *software* libero, ma anche *3DReshaper*, seppur a pagamento, è una valida alternativa.

LE NUVOLE DI PUNTI: IL CONTENUTO INFORMATIVO

CHE INFORMAZIONI PUÒ CONTENERE UNA NUVOLA DI PUNTI?

Ogni punto, oltre a essere descritto tramite le coordinate 3D, può contenere anche altre informazioni quali:

- la **componente radiometrica**, ossia il colore, solitamente espressa tramite i canali RGB (*Red Green Blue*);
- la **riflettanza**. Nel caso dell'utilizzo di *laser scanner*, la riflettanza indica la percentuale del segnale laser che la superficie dell'oggetto colpita è in grado di riflettere. Per le superfici molto scure i valori di riflettanza tendono a 0, mentre le superfici chiare possono avere valori tra il 70 e l'85%;
- le **normali**, ossia vettori normali a una superficie creata localmente (attorno a ogni punto). Esse sono utili per ottenere informazioni sull'orientamento/giacitura di piani oppure per la creazione delle *mesh* (v. scheda 1);
- i **campi scalari**. Un campo scalare è un insieme di valori (uno per punto) che è possibile visualizzare come colori (con scale di colore personalizzate) o a cui si possono applicare operazioni matematiche di base (esp, log, cos, sin, tan ecc.) o filtri. Questi valori possono aiutare a gestire meglio le nuvole di punti, come segmentarle, o evidenziarne alcune caratteristiche.

È GEOREFERENZIATA?

Sì. Le coordinate dei punti sono espresse secondo il sistema di riferimento utilizzato durante l'acquisizione della rete d'inquadramento e il rilievo dei punti di appoggio o *marker*. Grazie a questa caratteristica, è possibile integrare le nuvole di punti derivanti da vari sensori (droni, *laser scanner* e MMS) e ricavare dati spaziali georiferiti quali gli *shapefile* per l'ambiente GIS (*Geographic Information System*)[1].

1. Schuurman 2004.

Figura 6
Nuvola di punti del Sacro Monte di Varallo – RGB.

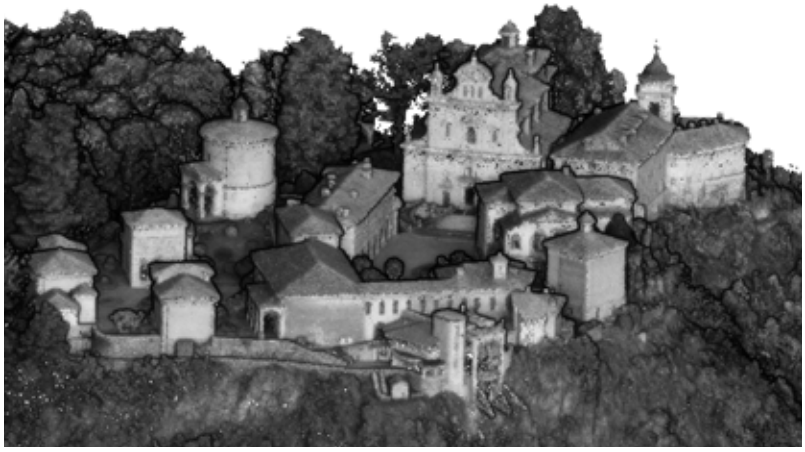


Figura 7
Nuvola di punti del Sacro Monte di Varallo – riflettanza.

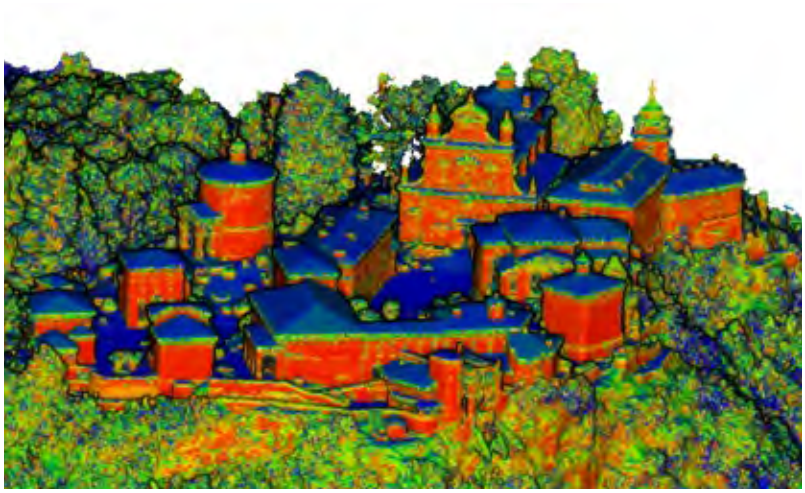


Figura 8
Nuvola di punti del Sacro Monte di Varallo – campo scalare della verticalità.

QUALI SONO I FORMATI IN CUI POSSO SALVARLA?

A seconda del *software* scelto per l'elaborazione (v. scheda 1) è possibile scegliere diversi formati. In particolare:

- il formato ASCII consente di salvare in formati testuali come .txt, .pts, .csv;
- LAS, nato per i dati LiDAR, non compatto, ma in grado di memorizzare ogni contenuto informativo della nuvola di punti;
- e57, formato *open*, compatto e strutturato per una rapida lettura dei dati;
- XYZ, non è compatto né strutturato, è però un buon formato per il trasferimento perché è semplice da leggere e da scrivere. Inoltre, non ha limiti per la memorizzazione delle coordinate.

COME SONO REGISTRATI I DATI?

Qualora si opti per il formato ASCII o XYZ, la consultazione dei dati è molto semplice, infatti è sufficiente aprire il file con qualsiasi *editor* di testo, ad esempio *Notepad*++, per visualizzare tutti i dati contenuti. In particolare, vengono salvati per ogni riga (corrispondente a ciascun punto): le tre coordinate e gli eventuali valori RGB, riflettanza, normali ecc. .

ground_points.txt

```
1      x                y                z          R  G  B
2  393714.87389374,4944536.39663696,312.12976074,77,77,77
3  393702.87389374,4944538.39663696,312.84072876,61,60,60
4  393704.87389374,4944538.39663696,313.02609253,53,55,57
5  393706.87389374,4944538.39663696,313.27340698,64,74,73
6  393708.87389374,4944538.39663696,313.04650879,71,77,77
7  393710.87389374,4944538.39663696,312.81964111,79,81,81
8  393712.87389374,4944538.39663696,312.47302246,77,77,78
9  393714.87389374,4944538.39663696,312.21789551,72,72,73
10 393716.87389374,4944538.39663696,312.14727783,72,73,74
11 393718.87389374,4944538.39663696,312.25234985,72,73,74
12 393720.87389374,4944538.39663696,312.29873657,72,72,73
13 393702.87389374,4944540.39663696,313.11572266,94,78,76
14 393704.87389374,4944540.39663696,312.99548340,69,69,68
15 393706.87389374,4944540.39663696,313.24890137,77,84,83
16 393708.87389374,4944540.39663696,313.28259277,89,89,89
17 393710.87389374,4944540.39663696,312.81625366,78,78,79
18 393712.87389374,4944540.39663696,312.56112671,72,73,74
19 393714.87389374,4944540.39663696,312.30603027,67,68,70
20 393716.87389374,4944540.39663696,312.17700195,63,65,66
21 393718.87389374,4944540.39663696,312.16482544,67,69,71
22 393720.87389374,4944540.39663696,312.32849121,68,71,72
23 393722.87389374,4944540.39663696,312.37490845,68,70,71
24 393724.87389374,4944540.39663696,312.42129517,67,69,70
25 393726.87389374,4944540.39663696,312.46771240,67,68,69
26 393728.87390137,4944540.39663696,312.51409912,66,67,68
```

Figura 9
Struttura di una nuvola di punti.

DALLA REALTÀ AL MODELLO DIGITALE: LO *SCAN-TO-BIM*

QUALI OPERAZIONI BISOGNA SVOLGERE SULLA NUVOLA DI PUNTI PRIMA DI POTERLA IMPORTARE IN UN SOFTWARE PER LA MODELLAZIONE PARAMETRICA?

Dopo le elaborazioni, se la dimensione del file dovesse essere eccessiva, è necessario **sottocampionare** la nuvola di punti, riducendo così il numero di punti. Durante quest'operazione, che si può svolgere automaticamente con i *software* elencati in scheda 1, bisogna però prestare attenzione a non eliminare troppi punti, lasciando uno spazio tra di essi inferiore alla precisione della scala di rappresentazione scelta.

Oltre al sottocampionamento, si può anche procedere con una **pulizia manuale** di eventuali elementi superflui (alberi, macchine, persone ecc.) e all'eliminazione del rumore e dei punti doppi. Infine, talvolta, è necessario **troncare le coordinate** (sempre tramite *CloudCompare*) in modo da rendere la nuvola più gestibile dai *software*.

CHE SOFTWARE DEVO UTILIZZARE PRIMA DELL'IMPORTAZIONE?

La risposta a questa domanda dipende strettamente dal programma parametrico scelto:

- nel caso di *Autodesk* Revit, è obbligatorio passare da *ReCap* (*Reality Capture* di Autodesk) per salvare le nuvole di punti in formato .rcp;
- se invece si opta per *Edificius* (di Acca software) non ci sono passaggi intermedi e si può importare direttamente la nuvola di punti in formato .e57;
- medesima procedura per *ArchiCAD* di Graphisoft, in cui si collega direttamente il file .e57;
- *Allplan* di Nemetscheck richiede infine l'utilizzo del *plug-in Scalypso* che legge diversi formati, dall'.e57 all'ASCII.

LA MODELLAZIONE DA NUVOLA DI PUNTI È MANUALE O AUTOMATICA?

Purtroppo, attualmente, la restituzione è quasi tutta manuale. Esistono però dei *plug-in* che aiutano nel riconoscimento e ricostruzione di elementi più semplici quali murature, coperture o tubature. Nota positiva: i *software* di modellazione orientata a oggetto si stanno evolvendo e sviluppando molto velocemente, quindi, nei prossimi anni, il processo sarà sempre più automatizzato.

Figura 10
Confronto tra la nuvola di punti e il modello HBIM – colonnato.

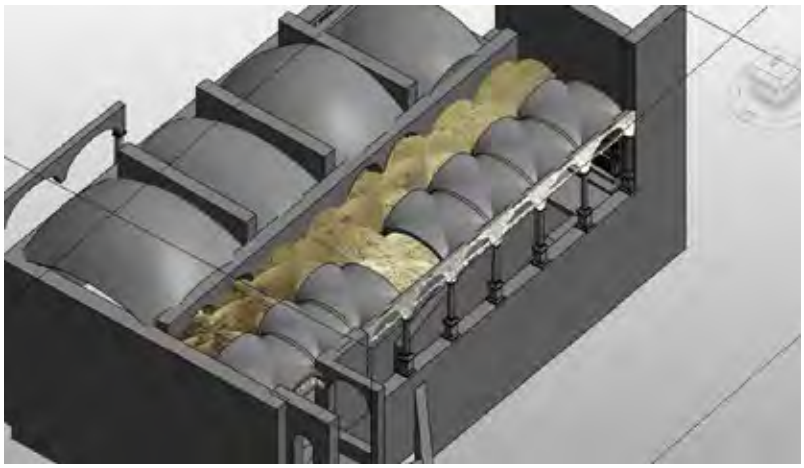


Figura 11
Confronto tra la nuvola di punti e il modello HBIM – volte.

Figura 12
Ricostruzione semi-automatica delle murature tramite plug-in.

SI PUÒ CREARE UNA SUPERFICIE DEL TERRENO PER I MODELLI BIM?

Certo. Anche in questo caso, come per la domanda precedente, la procedura d'importazione dipende dal programma scelto; tuttavia, i dati di partenza sono gli stessi. In particolare, si possono utilizzare:

- i file .dxf o .dwg con le curve di livello;
- le nuvole di punti contenenti solo i punti del terreno;
- i dati scaricabili da *Google Maps*.

Figura 13
Modello del terreno del Sacro Monte di Varallo ricostruito in *Revit* a partire dalla nuvola di punti.

INTEGRAZIONE BIM-GIS: PRO E CONTRO

QUAL È LA DIFFERENZA TRA I DATI BIM E GIS?

La differenza principale risiede nella scala di rappresentazione del dato.

I modelli BIM descrivono principalmente le geometrie di un **edificio** o di un **complesso architettonico**, mentre i dati GIS rappresentano dati geospaziali **urbano-territoriali**. I dati GIS sono solitamente in 2D e quelli in 3D hanno un livello di dettaglio sicuramente inferiore rispetto a quello dei modelli BIM, che sono in grado di definire le singole componenti architettoniche di un edificio.

QUAL È IL FORMATO DEI FILE?

I dati GIS sono primariamente salvati in *shapefile* (.shp), invece i modelli BIM possono essere salvati nel formato proprietario del *software* utilizzato oppure in IFC (*Industry Foundation Classes*). Quest'ultimo è un formato interoperabile, basato sullo stesso principio del .dxf dei *software* CAD.

COSA SONO L'INTEGRAZIONE BIM-GIS E L'INTEROPERABILITÀ?

L'integrazione BIM-GIS è il processo che permette di scambiare i dati da un sistema all'altro senza perdita d'informazioni e con la possibilità di interrogarli all'interno di un unico *database*. Grazie a questo approccio, i dati GIS arricchiscono d'informazioni il modello BIM e il BIM a sua volta alimenta i dati dei sistemi informativi GIS.

Con l'espressione interoperabilità si intende invece la capacità di scambiare agevolmente dati tra diversi *software*, facilitando così l'automazione e la collaborazione tra i diversi professionisti e operatori.

QUALI SONO I VANTAGGI?

In un unico contenitore si riesce ad avere il modello geometrico dell'opera, le schede tecniche, ma anche i dati GIS relativi al territorio in cui si trova l'infrastruttura (viabilità stradale, dati sismici, di ombreggiamento ecc.). I campi di applicazione sono molteplici: dall'ottimizzazione delle risorse ambientali, al risparmio energetico, dalla gestione della sicurezza territoriale, alla risposta tempestiva in situazioni di emergenza.

Figura 14
Potenzialità dell'integrazione BIM-GIS. www.ingenio-web.it

Sfruttando l'inserimento di un modello BIM in ambiente GIS e analizzando, ad esempio, gli ingombri degli edifici, le aree permeabili, ecc., è possibile identificare la quantità di acque meteoriche da raccogliere e, di conseguenza, progettare sistemi di raccolta adeguati e ben dimensionati per irrigare il verde pubblico[1].

E LE CRITICITÀ?

Le principali criticità si riscontrano quando si importano soprattutto i modelli HBIM in ambiente GIS. Infatti, le geometrie non simmetriche e complesse non vengono ancora lette in modo del tutto corretto.

COME POSSO INTEGRARE I DATI BIM-GIS?

Semplicemente importando il modello BIM in ambiente GIS. Una volta interrogate le geometrie, è possibile vedere tutte le informazioni correlate.

1. https://bim.acca.it/integrazione-bim-e-gis-vantaggi/

Figura 15
Importazione del modello BIM della Chiesa di San Lorenzo a Norcia in ambiente GIS (ArcGIS Pro).

BIBLIOGRAFIA

Gomarasca M.A. 2009, *Basics of Geomatics*, Springer Science & Business Media.

Styliandis E., Remondino F. 2016, *3D recording, documentation and Management of Cultural Heritage*, Whittles Publishing, Dunbeath.

Schuurman N. 2004, *GIS: A short introduction*, Wiley-Blackwell

https://bim.acca.it/integrazione-bim-e-gis-vantaggi/

3.1.3
DALLA CONOSCENZA ALLA CONCEZIONE DI UN MODELLO *BIM*

di Sara Fasana, Marco Indolfi

MODELLAZIONE E CONOSCENZA DEL COSTRUITO

QUAL È LA RELAZIONE TRA CONOSCENZA E MODELLAZIONE?

L'utilizzo del metodo BIM inizialmente pensato per la gestione del processo edilizio, dunque rivolto a edifici di nuova realizzazione, ha ormai assunto un ruolo fondamentale anche nell'ambito del recupero e della gestione del patrimonio costruito; negli anni si è quindi accumulata una vasta serie di esperienze e metodologie caratterizzate da obiettivi differenti, tra i quali "l'organizzazione" delle informazioni ottenute dalle attività conoscitive di base che preludono al progetto di intervento e l'elaborazione dei modelli sulla base dei risultati delle attività di rilievo. [Cfr. Capitolo MDG].

Per attuare interventi sul patrimonio costruito non si può prescindere da un livello di investigazione/conoscenza (con dati e informazioni eterogenei) del manufatto a mano a mano sempre più approfondito. A tal proposito, può essere utile introdurre il concetto di LOK (n.b. attualmente l'acronimo LOK non trova corrispondenze normative e quindi non ha una codifica univoca), acronimo di *"Level of Knowledge"*, inteso come il livello di conoscenza che indica l'approfondimento conoscitivo raggiunto e suggerisce quali azioni di gestione patrimoniale sono più efficaci sulla base delle informazioni a disposizione.

COME SI "CLASSIFICANO" I MODELLI BIM RISPETTO AL GRADO DI CONOSCENZA DELL'EDIFICIO CHE DEVONO AIUTARE A RAPPRESENTARE?

La "precisione" di un modello BIM, cioè la sua capacità di rappresentazione del dettaglio, viene definita con riferimento alle caratteristiche degli elementi/oggetti che lo compongono: si fa per questo riferimento al concetto di Livello di sviluppo degli Oggetti Digitali (LOD) - LOD=LOG+LOI - come definito dalla normativa italiana UNI 11337-4; in base all'approfondimento degli attributi informativi e geometrici, ogni oggetto elemento può raggiungere un LOD da A a G. [Cfr. capitolo MDG].

A questo proposito, le nuove tecnologie di rilevamento digitali permettono di raggiungere un livello informativo geometrico molto avanzato: tuttavia, l'approccio ad una prima modellazione del manufatto può prescindere da una tale precisione geometrica.

Il livello di sviluppo può essere affinato nel tempo: per esempio, nella fase di indagine e analisi dei manufatti è possibile (e talvolta utile) elaborare un modello digitale costituito da elementi con "basso" LOD (da A a C).

QUALI SONO I CONCETTI/CRITERI CHE MI POSSONO GUIDARE PER INDIVIDUARE IL GIUSTO "APPROFONDIMENTO" CHE DEVE ESSERE RAGGIUNTO DAL MODELLO, IN CIASCUNA DI QUESTE FASI?

E' importante avere sempre presente il concetto di "livello di approfondimento necessario", recepito nel parametro LoIN: questo perchè la "precisione" richiesta (sul piano informativo e sul piano geometrico) è differente per ciascuna delle fasi strategiche per la gestione del patrimonio costruito: la ricerca, la tutela, la conservazione e la diffusione[1].

Senza dubbio, un'accurata indagine grafica e una scansione tridimensionale ad alta risoluzione costituiscono un enorme contributo informativo nello studio di un manufatto. Un alto livello di dettaglio geometrico-informativo è essenziale per procedere con la progettazione e la programmazione delle azioni, in generale; nel caso specifico dell'analisi del patrimonio storico, un elevato livello di dettaglio geometrico può per esempio essere utile per supportare una raffinata analisi sul comportamento statico, o per documentare l'evoluzione nel tempo di quadri fessurativi.

UN ESEMPIO PRATICO?

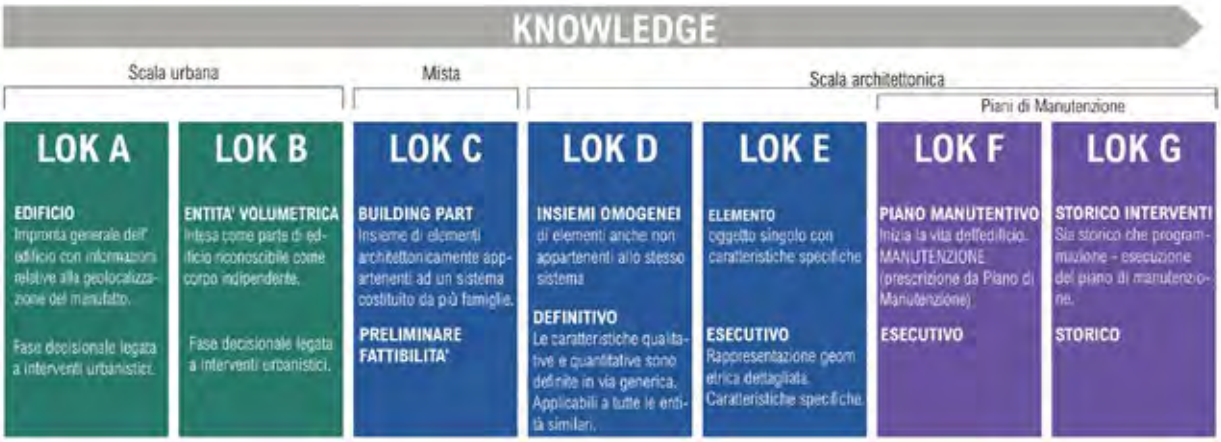
L'utilizzo della modellazione digitale durante le azioni conoscitive di base, per esempio, trae vantaggio dalla gestione delle informazioni in relazione con i sistemi e sub sistemi del manufatto architettonico.
In maniera pratica si può associare a ciascun Livello di Conoscenza le informazioni acquisite riguardanti il manufatto o gli oggetti che lo costituiscono:

- **LOK A** e **LOK B**: a questo livello di approfondimento informativo è possibile associare dati riguardanti l'impronta generale del manufatto e la sua geo-localizzazione (LOK A) o dati riguardanti le *entità volumetriche*, intese come parti di edificio riconoscibili come corpi separati (per esempio autorimesse esterne, porzioni indipendenti di edificio, ecc.) (LOK B).

- **LOK C**: si possiedono informazioni utili ad individuare un insieme di elementi (*building part*) architettonicamente appartenenti a un unico sistema costituito da più famiglie di elementi (per esempio una facciata di un edificio, costituita da diverse famiglie come infissi, muratura, elementi decorativi, ecc.).

- **LOK D**: si possiedono i dati necessari a individuare insiemi omogenei di elementi contraddistinti da caratteristiche comuni (per esempio, una serie di pilastri costituiti dallo stesso materiale strutturale e lo stesso rivestimento). L'individuazione di questi insiemi potrebbe essere utile, per esempio, per pianificare azioni comuni su oggetti simili.
- **LOK E**: si possiedono le informazioni riguardanti il singolo elemento con caratteristiche specifiche. I dati geometrici e informativi associati a questo livello di conoscenza sono accurati e permettono di progettare interventi mirati sui singoli oggetti.
- **LOK F** e **LOK G**: con gli ultimi livelli di conoscenza inizia il processo degli interventi sull'oggetto; le informazioni a disposizione permettono la stesura e la programmazione di piani di manutenzione (LOK F) e il conseguente storico degli interventi (LOK G – "oggetto aggiornato"). Allineamento alla normativa italiana (LOD F e LOD G).

Figura 16
Struttura del LOK nella quale vengono riportati, per ogni livello, il contenuto informativo e la fase progettuale alla quale si può fare riferimento.



LE FASI DELLA CONOSCENZA

LA FASE CONOSCITIVA È UN PROCESSO LINEARE?

No, non si può affermare che il processo di conoscenza sia lineare; le attività conoscitive di base, necessarie per affrontare con consapevolezza le scelte di intervento, devono però essere affrontate secondo un metodo rigoroso. Non è corretto definire schemi preordinati, ma sarà necessario, caso per caso, condurre un rilievo filologico congetturale articolato in più momenti:

Sopralluogo per il rilievo critico (filologico-congetturale) utile per l'interpretazione del manufatto e per ri-conoscere sistemi, subsistemi ed elementi. [Cfr. Capitolo 2-4]

- Primi rilievi fotografico e geometrico.
- Ricerche storiche documentali (archivistiche).
- Pianificazione di rilevamenti strumentali, necessari per confermare le ipotesi (congetture).
- Questo processo è quasi sempre reiterativo, e soprattutto non dovrebbe essere svolto in modo indipendente: elemento fondamentale di queste prime fasi è il dialogo tra figure che possono anche non essere gli "attori protagonisti" (progettista, committenza, funzionari preposti) del progetto; la memoria locale delle fonti orali, le maestranze esperte, gli storici dell'arte sono tutte figure dalle quali attingere per arricchire di volta in volta il bagaglio di conoscenza utile per il progetto. Questa conoscenza non si dovrebbe limitare a ciò che è "tecnicamente" necessario per avviare l'*iter* autorizzativo (restituzione del rilievo metrico e rappresentazione dell'intervento); infatti il contributo di molte "voci" è fondamentale per compiere scelte consapevoli e adeguate (consonanti) con l'edificio di cui ci stiamo "prendendo cura".

CHE COS'È IL RILIEVO CRITICO?

Il rilievo critico è quel processo di interpretazione delle fonti (materiali, documentali, ecc.) attraverso il quale si comprende l'evoluzione storica dell'edificio, la concezione delle caratteristiche nel progetto originale (quando presente), la successione e stratificazione nel tempo di precedenti interventi di restauro, conservazione o manutenzione, così come lo stato attuale di conservazione e il rilievo del degrado.

QUESTA FASE È UTILMENTE SUPPORTATA DAL RILIEVO FOTOGRAFICO.

Gli esiti di queste fasi sono integrate nel modello digitale e ne costituiscono il contenuto informativo.

COME DEVO ORGANIZZARE IL RILIEVO FOTOGRAFICO?

Il rilievo fotografico è generalmente uno dei primi passi nel processo di acquisizione delle informazioni.
Con questo rilievo:

- alla scala architettonica: metto in evidenza elementi connotanti che mi permettono di attribuire il manufatto a una "categoria" e quindi di riconoscerne e documentarne gli elementi di "tipicità".
- a una scala intermedia: riconosco le eventuali fasi, interventi o trasformazioni che il manufatto ha subito nel tempo, per esempio elementi o manufatti che hanno modificato forma, profilo o caratteristiche del progetto originale dell'edificio.
- alla scala di dettaglio: individuo le "varianti" locali di unità tecnologiche (che possono distinguersi per materiale, tecnica costruttiva, per esempio) e le eventuali superfetazioni e modifiche, per esempio la tessitura.

PERCHÉ EFFETTUARE LE RICERCHE D'ARCHIVIO?

Le ricerche d'archivio assumono molto spesso un ruolo cruciale per l'intero processo di conoscenza. La consultazione della documentazione storica legata al manufatto è molto utile per confermare le ipotesi elaborate a seguito di un rilievo critico approfondito. I documenti dai quali ricavare informazioni sono di solito di diversa natura: possono essere i progetti originali, i libretti di cantiere, le foto d'epoca, libri economali o, più in generale, ogni fonte storica che permetta di ricostruire il processo di realizzazione dell'edificio e quindi di mappare la sua evoluzione e trasformazione.

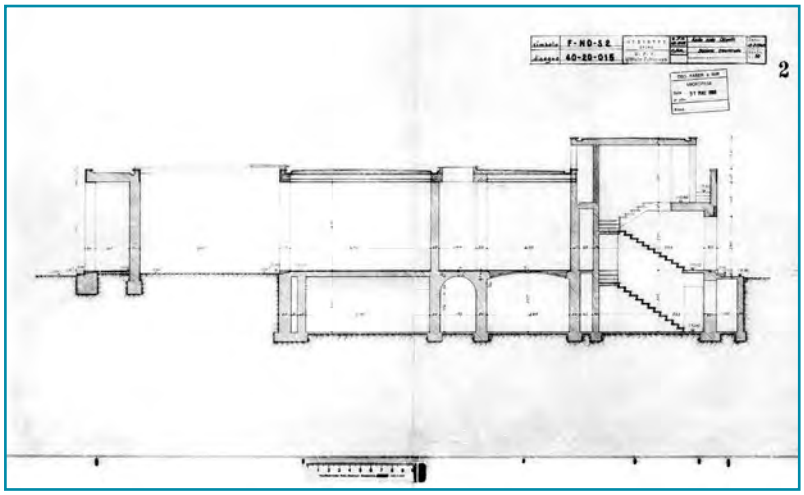


Figura 17

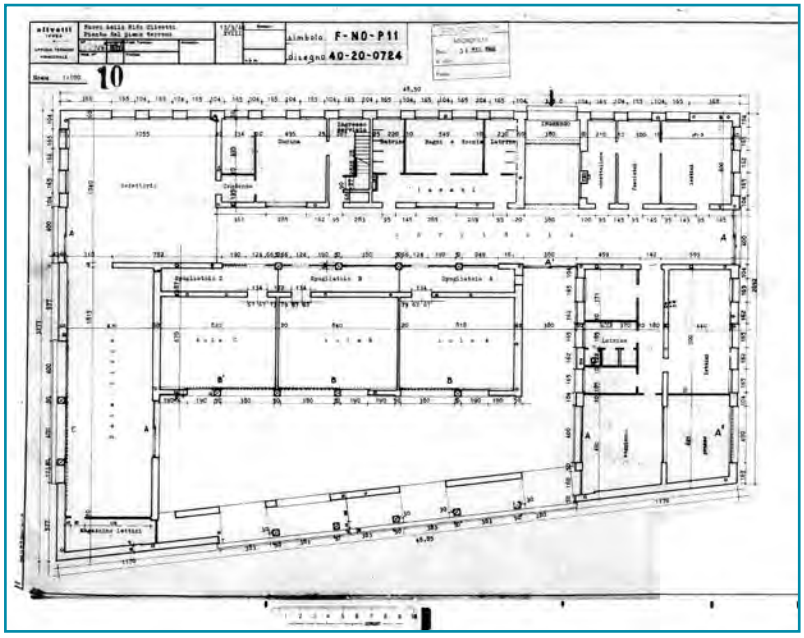


Figura 18

QUALI INFORMAZIONI POSSO RICAVARE DALLA CONSULTAZIONE DELLA DOCUMENTAZIONE STORICA?

Eventuali lavori di manutenzione, variazioni o trasformazioni; dati riguardanti i materiali utilizzati e le tecniche di realizzazione. Tutte queste informazioni sono importantissime quando ci si approccia alla progettazione preliminare o alla valutazione strategica degli interventi.

COME SI ORGANIZZANO LE INFORMAZIONI ACQUISITE CON LE RICERCHE NEGLI ARCHIVI? COS'È IL REGESTO?

Il regesto è il documento con il quale si tiene traccia dei documenti consultati, della loro collocazione archivistica, e in sintesi, delle informazioni associate a ciascun documento (fonte). Uno step molto importante è la creazione di un regesto; quindi, di un

documento all'interno del quale catalogare tutte le informazioni ricavate dalle diverse fonti. I dati che possono essere messi in risalto nella creazione di un regesto possono essere di diversi tipi e legati soprattutto all'obiettivo che ci si pone in una fase meta-progettuale. Dalle fonti possono essere ricavati e catalogati, per esempio, dati riguardanti i materiali, le unità tecnologiche rappresentate, scale grafiche, date o varianti in fase di progettazione (quando si consultano disegni d'archivio).

RIFERIMENTI ARCHIVISTICI								
EDIFICIO	SOGG. CONSERVATORE	COLLOCAZIONE ARCHIVISTICA	NOME DOCUMENTO	N° DOC.	SCALA	DATA	UNITA' TECNOLOGICA	MATERIALI CITATI
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Serramenti. Fascicolo 1, Disegno 22	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-19-0412 – Balaustra in legno	41-19-0412	1:20	28/05/1941	Partizione esterna verticale	Legno di Abete
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Particolari e dettagli. Fascicolo 2, Disegno 55	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-20-0071 – Supporto in graniglia per tavolo cucina	41-20-0071	1:10	23/02/1942	Arredo domestico	Vari
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Particolari e dettagli. Fascicolo 2, Disegno 56	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-20-0139 – Gradini in marmo occorrenti per una scala completa	41-20-0139	1:10	20/05/1941	Partizione interna inclinata	Marmo (generico)
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Particolari e dettagli. Fascicolo 2, Disegno 57	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-20-0140 – Alzate in marmo occorrenti per una scala completa	41-20-0140	1:10	20/05/1941	Partizione interna inclinata	Marmo (generico)
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Particolari e dettagli. Fascicolo 2, Disegno 59	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-20-0147 – Terrazzino facciata – Sezione al vero – Pietra artificiale	41-20-0147	1:20	03/12/1941	Partizione esterna orizzontale	Pietra Artificiale
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Particolari e dettagli. Fascicolo 2, Disegno 60	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-20-0155 – Particolare terrazzino del 2°piano	41-20-0155	1:5	31/05/1941	Partizione esterna orizzontale	Pietra Artificiale
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Particolari e dettagli. Fascicolo 2, Disegno 61	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-20-0156 – Cornicione facciata	41-20-0156	1:5	31/05/1941	Partizione esterna verticale	Pietra Artificiale
Case F.N.	Archivio Storico Olivetti	Fondo Microfilm Disegni Immobili Olivetti / Microfilm Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - Prima Parte / Disegni Ufficio Tecnico Olivetti - BOBINA 47 /Stab. di Ivrea - Settore Case civili di abitazione - Zona case impiegati F.N. - Particolari e dettagli. Fascicolo 2, Disegno 62	Stab. Ivrea – Settore Case civili di abitazione – Dis. N° 41-20-0157 – Particolare terrazzino del 1°piano	41-20-0157	1:5	31/05/1941	Partizione esterna orizzontale	Pietra Artificiale

Figura 19
Estratto di un registro nel quale sono state riportate le fonti d'archivio esaminate (soggetto conservatore, collocazione archivistica, nome e numero del documento) e i dati associati a ciascuna fonte (la scala grafica, la data, le unità tecnologiche rappresentate e i materiali citati).

PERCHÉ ASSUME UN RUOLO IMPORTANTE NELLA FASE CONOSCITIVA?

La creazione del regesto è molto importante perché permette una strutturazione delle informazioni e può coinvolgere più attori (progettisti, restauratori, ecc.) che possono contribuirvi per quanto di loro più diretta competenza. L'obiettivo è costituire un documento che rappresenta un elemento di conoscenza condiviso, con una duplice utilità: nel presente, per il caso specifico, per la redazione del progetto di intervento; nel futuro, per orientare le scelte per interventi su manufatti che appartengono al medesimo contesto di riferimento. Questo tipo di catalogazione e raccolta delle informazioni risponde all'esigenza di semplificare l'accessibilità dei dati, fondamentale nell'ambiente partecipato della fase meta-progettuale, ed è anche utile per la compilazione di *database*, quando siano a disposizione piattaforme digitali integrate multiscalari, con modelli condivisi in ambiente BIM-GIS.

LA CONCEZIONE DEL MODELLO E LA SUA IMPOSTAZIONE

COME SI PUÒ PROCEDERE OPERATIVAMENTE DOPO LE ATTIVITÀ CONOSCITIVE DI BASE?

Dopo aver creato una prima base solida di dati (conoscenza oggettiva) e informazioni (interpretazione dei dati), è necessario che questa conoscenza venga restituita secondo un linguaggio comune e condiviso. Questo avviene attraverso il disegno per la rappresentazione grafica, e oggi sempre più spesso con un processo di "digitalizzazione". Operativamente il primo passo può essere riportare in ambiente CAD i dati geometrici raccolti. La realizzazione di elaborati grafici digitali permette non solo di tradurre graficamente quanto si è appreso, ma anche di porre le basi per la fase successiva, cioè la modellazione con il metodo BIM. Come già anticipato, il dettaglio della rappresentazione grafica dovrebbe essere sempre coerente con gli obiettivi di ciascuna fase. Nelle prime fasi, progettare con il metodo BIM non significa creare un modello 3D che risponda alle esigenze di una visualizzazione spaziale del manufatto, ma piuttosto operare secondo un *workflow* che riconosca le informazioni associate ai sistemi, sub-sistemi e componenti come punti cardine dell'intero modello. Si può procedere con il creare e associare agli elementi (o gruppi di elementi) dei parametri condivisi di progetto che possono avere, caso per caso, diverse finalità. Ad esempio, dopo aver studiato le caratteristiche del manufatto e il contesto al quale appartiene, si può valutare l'inserimento di parametri utili a documentare lo stato di conservazione generale, eventuali difformità dal progetto originale, o mappe del rischio di compromissione conseguente a interventi non consapevoli /non opportunamente pianificati.

POSSO CONSIDERARE DEFINITIVO UN MODELLO BIM CREATO DOPO UNA PRIMA FASE CONOSCITIVA/RILIEVO INTERPRETATIVO?

Il modello BIM, in questo stadio, può risultare ancora incompleto o semplificato, ma assume comunque un ruolo molto importante per il supporto delle fasi decisionali; le informazioni di carattere interpretativo a esso associate, infatti, costituiscono la base per le successive scelte di intervento di natura specialistica, secondo specifici obiettivi.

L'obiettivo dell'utilizzo del metodo BIM, infatti, non è la creazione di un modello solo come risultato finale dell'iter di conoscenza e analisi, ma piuttosto di un modello "dinamico" che grazie a progressivi aggiornamenti abbia via via caratteristiche e contenuti coerenti con le fasi in cui si articola il progetto, e che sin dalle prime fasi sia il terreno di dialogo tra competenze complementari, grazie alla reciproca accessibilità ai contenuti informativi.

QUALI SONO LE PRINCIPALI FASI IN CUI SI ARTICOLA UN PROGETTO DI INTERVENTO?

In ambito italiano, le principali fasi del progetto sono individuate così come indicato dal D.lgs. 50/2016, secondo il quale l'iter progettuale può essere articolato in tre livelli distinti con approfondimento crescente:

- progetto di fattibilità tecnica ed economica (ex progetto preliminare);
- progetto definitivo;
- progetto esecutivo.

Queste fasi, soprattutto nell'ambito dei lavori pubblici, sono talvolta affrontate individualmente da differenti figure ed eventualmente differite nel tempo.

COME SI PUÒ STRUTTURARE NELLA PRATICA LA CREAZIONE DEL MODELLO IN UNA PRIMA FASE CONOSCITIVA?

Passando operativamente alla realizzazione del modello HBIM, possiamo immaginare di procedere secondo le fasi che si illustrano schematicamente:

1. In prima battuta posso modellare l'edificio e il contesto di riferimento come masse concettuali, sulla base di prime informazioni a scala urbana. I dati relativi al manufatto - così come al contesto - possono essere catalogati sotto forma di parametri

condivisi (per esempio l'epoca di realizzazione, i progettisti, le eventuali normative di tutela, ecc.). L'utilizzo di questi parametri può essere utile anche per elaborare visualizzazioni tematiche del modello in base alle necessità della fase progettuale di riferimento; ciò può essere ottenuto applicando il comando **filtri** e selezionando di volta in volta il parametro di interesse. Le informazioni utilizzate in questa fase possono derivare da: Strumenti Urbanistici, dati cartografici o documentazione storica.

Figura 20
Visualizzazione in ambiente BIM del contesto di appartenenza dell'edificio. I manufatti sono stati modellati come masse semplificate alle quali è stata associata una serie di parametri condivisi. In figura viene evidenziata l'evoluzione storica del contesto grazie all'utilizzo di un filtro di visualizzazione basato sul parametro "Epoca di realizzazione".

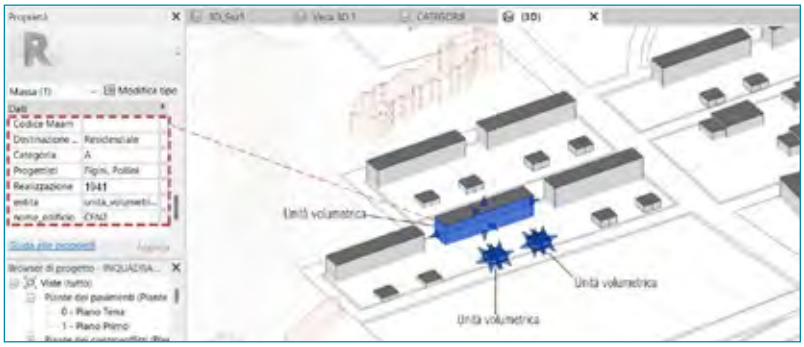


Figura 21
Visualizzazione del modello e del contesto in ambiente BIM. Sono stati evidenziati i parametri associati al manufatto (tra i quali "Epoca di realizzazione", "Destinazione d'uso", "Progettisti", "Categoria" di appartenenza alla normativa di riferimento). Si può notare la suddivisione del manufatto nelle unità volumetriche che lo compongono.

2. In seguito si può procedere a una prima modellazione più accurata che derivi dall'interpretazione di informazioni più puntuali (sopralluoghi, indagini di rilievo critico, prime ricerche archivistiche, ecc.). In questa fase il modello viene arricchito con la rappresentazione grafica di unità tecnologiche e sistemi, utilizzando **famiglie** di oggetti che possono essere già presenti nelle librerie del *software*, o create *ad hoc*. Gli elementi

che costituiscono il modello possiedono ancora caratteristiche informative generiche, ma è già possibile individuare gruppi di elementi con caratteri e criticità comuni. Un esempio può essere l'individuazione di gruppi di elementi caratterizzati dallo stesso ambiente di esposizione e quindi a eventuali fenomeni di degrado similari.

3. Si passa a questo punto all'individuazione dei nodi costruttivi di interesse, eventualmente modellando nel dettaglio **famiglie**, **componenti** o **elementi**. In questa fase può essere ancora molto importante effettuare rilievi e ricerche d'archivio mirate all'acquisizione delle informazioni utili per definire in maniera precisa le caratteristiche geometriche, lo storico degli interventi o lo stato di conservazione di un elemento. Il modello può essere "affinato" anche solo nei nodi di interesse, per procedere alla definizione di interventi specifici e localizzati.

Una volta acquisite le informazioni necessarie a una definizione geometrica e informativa dettagliata dell'elemento, si può iniziare a programmare piani di manutenzione e di conseguenza a tracciare lo storico degli interventi. In quest'ultima fase l'oggetto viene considerato "aggiornato" (e aggiornabile), raggiungendo i LOD F -G (associabili ai LOK F-G).

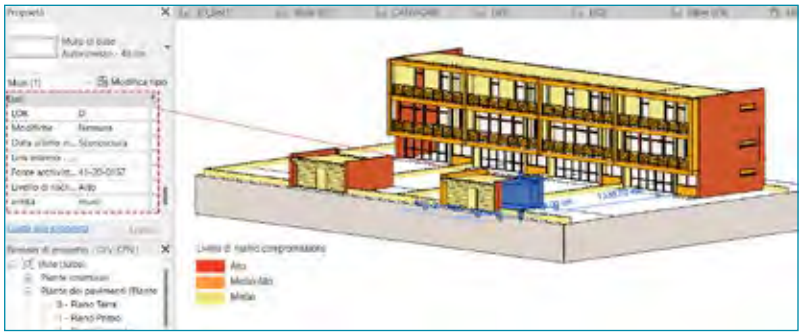


Figura 22
Visualizzazione del modello in ambiente BIM con filtro basato sul parametro condiviso "Livello di rischio compromissione". Nella tabella "Proprietà" del muro selezionato vengono evidenziati i parametri condivisi associati all'oggetto (tra i quali il "LOK", le "Fonti archivistiche" dalle quali sono stati estratti i dati utili alla modellazione, "Livello di rischio compromissione"). In questo stadio della modellazione, le informazioni a disposizione possono far riferimento a un LOK D.

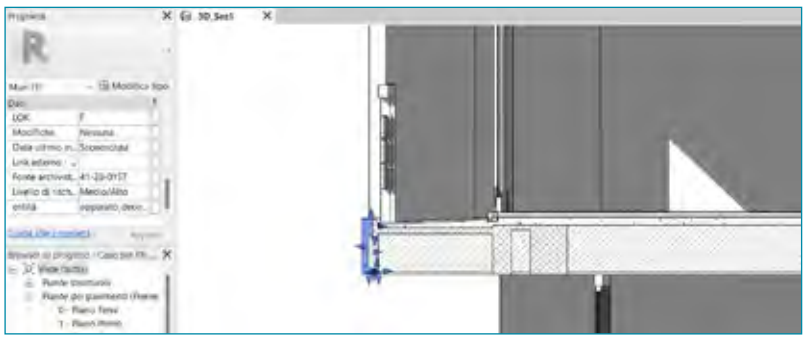


Figura 23
Visualizzazione in ambiente BIM di un nodo costruttivo del modello. Le informazioni a disposizione permettono di modellare in maniera accurata l'oggetto e raggiungendo un LOK E. In figura è stato evidenziato un elemento di rivestimento in pietra artificiale del solaio.

3.2
STRUMENTI INNOVATIVI PER LA RAPPRESENTAZIONE, IL PROGETTO E LA GESTIONE DEL COSTRUITO

Sara Fasana

Gli strumenti e le tecnologie attuali per il rilievo e l'elaborazione dei dati acquisiti propongono innumerevoli scenari, sia in termini di precisione e di migliore "accessibilita"' al bene oggetto di interesse, sia in termini di disponibilità di metodi speditivi discretamente affidabili. Il ricorso all'innovazione tecnologica richiede, in generale, un adeguato investimento, sia in termini di risorse umane, sia in termini di risorse economiche (per le dotazioni strumentali e per la formazione). I contributi di questo capitolo hanno lo scopo di illustrare alcuni metodi e strumenti, anche speditivi, e di indirizzarne l'utilizzo secondo le effettive esigenze.

3.2.1 STRUMENTI DIGITALI PER IL MONDO DELLE COSTRUZIONI

di Matteo Del Giudice

COSA SI INTENDE PER DIGITALIZZAZIONE?

Nell'era della connessione, il concetto di digitalizzazione è fondamentale per innovare l'industria delle costruzioni. Questo termine è declinato in tre modi diversi:

- *Digitization*, il passaggio di audio, video, immagini e testo dall'analogico al digitale;
- *Digitalization*, uso dell'informazione digitale nella pratica comune per ottimizzare la gestione di dati e fornire nuovi guadagni e opportunità di produzione di valore;
- *Digital trasformation*, un fenomeno che comporta cambiamenti tecnologici, digitali ma anche professionali, aziendali e culturali che si riflettono su tutti gli aspetti della vita sociale.

La corretta combinazione di questi concetti offre l'opportunità di raccogliere le sfide di quest'epoca definendo nuovi metodi e strumenti di lavoro per innovare l'industria delle costruzioni.

SU QUALI TEMATICHE SI CONCENTRA LA DIGITALIZZAZIONE PER IL MONDO DELLE COSTRUZIONI?

La digitalizzazione nel settore delle costruzioni sta offrendo opportunità significative per l'intera filiera delle costruzioni, migliorando le pratiche esistenti, integrando tecnologie e strumenti dirompenti che possono portare a nuovi processi, modelli di business, materiali e soluzioni, con significative potenzialità anche per la gestione del patrimonio architettonico e per le sfide rappresentate dagli obiettivi di riqualificazione del patrimonio esistente.

La digitalizzazione del settore delle costruzioni si concentra su una serie di tematiche legate a tre categorie principali:

- tecnologie di acquisizione dei dati (e.g. sensori);

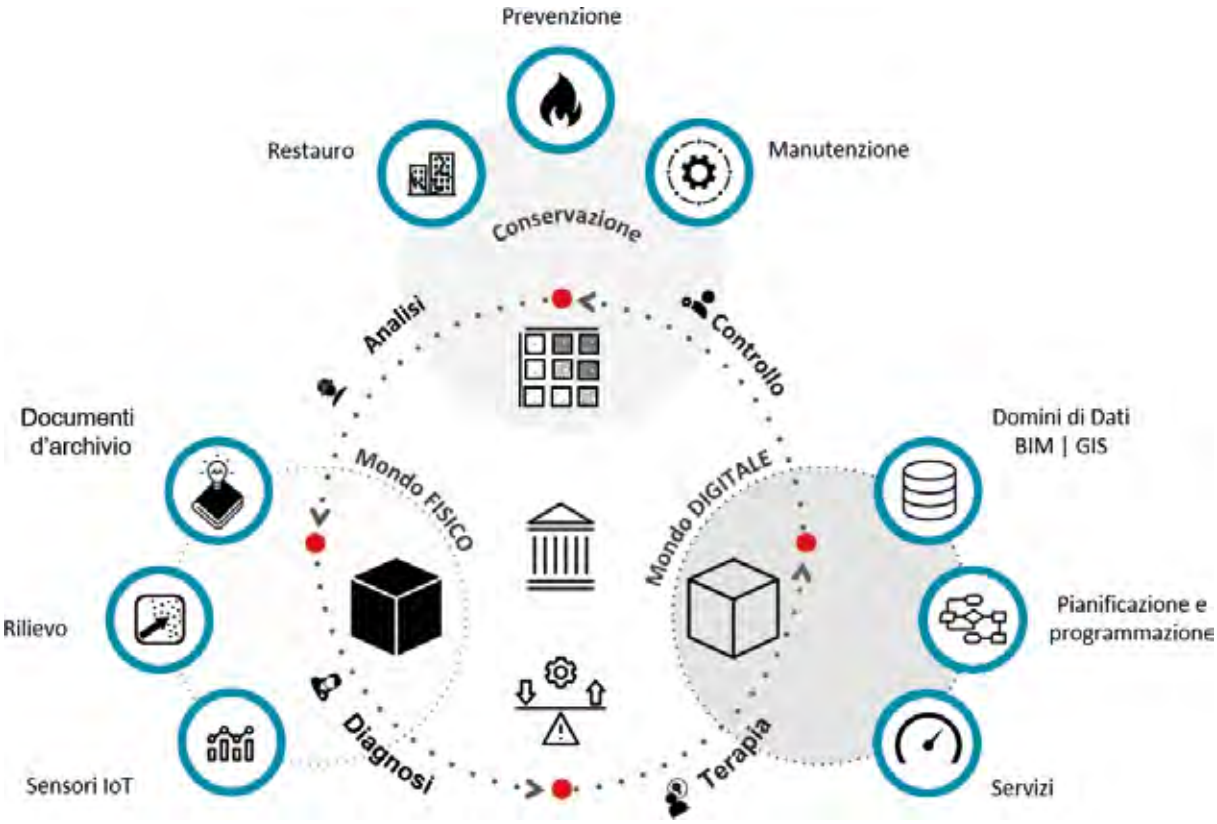


Figura 1
Componenti principali di un *Digital Twin* del patrimonio costruito.

- processi di automazione (e.g. robotica);
- informazioni e analisi digitali (e.g. *Building Information Modelling* - BIM) per la rappresentazione grafica.

IN COSA CONSISTE IL BIM?

È possibile trovare varie definizioni dell'acronimo BIM, tra cui *Building Information Modelling, Model, Management.* Senza dubbio è possibile definire il BIM come una metodologia di lavoro basata sulla condivisione delle informazioni tra i vari attori del processo edilizio. Per questo motivo, questa innovazione prevede l'elaborazione di un'unica banca dati grafica 3D parametrica, che deve essere condivisa tra tutti gli utenti. Sebbene questa metodologia sia di solito associata ai nuovi edifici, diversi ricercatori hanno integrato la definizione di BIM orientandola verso vari argomenti tra cui la conservazione, il restauro e la manutenzione (*Conservation, Prevention, Maintenance* - CPM) del patrimonio immobiliare storico architettonico e il *Facility Management* (FM) attraverso sistemi *Computerized Maintenance Management System* (CMMS).

IN COSA DIFFERISCE UN MODELLO HBIM DA UN MODELLO BIM?

Nel momento in cui si associa il BIM agli edifici storici, come per esempio il complesso dei Sacri Monti, è necessario comprendere la complessità tridimensionale degli elementi che si andranno a sviluppare sulla base del quadro esigenziale definito dalla committenza. Per questo motivo è stato coniato l'acronimo HBIM che tiene conto di questa complessità.

Figura 2
Definizione degli obiettivi e degli usi del modello HBIM.

A questo acronimo sono associate varie definizioni a livello internazionale che possono essere sintetizzate da quelle elencate di seguito:

- *Historic Building Information Modelling* (HBIM), si concentra sull'elaborazione di librerie di oggetti dettagliati che mappano i componenti di un manufatto a partire da nuvole di punti, ricreando forme complesse presenti negli edifici storici[1];
- *Built Heritage Information Modelling and Management* (BHIMM), si focalizza su numerose questioni tra cui la documentazione "*As-built*", la gestione delle strutture, la valutazione e il monitoraggio, la gestione dell'energia e degli spazi[2].

Non esiste ancora un metodo consolidato che metta insieme i diversi aspetti sollevati in precedenza per lo sviluppo di un database interoperabile e dinamico del patrimonio storico sfruttabile dai professionisti, dai tecnici e dagli utenti finali interessati a un certo manufatto.

1. Murphy, McGovern, & Pavia, 2013.
2. Ciribini, Mastrolembo Ventura, & Paneroni, 2015.

LA DIGITALIZZAZIONE PER IL MONDO DELLE COSTRUZIONI INTERESSA SOLO LE NUOVE COSTRUZIONI?

No, anche perché la maggior parte del patrimonio immobiliare è costituito da edifici esistenti.
Il patrimonio costruito offre molteplici opportunità da raccogliere per vincere le sfide legate al cambiamento climatico, per esempio. In particolare, la gestione del costruito è una grande tematica che fa riferimento agli edifici esistenti, ma anche al patrimonio storico architettonico che deve essere tutelato, recuperato e valorizzato attraverso azioni di gestione virtuose.

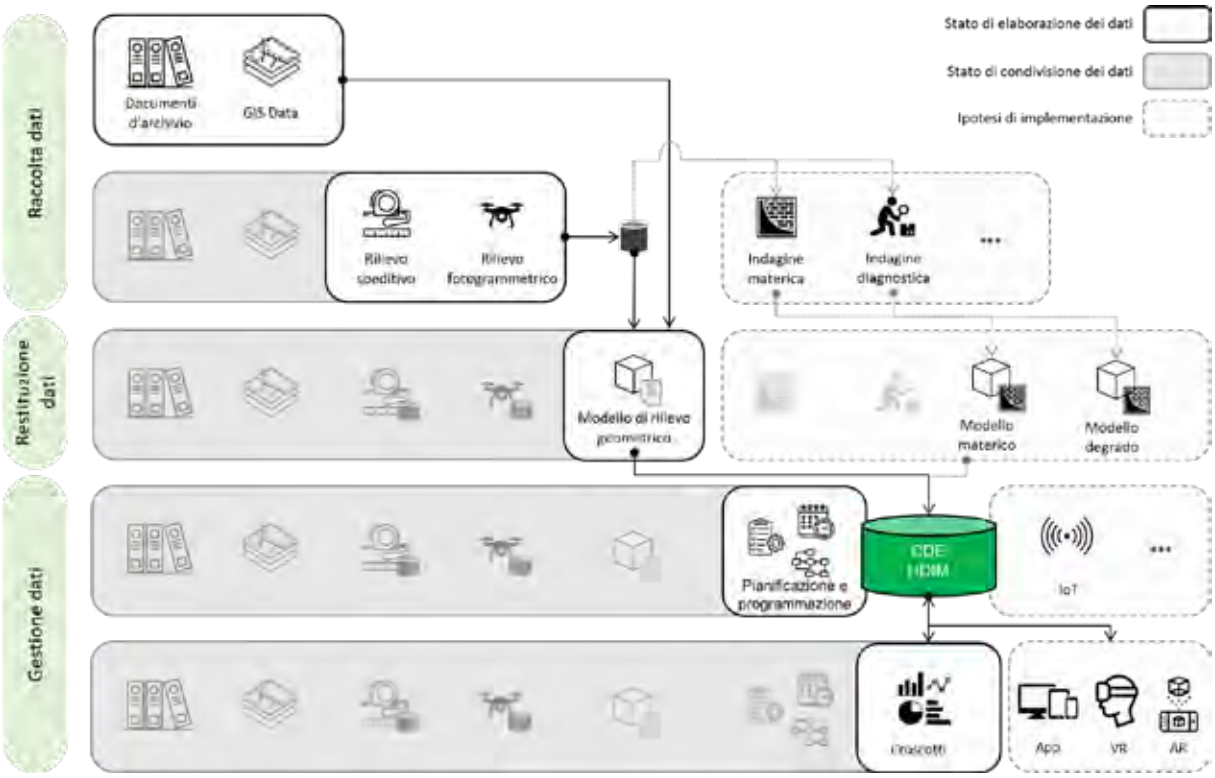


Figura 3
Processo di sviluppo di un modello di rilievo per l'ambiente di condivisione CDE-HBIM.

Questo contributo analizza il valore della modellazione informativa HBIM per il patrimonio culturale esistente, nell'ambito del progetto *MAIN10ANCE* che rilegge il patrimonio culturale con nuovi occhi per trarre insegnamenti da luoghi simbolo del territorio e della nostra storia, coniugando soluzioni tecniche tradizionali e innovative per elaborare buone pratiche di gestione, conservazione e manutenzione[3].

3. https://main10ance.eu/.

COSA È UN MODELLO *AS-IS*?

La creazione di un modello digitale è tipicamente associata al concetto di progetto *As-Built*, che contiene quindi tutti gli elaborati che descrivono l'opera come è stata effettivamente costruita. Tuttavia, a seguito di modifiche progettuali in corso d'opera o di difformità fra progetto e realizzazione, si rileva una difformità tra lo stato di fatto legato alla realizzazione delle opere e gli elaborati grafici legati al progetto. Per questo, nell'ambito di edifici esistenti, specialmente quelli legati al patrimonio storico architettonico, si parla di modelli *As-is*, in cui si pone attenzione al vero stato di fatto del manufatto, rilevando le sue caratteristiche geometriche per confrontarle con gli elaborati di progetto. In questo modo, si sviluppa un modello informativo che dovrà essere valutato in termini di affidabilità (*Level of Realiability* - LOR), considerando il livello di qualità (LOQ) e di accuratezza (LOA).
È possibile affermare quindi che il modello *As-is* fa riferimento all'elaborazione di un modello legato allo stato di fatto di un progetto. Può essere considerato un modello di rilievo che nasce e si sviluppa sulla base di un'analisi regressiva delle informazioni che si possono estrarre dalle fonti eterogenee di riferimento del manufatto (documenti d'archivio, disegni cartacei, ecc.).

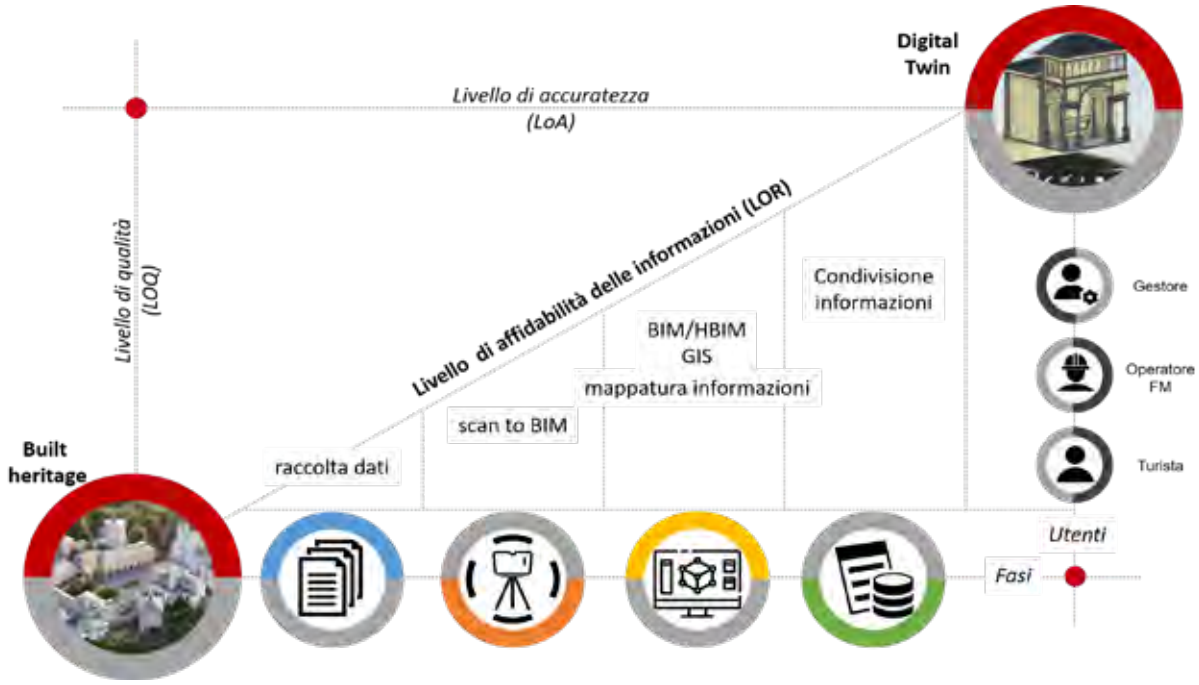


Figura 4
Relazione tra le fasi di elaborazione del modello informativo e del livello di affidabilità.

QUALI SONO LE FASI FONDAMENTALI PER L'ADOZIONE DEL BIM IN UN PROGETTO?

È possibile definire le fasi preliminari per implementare il BIM in un progetto:

- definire gli obiettivi, usi del modello e gli elaborati da consegnare al termine del progetto;
- identificare i contenuti grafici e alfanumerici in base all'uso e all'analisi da svolgere;
- scegliere gli strumenti *hardware* e *software* per l'elaborazione del modello;
- definire i flussi di interscambio, sfruttando l'interoperabilità tra i *software*;
- definire le strategie di condivisione delle informazioni e collaborazione tra gli utenti.

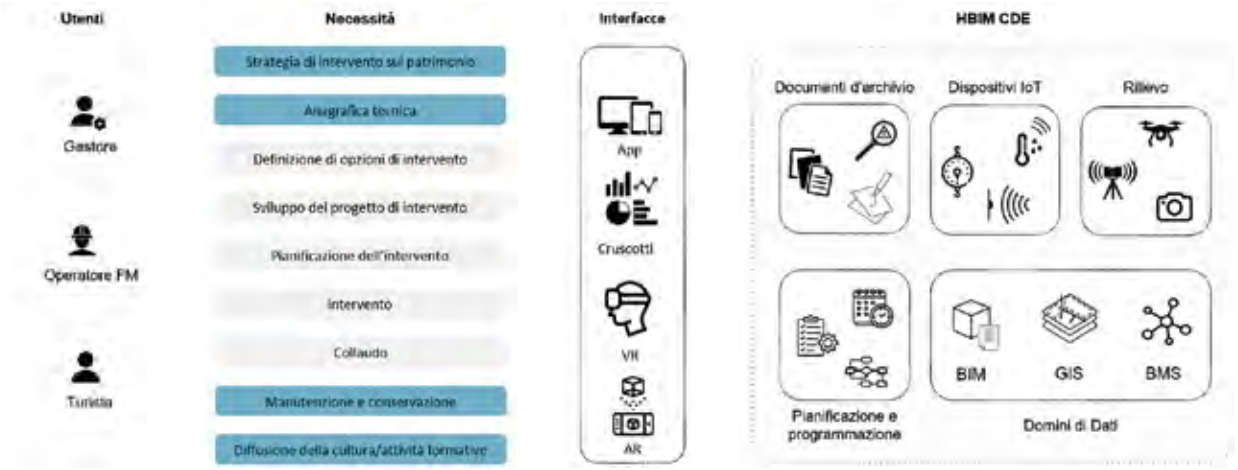
Il BIM, come altri metodi e strumenti innovativi, necessita di un cambiamento nel metodo di lavoro, a partire dal concetto di unicità del dato e della sua condivisione. È necessario quindi prevedere che i membri del team debbano condividere la strategia BIM messa in atto per aumentare il valore finale del progetto, riducendo le incognite e il rischio complessivo nel processo di implementazione.

COME SI ORGANIZZA/QUALI SONO LE FASI FONDAMENTALI DI COSTRUZIONE DI UN MODELLO BIM?

L'elaborazione di un modello BIM parte da:

- raccogliere i dati grafici e alfanumerici di partenza;

Figura 5
Schema concettuale per la definizione delle necessità degli utenti in relazione con la piattaforma.



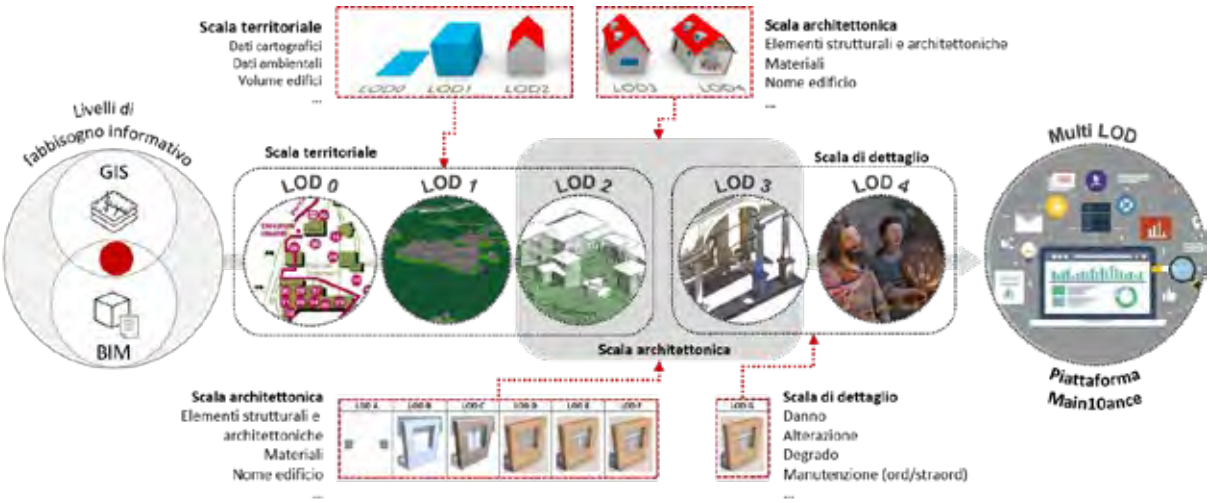
- impostare un *template* di riferimento da condividere con tutti gli attori coinvolti in cui definire le impostazioni di visualizzazione, l'organizzazione delle viste, la nomenclatura dei file e cartelle;
- definire i parametri e la loro modalità di compilazione per caratterizzare il modello BIM;
- definire le impostazioni da seguire si cui basare gli oggetti BIM (Livelli, Griglie, ecc.);
- creazione degli oggetti BIM;
- produzione degli elaborati per la consegna (tavole, tabelle, modelli BIM, modelli OpenBIM, ecc.).

Attraverso queste azioni è possibile sistematizzare le normali operazioni per lo sviluppo di un modello informativo, definendo uno *standard* di lavoro che potrà essere sfruttato per diversi progetti.

COME SI DEFINISCE IL LIVELLO DI FABBISOGNO INFORMATIVO RAGGIUNTO DA UN MODELLO BIM?

La definizione di contenuti grafici e alfanumerici di un modello BIM è uno dei momenti più caratterizzanti della modellazione informativa. Questa attività è stata associata nel tempo alla selezione di una specifica scala di livelli di dettaglio (LODs). La norma italiana UNI 11337-4 propone una scala alfabetica da A (oggetto simbolico) a G (oggetto aggiornato), per la possibile applicazione al patrimonio architettonico esistente.

Figura 6
Schema concettuale per la definizione dei Livelli di fabbisogno informativo.



L'applicazione di una scala LODs ben definita per gli edifici esistenti mostra alcune discrepanze con l'applicazione pratica in cui sia sufficiente un LOD geometrico basso e un LOD alfanumerico più elevato legato alla fase informativa. Le norme UNI EN ISO 19650 e la UNI EN 17412-1 hanno integrato il concetto di LODs a quello di Livello di fabbisogno informativo per:

- migliorare la qualità delle informazioni;
- supportare l'ambito contrattuale-giuridico;
- migliorare la flessibilità ed efficacia dei processi, definendo e producendo solo informazioni necessarie alla finalità del progetto evitando sprechi.

Per la descrizione degli edifici storici (es: Sacri Monti) a scala territoriale è presente una scala LODs proposta dall'*Open Geospatial Consortium* (OGC) che ha sviluppato per il dominio GIS lo standard *Geography Markup Language* (CityGML) per lo scambio informativo di modelli virtuali 3D di città.
Con la piattaforma *MAIN10ANCE* si utilizza un sistema ibrido per la gestione e manutenzione degli edifici a scala urbana del *District Information Model* (DIM), esaltandone la componente geometrica e alfanumerica del HDIM senza dimenticarne i contenuti non grafici.

È POSSIBILE DEFINIRE UNA GERARCHIA DEGLI OGGETTI BIM DA INSERIRE IN UN MODELLO INFORMATIVO?

Ogni piattaforma di *BIM authoring* scelta per la modellazione informativa, offre una propria struttura concettuale gerarchica dei componenti che possono essere virtualizzati. Attraverso l'impiego di *Autodesk Revit*, ogni oggetto che può essere creato

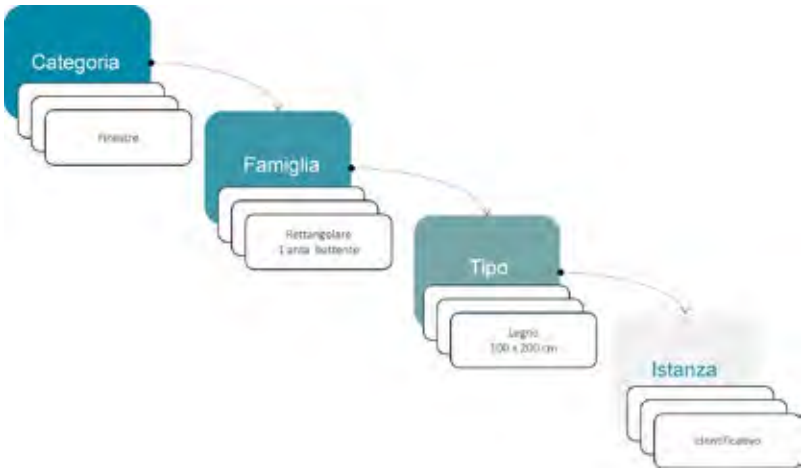


Figura 7
Gerarchia degli oggetti BIM per la definizione di un modello informativo.

all'interno di un modello BIM è classificato in una specifica *Categoria*, ossia un gruppo di elementi (Muri, Finestre, Porte, ecc.) utilizzati per modellare o documentare il progetto di un edificio. Ogni *Categoria* è composta da *Famiglie*, classi di elementi con un insieme di proprietà comuni denominate *Parametri* e una rappresentazione grafica associata. Ciascuna *Famiglia* è a sua volta organizzata in *Tipi* a seconda delle caratteristiche specificate dalla compilazione di parametri. Alla base di questa gerarchia si trovano le *Istanze* che rappresentano gli oggetti effettivamente presenti nell'ambiente di modellazione. È possibile identificare due istanze dello stesso tipo in funzione della posizione nell'ambiente di modellazione.

È POSSIBILE CREARE OGGETTI COMPLESSI CON IL BIM?

Per elementi complessi si intendono quegli elementi che caratterizzano gli edifici storici per i quali la restituzione tridimensionale o parametrica può risultare difficoltosa[4]. Per esempio per la modellazione delle varie tipologie di volta è necessario sviluppare una *Famiglia* che si possa adattare all'andamento della curvatura, seguendo le diverse caratteristiche che le contraddistinguono (monta, corda, freccia, ecc.).
La modellazione parametrica può essere sviluppata attraverso due diverse famiglie del programma *Autodesk Revit*:

4. Ruffino, 2016.

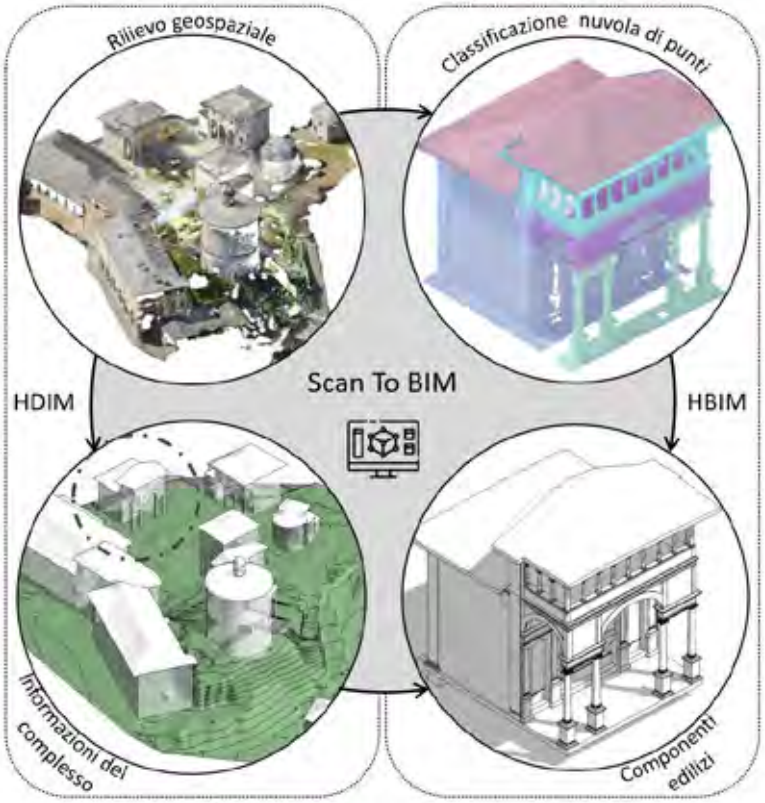


Figura 8
Schema esemplificativo della procedura *Scan To Bim*.

- modello generico metrico;
- modello generico metrico adattivo.

Attraverso i componenti adattivi si approssimano meglio le superfici complesse, sfruttando l'ambiente di modellazione concettuale di una *Famiglia* caricabile utilizzando i punti di riferimento e trasformandoli in *Punti adattivi*.
I *Punti adattivi* possono essere utilizzati per il posizionamento dei componenti o possono fungere da punti di manipolazione. Se utilizzati per il posizionamento, i *Punti adattativi* vengono numerati in base all'ordine in cui vengono inseriti quando il componente viene caricato. Quando un punto di riferimento viene reso adattivo, esso diventa un punto di posizionamento per *default*. La geometria disegnata mediante lo *snap* ai *Punti adattivi* produce un componente adattivo[5].

CHE COS'È UN GEMELLO DIGITALE?

Il gemello digitale, o *Digital Twin* (DT), è una replica virtuale di un oggetto fisico o di un certo manufatto reale composto da[6]:

- mondo fisico;
- mondo virtuale;
- dati che mettono in relazione i due mondi.

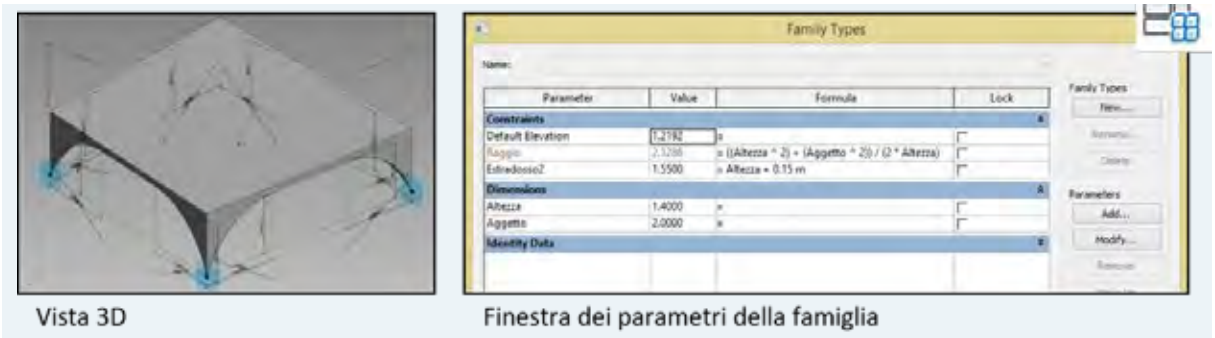
Quando parliamo quindi di DT, facciamo riferimento a sistemi complessi che possono essere utilizzati per la gestione degli edifici di nuova costruzione o edifici esistenti.

5. Autodesk, 2022.
6. Grieves, 2014.

È UTILE UN DT PER GLI EDIFICI ESISTENTI?

Certamente. Inoltre, lo sviluppo di DT per il patrimonio costruito è strettamente legato ai modelli HBIM per la conservazione, il restauro e la manutenzione per rallentare gli effetti dell'azione del degrado. Per questo motivo il DT-HBIM mira a riprendere le quattro fasi principali del processo di conservazione identificate

Figura 9
Modello generico metrico adattivo per la modellazione di una volta a crociera.



nella carta dell'*International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS) del 2003:

- Analisi: fornisce una chiara comprensione del sito, del suo contesto e una buona definizione dello scopo del piano di gestione.
- Diagnosi: fornisce informazioni pertinenti e accurate legate alle problematiche e alle cause di tutte le criticità osservate, fornendo la base necessaria agli esperti per proporre i rimedi più appropriati.
- Terapia: le ragioni per la gestione e la conservazione del sito devono essere chiaramente definite per definire una pianificazione e programmazione delle attività di manutenzione.
- Controllo: si attuano le attività di conservazione previste nel piano di gestione e il monitoraggio dell'efficacia delle soluzioni adottate[7].

7. Jouan, Hallot, 2020.

Attraverso questa impostazione metodologica emerge chiaramente come lo sviluppo di un gemello digitale sia fondamentale per supportare tali attività, a partire dalla raccolta dei dati per la conoscenza del manufatto per arrivare al controllo del bene e alla verifica dell'efficacia delle soluzioni adottate.

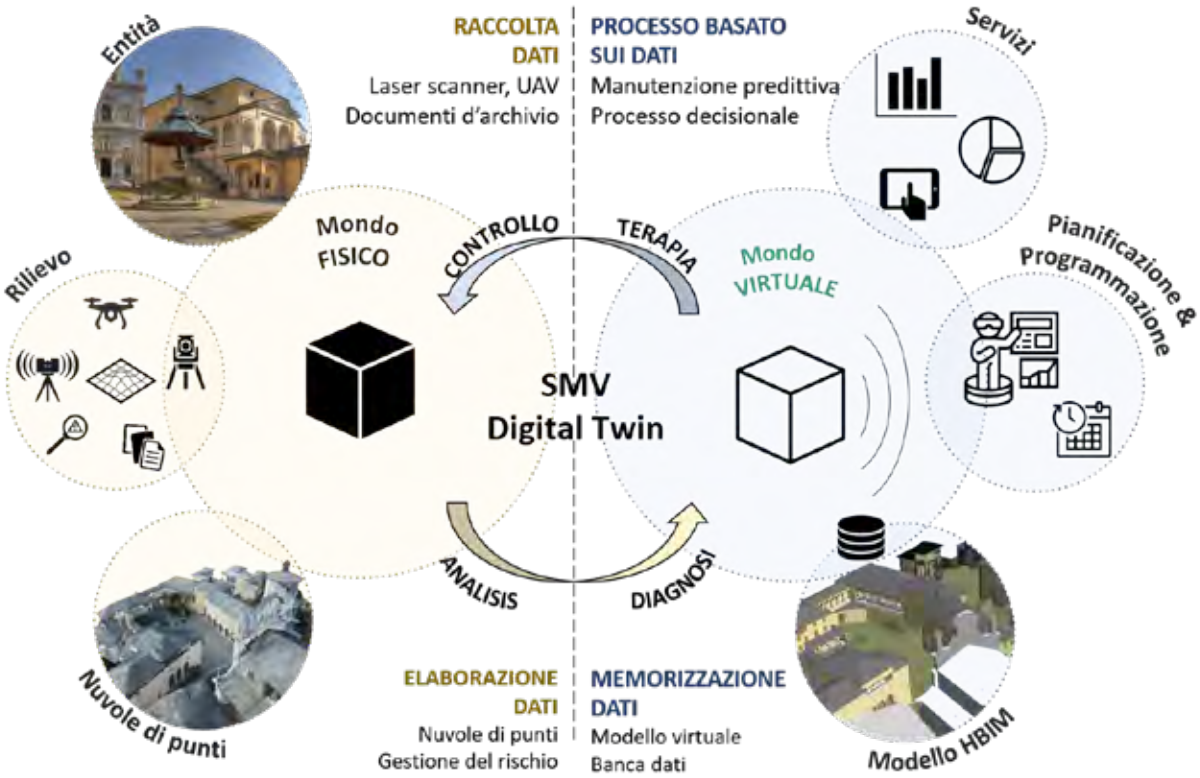


Figura 10
Schema esemplificativo del *Digital Twin* del complesso dei Sacri Monti.

3.2.2 STRUMENTI PER IL RILIEVO METRICO SPEDITIVO DEI FRONTI

di Maria Paola Vozzola

COSA SI INTENDE PER RILIEVO METRICO SPEDITIVO?

Per rilievo speditivo di un manufatto architettonico si intende l'insieme delle operazioni volte a ottenere un rilievo con una accuratezza adeguata al tipo di rappresentazione e conoscenza del bene mediante l'utilizzo di strumenti e *app/software* open source o a basso costo.

QUALI SONO I BENEFICI DI UN RILIEVO SPEDITIVO?

Tra i benefici riscontrabili durante le diverse fasi di rilievo, le principali risultano essere:

- la possibilità di poter utilizzare strumenti accessibili a una utenza sempre più vasta ed eterogenea, poiché strumenti a basso costo o *open source* e di semplice utilizzo;
- la possibilità di poter effettuare un rilievo geometrico bidimensionale o tridimensionale, a seconda delle necessità del rilevatore;
- l'opportunità di poter valutare caso per caso, a seconda del grado di accuratezza desiderato, quale tipologia di strumento utilizzare e in conseguenza modulare l'entità dell' investimento iniziale;
- il vantaggio, in conseguenza, di poter documentare un manufatto scegliendo un livello di accuratezza/approssimazione adeguato all'obiettivo finale del rilievo;
- il vantaggio di ottenere dati sufficientemente accurati in un minor tempo di elaborazione e di post-produzione;
- il vantaggio, infine, di poter condividere i dati rilevati con ambienti di lavoro CAD, BIM e GIS a seconda della tipologia di rilievo effettuato, dello strumento utilizzato e dell'output desiderato.

Figura 1
Alcuni strumenti utilizzabili per il rilievo speditivo dei fronti.

COME SI ACQUISISCONO I DATI, NEL CASO SPECIFICO DEI FRONTI?

Esistono diverse tecniche di rilevamento, applicabili a seconda del manufatto da rilevare, della tipologia di dati da rilevare e della tipologia di rappresentazione. Nello specifico, per il rilevamento dei fronti urbani è possibile realizzare rilievi diretti e indiretti, effettuati mediante l'utilizzo di:

- un distanziometro laser, associato a una app, installata su smartphone o tablet, per il rilevamento diretto delle misure mediante l'utilizzo dello strumento;
- una **app** installata su smartphone o tablet, che sfrutta le potenzialità delle fotocamere dello strumento per il rilievo di **misure bidimensionali su fotografie statiche**;

Figura 2
Esempio di rilievo speditivo di un fronte mediante utilizzo di distanziometro laser e app collegata.

Figura 3
Esempio di rilievo speditivo di un fronte mediante app.

Figura 4
Esempio di rilievo speditivo di un fronte mediante fotocamera LiDAR e app.

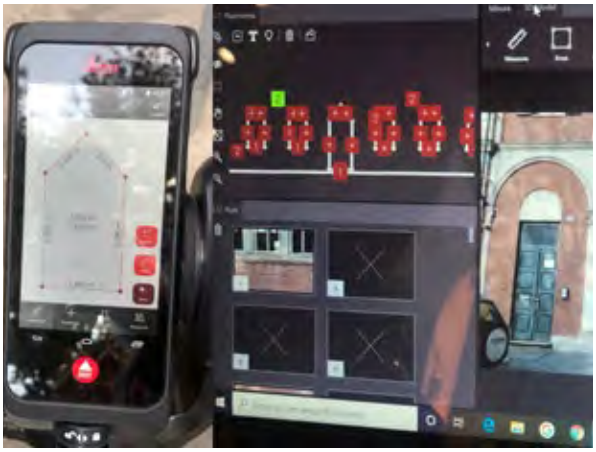


Figura 5
Esempio di rilievo speditivo di un fronte mediante strumento e software di elaborazione dati.

- una **app** installata su smartphone o tablet, che sfrutta la presenza della **fotocamera LiDAR** installata sul dispositivo, per la realizzazione della nuvola di punti e per il rilevamento delle misure dalle immagini;

- uno **strumento per il rilievo metrico e un *software* per l'elaborazione dei dati** per la realizzazione di un rilievo ottenuto dall'integrazione di dati geometrici rilevati direttamente con lo strumento e dati dedotti dalle immagini all'interno del software di elaborazione del rilievo in post-produzione.

COME POSSONO ESSERE REALIZZATI I RILIEVI?

La realizzazione del rilievo può essere sviluppata in tre diverse modalità:

- **rilievo fotografico all'interno dell'ambiente di lavoro dell'app**: elaborazione dell'immagine con visualizzazione delle misure rilevate direttamente sulla fotografia; rappresentazione dei dati rilevati sulla fotografia; esportazione e condivisione immagine con l'indicazione delle misure rilevate; impossibilità di integrare/modificare il rilievo in fasi successive;

- **rilievo metrico con lo strumento**: visualizzazione grafica dei dati bidimensionali ed elaborazione/integrazione del rilievo direttamente all'interno dell'ambiente di lavoro dell'app collegata allo strumento; restituzione grafica bidimensionale degli elementi rilevati visualizzabile all'interno dell'app (rappresentazione grafica delle misure sulla fotografia o rappresentazione geometrica del rilievo); esportazione e condivisione dei dati in diversi formati; possibilità di integrare/elaborare e aggiornare i dati in fasi successive in ambiente CAD;

- **rilievo metrico con lo strumento collegato a un software per l'elaborazione dei dati:** visualizzazione grafica dei dati tridimensionali direttamente durante le fasi di rilievo all'interno dello strumento; lettura dei dati nel *software* di elaborazione in *back office*; esportazione e condivisione dei dati tridimensionali in diversi formati; possibilità di integrare/elaborare e aggiornare i dati in fasi successive in ambiente CAD e BIM;

- **rilievo con fotocamera LiDAR**: realizzazione della nuvola di punti all'interno dell'app; esportazione e condivisione della nuvola di punti in diversi formati; possibilità di integrare/elaborare e aggiornare i dati elaborati in fasi successive in ambiente CAD e BIM.

QUALI *SOFTWARE* POSSONO ESSERE UTILIZZATI PER IL RILIEVO?

Oggi in commercio sono presenti numerose app e *software* per il rilievo speditivo, è quindi possibile scegliere quale ambiente di lavoro adoperare anche in base alla tipologia di investimento iniziale, dovuto all'acquisto/noleggio dello strumento o all'acquisto/abbonamento della app:

- se si utilizza un distanziometro laser bluetooth è possibile utilizzare le app gratuite delle case produttrici. I distanziometri pù diffusi sono quelli prodotti dalla Leica, Bosh e Stanley, per i quali è possibile scaricare le app da installare sui propri dispositivi mobili; già con le funzioni base è possibile realizzare rilievi bidimensionali su foto o su ambiente di disegno ed esportare i dati in diversi formati. Peresempio per il disto della Leica è disponibile l'app *DISTO Plan*, per il disto della Bosh l'app MeasureOn, per il disto della Stanley l'app *Stanley Smart Measure Pro*;
- a seconda della tipologia di dispositivo mobile utilizzato, smartphone o tablet, e del sistema operativo (iOS o Android), è possibile utilizzare app diverse, alcune delle quali *free*, altre per le quali sarà necessario stipulare un abbonamento mesile/annuale. Tra le app disponibili per entrambi i sistemi operativi, ricordiamo: *Metro*, *Rilievo*, *Blumatica Rilievi Mobili*, *Magic Plan* o *Planimetro*;
- se si utilizza un dispositivo mobile, smartphone o tablet dotato di LiDAR (installate su dispositivi Apple, dall'Ipad PRO all'Iphone PRO) è possibile utilizzare app in grado di realizzare nuvole di punti direttamente all'interno dell'ambiente di lavoro del dispositivo. Le app per essere sfruttate al meglio, soprattutto per la condivisione dei dati rilevati, hanno la necessità di attivare un abbonamento mensile. Tra le app utilizzabili in ambiente iOS, ricordiamo: *Polycam* e *SiteScape*;
- un esempio di rilievo metrico con strumento può essere quello realizzato con il BLK3D della Leica, il quale permette di misurare sulle immagini in qualsiasi momento: ogni foto acquisita è un record di misurazione. Le misurazioni del manufatto da rilevare possono essere realizzate direttamente sul posto, utilizzando l'imager BLK3D, portatile o in un momento successivo utilizzando il software BLK3D Desktop.

3.2.3 IL *DATABASE* SPAZIALE E LA SUA GESTIONE

di Elisabetta Colucci, Francesca Matrone

COSA SONO I DATI SPAZIALI?

I dati spaziali sono dati di oggetti, eventi o fenomeni che hanno una posizione sulla superficie della terra.

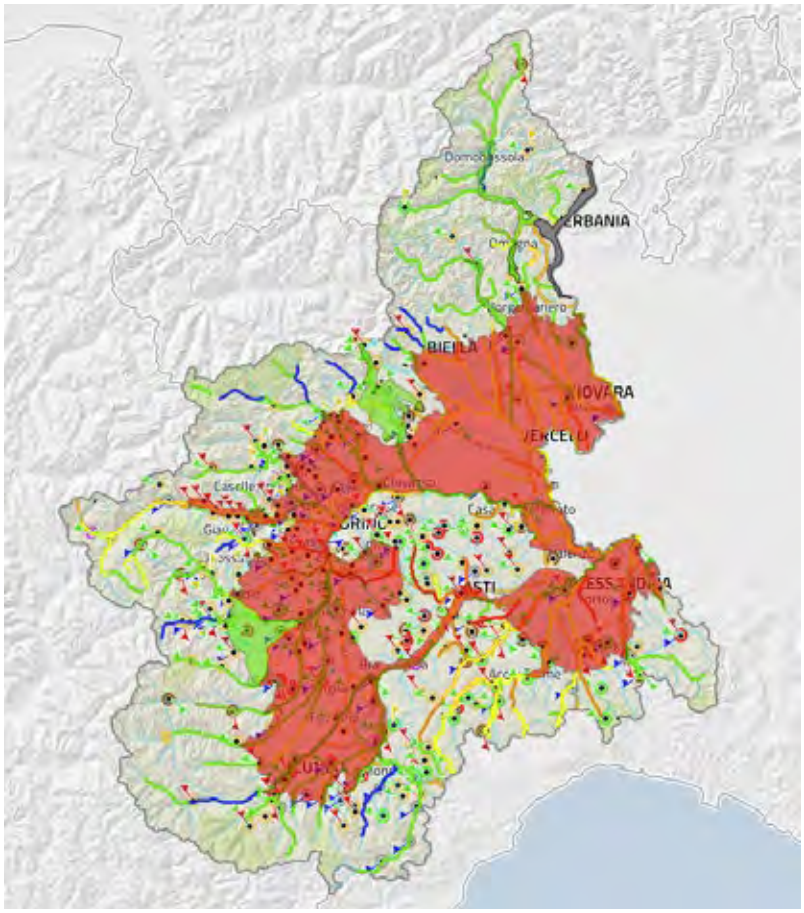


Figura 1
Esempio di dati geospaziali della regione Piemonte.
https://www.geoportale.piemonte.it/visregpigo/

L'ubicazione può essere *statica* (per esempio, l'ubicazione di una strada o un edificio) o *dinamica* (un veicolo in movimento o la diffusione di una malattia infettiva).

I dati spaziali combinano informazioni sulla **posizione** (di solito coordinate sulla terra), informazioni sugli **attributi** (le caratteristiche dell'oggetto) e spesso anche **informazioni temporali** (il tempo o la durata dell'evento)[1].

1. Stock, Guesgen 2016.

CHE COS'È UN *DATABASE* SPAZIALE?

Un *database* spaziale (*geodatabase*) è una base dati ottimizzata per gestire i dati spaziali, un archivio fisico di informazioni geografiche che sfrutta principalmente un DBMS (*database management system*). Questo DBMS si basa su un sistema *software* che si occupa dell'aggiornamento, manutenzione e consultazione dei dati stessi.

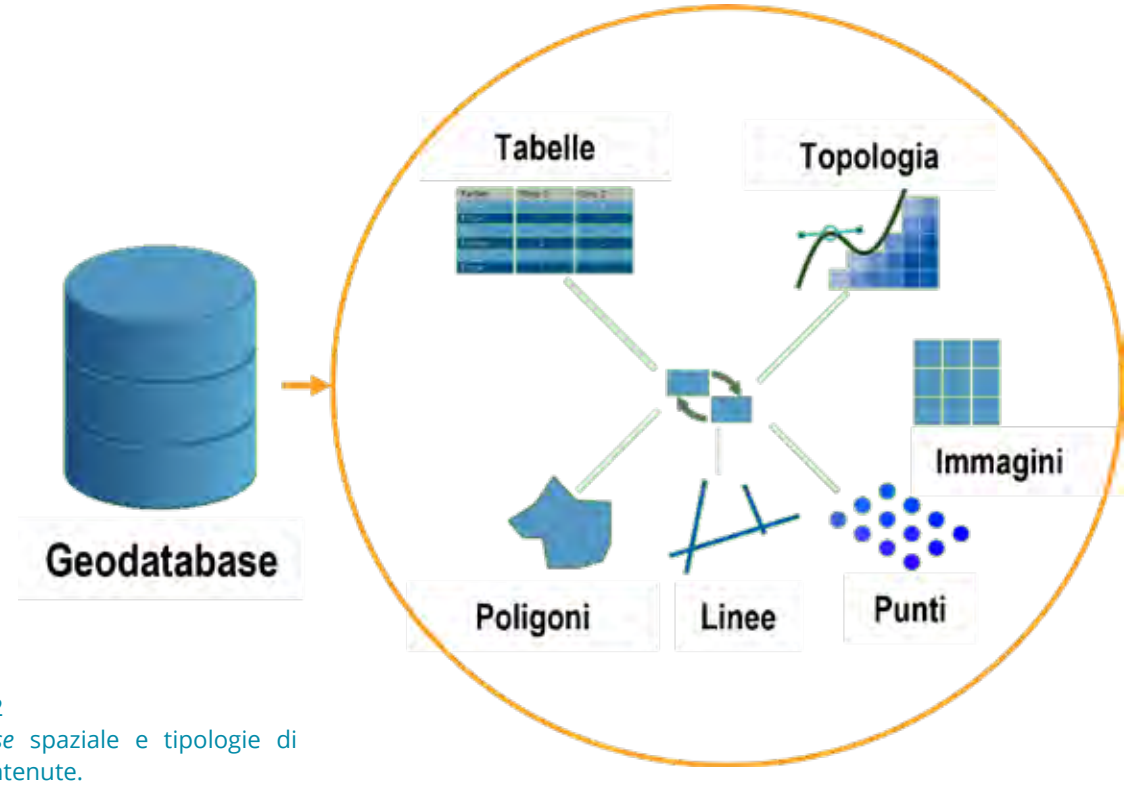


Figura 2
Database spaziale e tipologie di dati contenute.

A COSA SERVE?

Un *database* spaziale è progettato per archiviare, interrogare e manipolare informazioni geografiche e dati spaziali con una bassa dimensionalità (2D – coordinate *x, y* - o 3D – *x, y, z*). Queste operazioni consentono di svolgere analisi a supporto di varie attività, dalla pianificazione territoriale alle pratiche catastali, dal monitoraggio ambientale a indagini socio-economiche.

CHE TIPOLOGIE DI *DATABASE* GEOGRAFICI ESISTONO?

Ne esistono di due tipologie: **relazionali** (RDBMS) e **orientati a oggetti** (OODBMS). Nel caso del progetto *MAIN10ANCE*, è stato utilizzato un RDBMS (relational DBMS - sistema per la gestione di basi di dati relazionali) basato sul modello relazionale introdotto da Edgar F. Codd[2], in cui i dati sono memorizzati in tabelle correlate e i dati di una tabella sono collegati ai dati di un'altra tabella: sono quindi rappresentati dalle relazioni che li legano.

2. Codd, 1990.

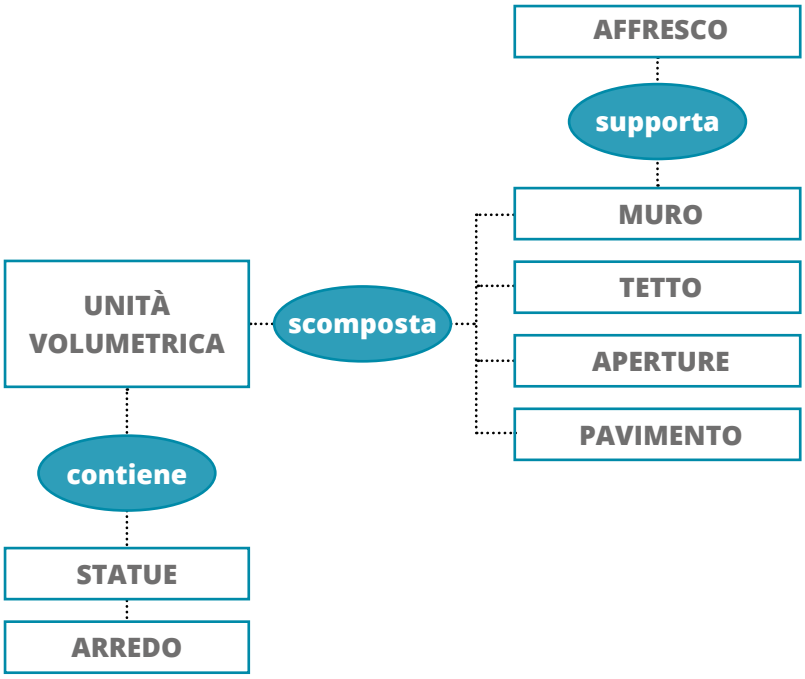


Figura 3
Esempio di schema entità-relazioni.

QUAL È LA SUA STRUTTURA?

Un *database* relazione è basato sul modello Entità-Relazioni (utilizzato principalmente nel *modello concettuale*). Esso si basa essenzialmente sulla formalizzazione di tre elementi:

- **entità**, ossia gli oggetti reali rappresentati tramite geometrie come linee, punti e poligoni;
- **attributi**, che identificano le entità e rappresentano le proprietà e le caratteristiche degli oggetti;
- **relazioni**, che legano fra loro le entità e possono essere di tre tipi: uno a uno, uno a molti (o molti a uno), molti a molti.

COME SI PROGETTA UN *DATABASE* SPAZIALE?

Quando si struttura un *database* è consigliabile seguire alcune fasi di modellazione che si suddividono in:

- **modello esterno**, descrizione degli oggetti della realtà da includere e gestire nel *database*;
- **modello concettuale**, formalizza il modello precedente individuando i concetti (entità o classe di entità) e le relazioni tra di essi;
- **modello logico**, è la schematizzazione del modello concettuale in una struttura dei dati traducibile in un linguaggio comprensibile all'elaboratore (modello relazionale): le modalità di memorizzazione (numeri, stringhe, identificatori) e come collegare fra loro i vari dati (*link*);
- **modello interno**, descrive l'effettiva applicazione *software* e *hardware* con un linguaggio macchina.

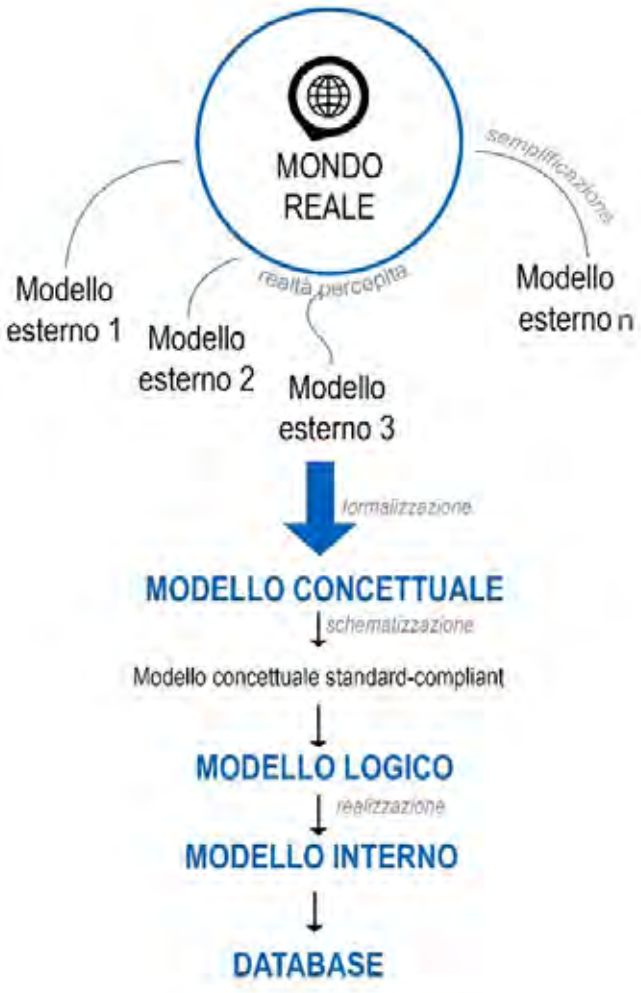


Figura 4
Processo di modellazione di un *database*, dal mondo reale al modello interno.

3.2.4 IL *DATABASE* DEL PROGETTO *MAIN10ANCE*

di Elisabetta Colucci, Francesca Matrone

COME È STRUTTURATO IL *DATABASE* DI MAIN10ANCE?

Il *database* del progetto *MAIN10ANCE* è stato strutturato in modo che fosse multi-scala e **interoperabile**. È multi-scala, perché contiene al suo interno dati a diverse scale di rappresentazione, da quella territoriale a quella architettonica fino agli apparati decorativi e integra le conoscenze utili per le attività di restauro, conservazione e manutenzione di questi beni (mobili e immobili). Inoltre è interoperabile, perché integra le entità e le proprietà degli *standard* spaziali internazionali e nazionali, seguendo la suddivisione in Livelli di Dettaglio (LOD - *Levels of Detail*).

Figura 1
Livelli di dettaglio definiti dal CityGML 2.0.
Biljecki, Ledoux, Stoter, 2016.

COSA SONO GLI *STANDARD* SPAZIALI?

Gli *standard* per i dati spaziali permettono di organizzare e salvare i dati in modo da garantire operazioni di interoperabilità tra sistemi e *software* differenti. È così possibile scambiare i dati e le informazioni tra i diversi professionisti anche se provengono da diverse città o addirittura altre nazioni. Proprio per garantire quest'interoperabilità, il *database* di *MAIN10ANCE* è stato strutturato seguendo diversi *standard* a diverse scale:

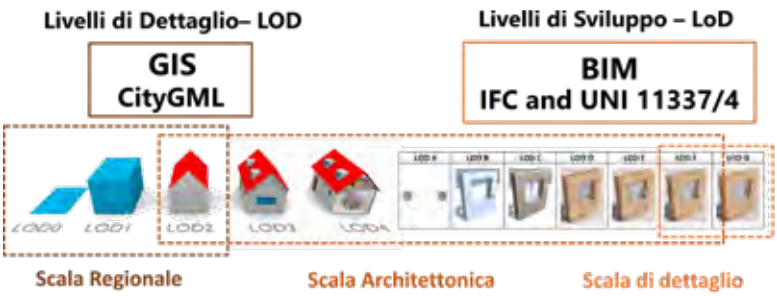


Figura 2
Organizzazione della struttura del *database* secondo diversi Livelli di Dettaglio e *standard*.

- la BDTRE[1] (Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti piemontesi) che è conforme a INSPIRE[2] (*Interoperable Spatial Data Infrastructure in Europe*), una direttiva europea nata per creare un'infrastruttura di dati territoriali interoperabile in Europa;
- il CityGML[3] (Geography Markup Language) utilizzato per rappresentare informazioni 3D multi-scala di edifici e città, organizzato in cinque LOD (0-4);
- l'IFC[4] (*Industry Foundation Classes*), ossia lo *standard* progettato per il BIM (*Building Information Modelling*).

1. https://www.geoportale.piemonte.it/cms/bdtre/bdtre-2
2. https://inspire.ec.europa.eu/
3. https://www.ogc.org/standards/citygml
4. https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/

QUALI LIVELLI DI DETTAGLIO (LOD) SONO STATI UTILIZZATI

Ai cinque LOD previsti dallo *standard* CityGML, è stato aggiunto un LOD 5, creato *ad hoc* per il progetto, che racchiude tutti i dati tabellari (entità non geometriche) riguardanti le attività di manutenzione dei Sacri Monti.
In particolare:

- **LOD 0-2** contengono i dati a scala territoriale e urbana;
- **LOD 2-3** definiscono l'ambiente esterno e le componenti architettoniche;
- **LOD 4** include gli elementi interni (come statue o dipinti);
- **LOD 5** registra i dati sui piani di manutenzione e lo stato di conservazione.

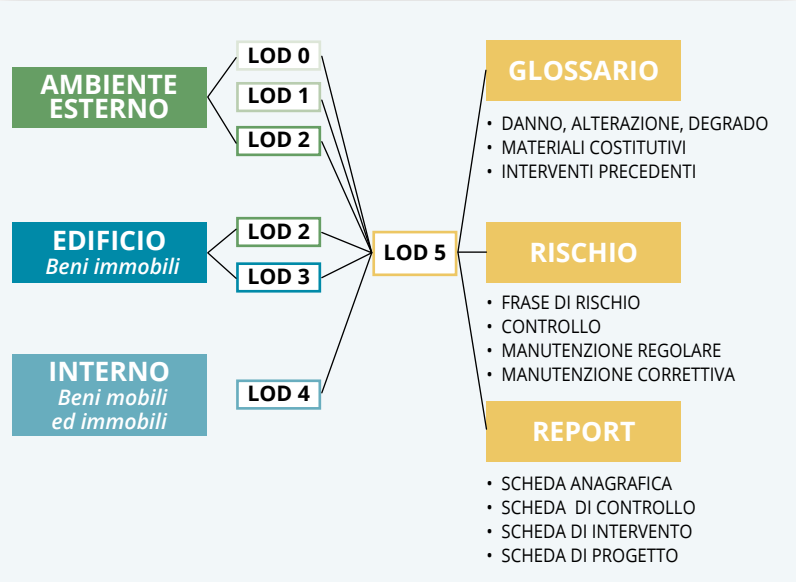


Figura 3
Esempio di dati geospaziali della regione Piemonte.
https://www.geoportale.piemonte.it/visregpigo/

CHE *SOFTWARE* USO PER LA GESTIONE DEL *DATABASE*?

La struttura del *database* è stata sviluppata in **PostgreSQL** e le classi sono state popolate con i dati spaziali e alfanumerici derivanti dalla BDTRE (come edifici, strade e vegetazione dal geoportale regionale). Il *database* è stato connesso al GIS (*Geographic Information System*) grazie all'estensione spaziale **PostGIS** e il *software* utilizzato è **QGIS**. In ambiente GIS è, inoltre, possibile importare anche le tabelle alfanumeriche contenenti informazioni relative a manutenzione e rischio.
Le geometrie possono essere interrogate e, grazie alle relazioni implementate nel DB, è possibile conoscere le informazioni del LOD5.

3.3
SCENARI FUTURI
Sara Fasana

I Sacri Monti costituiscono esempio straordinario non solo per il valore culturale, artistico e storico intrinseci, ma anche quale caso studio di significativa complessità, in relazione con le necessità di efficienza nella gestione e di efficiacia di interventi di restauro conservativo, secondo urgenze e priorità non sempre programmabili o prevedibili, senza tuttavia poter prescindere, nel contempo, da una costante e insostituibile azione manutentiva. Questo Capitolo espone in modo semplice i principi sui quali si è basata la costruzione della Piattaforma MAIN10ANCE, che è stata al momento sviluppata ed applicata ad alcuni casi emblematici di edifici dei Sacri Monti, ma che si auspica possa divenire nel tempo uno strumento condiviso, utile per esempio anche nel caso di beni ecclesiastici isolati e, in futuro, anche per il patrimonio diffuso, innescando un virtuoso processo di diffusione della consapevolezza dei valori e del senso di responsabilità per la cura del patrimonio architettonico diffuso. Per queste ragioni il capitolo si articola in due parti: la prima per fornire le conoscenze basilari utili operativamente per comprendere il funzionamento e introdurre all'utilizzo della Piattaforma MAIN10ANCE; la seconda per delineare scenari futuri, per l'applicazione di metodi e strumenti condivisi al più ampio insieme degli edifici diffusi sul territorio. I contenuti del capitolo sono completati, sul piano degli strumenti, dalla disponibilità di accesso a una versione educativa/dimostrativa della piattaforma, disponibile sul sito del Progetto MAIN10ANCE.

3.3.1 PIATTAFORME MULTISCALARI E CONDIVISIONE DI DATI: RISPOSTE LOCALI A SFIDE GLOBALI

di Emmanuele Iacono, Gianvito Marino Ventura

PIATTAFORMA *MAIN10ANCE*

PERCHÉ UNA PIATTAFORMA?

La piattaforma, realizzata in occasione del progetto *MAIN10ANCE*, risulta uno strumento innovativo per la redazione e attuazione di un piano di conservazione programmata e che, a scala più ampia, si configura come contenitore di conoscenza per la promozione, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale diffuso. Gestire molteplici attività di carattere manutentivo e conservativo si traduce con la necessità di gestire una grande mole di informazioni le quali, da una parte descrivono il bene oggetto di studio alle diverse scale (territoriale, architettonica e di dettaglio), dall'altra forniscono istruzioni operative e organizzative delle attività stesse, entrambe caratterizzate da un vasto repertorio tipologico di dati tra cui documenti, immagini e molto altro. Per questo è stata realizzata una piattaforma caratterizzata da un *database* relazionale (lato *server*), la cui struttura è volta a governare tale processo, e da un'interfaccia (lato *client*) realizzata immaginando di poter accedere facilmente e in maniera intuitiva e interattiva a tutte queste informazioni. La piattaforma si distingue dai principali *software* di manutenzione che troviamo in commercio per essere stata creata *ad hoc* per gli obiettivi specifici di progetto con le seguenti caratteristiche:

- ***web app***: trattasi di un'applicazione che, a differenza del sito web statico, si distingue per la dinamicità e reattività alle richieste dei diversi utenti; accessibile tramite una semplice connessione a internet, risulta fruibile sia da remoto tramite *workstation*, sia in prossimità del bene con dispositivo *mobile*, permettendo l'interazione con la banca dati.
- ***cloud-based***: consente di evitare la duplicazione del dato attraverso la condivisione delle informazioni in rete, in tempo reale, migliorando la collaborazione dei diversi professionisti coinvolti nel processo di conservazione.
- ***open-source***: non vi è la necessità di scaricare alcun programma o *software* con la gestione di eventuali licenze, per cui l'applicazione risulta gratuita e il codice sorgente pubblico.

- ***object-oriented***: principio fondamentale sul quale la piattaforma fa perno è l'interazione geometrica; i dati sono sempre associati agli oggetti, siano essi geometrie bidimensionali o elementi tridimensionali, per cui uno dei modi per poter accedere, modificare, integrare e interrogare le informazioni risulta la selezione di un oggetto digitale all'interno della piattaforma che ne replica il suo corrispettivo all'interno del mondo fisico e reale.

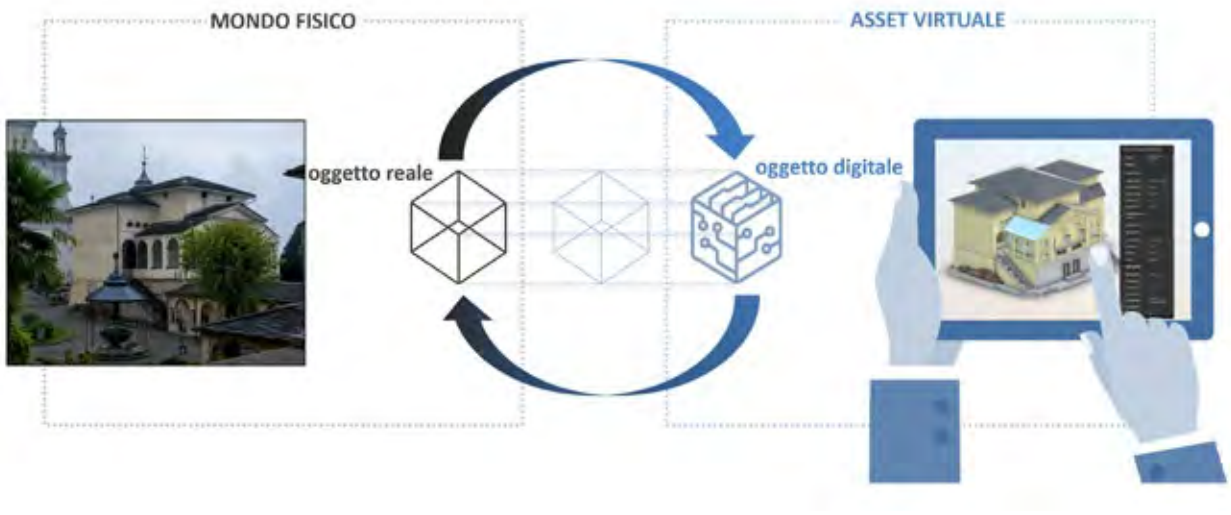


Figura 1
Interazione tra oggetto reale e oggetto digitale.

MAIN10ANCE LIVELLI DI AUTORIZZAZIONE

Figura 2

QUALI SONO LE TIPOLOGIE DI UTENTE, E QUALI LE FUNZIONALITÀ PERMESSE A CIASCUNO?

Attraverso il *qr code* si accede alla piattaforma *MAIN10ANCE*, all'interno della quale i dati (geometrici e semantici) sono visualizzabili in funzione di specifici livelli di autorizzazione a cui corrispondono diverse tipologie di utente per garantire sicurezza e privacy. La registrazione avviene tramite la finestra di *Login*, sarà poi il **gestore** a fornire le autorizzazioni specifiche. In questo contesto vengono fornite delle credenziali di accesso temporanee per simulare i diversi livelli di autorizzazione. A ciascun livello corrispondono, oltre alle funzionalità già accessibili al livello inferiore, anche degli strumenti aggiuntivi o delle nuove funzionalità all'interno di strumenti già visibili.

I livelli previsti sono:

- **Turista:** utente non registrato o utente registrato, ma senza permessi, al quale è concessa la possibilità di visualizzazione della mappa *(GIS Viewer)*, di navigazione dei modelli tridimensionali *(BIM Viewer)* e di consultazione iconografica dei manufatti mobili e apparati decorativi *(Artifact Viewer)*;
- **Operatore:** utente registrato (NOME UTENTE: operatore; PASSWORD: operatore.19) con la possibilità di visualizzare una serie di schede relative alle attività di conservazione *(Planner)* e di inserire le corrispondenti informazioni attraverso l'interazione geometrica all'interno dell'apposito visualizzatore;
- **Gestore:** utente registrato (NOME UTENTE: gestore; PASSWORD: gestore.22) che pianifica e programma le attività *(Planner)* e controlla lo stato generale delle cose *(Dashboard)*.
- **Amministratore:** figura *super partes*, non coinvolta direttamente nelle operazioni di gestione del bene, si tratta del livello più alto necessario per lo sviluppo, l'aggiornamento e la manutenzione della piattaforma stessa.

Figura 3
Suddivisione dei diversi utenti della piattaforma e strumenti a loro accessibili.

MAIN10ANCE APP

QUALI SONO GLI SRUMENTI DI VISUALIZZAZIONE?

GIS Viewer

Visualizzatore bidimensionale, per contenuti di carattere geografico provenienti dal dominio GIS del *database* condiviso. Sulla mappa sono materializzati una serie di *marker* indicanti le principali località segnalate all'interno della piattaforma e, a un ingrandimento maggiore, gli edifici di queste. Sono poi visualizzabili, attraverso l'interazione con l'*Explorer* e i suoi strumenti, i singoli livelli GIS della località scelta.

- ***Marker:*** simboli che indicano la presenza di località registrate all'interno del *database*.
- **Livelli GIS:** punti, linee o poligoni interattivi e interrogabili, che rappresentano i singoli elementi geografici inseriti sulla piattaforma.

BIM Viewer

Visualizzatore tridimensionale, permette di aprire ed esplorare i modelli BIM caricati in precedenza sulla piattaforma. Una barra degli strumenti fornisce numerose funzionalità utilizzabili per fare esperienza degli edifici e approfondirne la conoscenza in modalità virtuale, da remoto.

- **Navigazione in terza persona:** permette di esplorare il modello attraverso strumenti classici di navigazione come il *pan*, l'*orbita* o la *camera*.
- **Navigazione in prima persona:** consente di simulare un percorso virtuale all'interno del modello.

Figura 4
Marker dei Sacri Monti diffusi in Piemonte, Lombardia e Svizzera.

Figura 5
Alcuni livelli GIS del Sacro Monte di Varallo.

Figura 6
Navigazione in terza persona della Cappella 10 del Sacro Monte di Varallo.

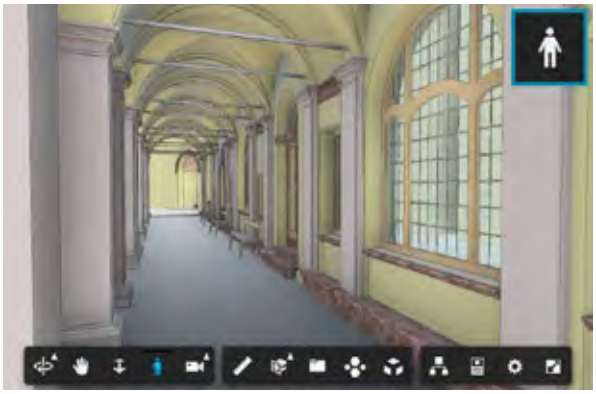


Figura 7
Navigazione in prima persona del portico che collega le Cappelle 20, 21 e 22 del Sacro Monte di Varallo.

Figura 8
Misurazione nello spazio del portale in prossimità della Cappella 20 del Sacro Monte di Varallo.

Figura 9
Sezione trasversale della cappella 36 del Sacro Monte di Varallo.

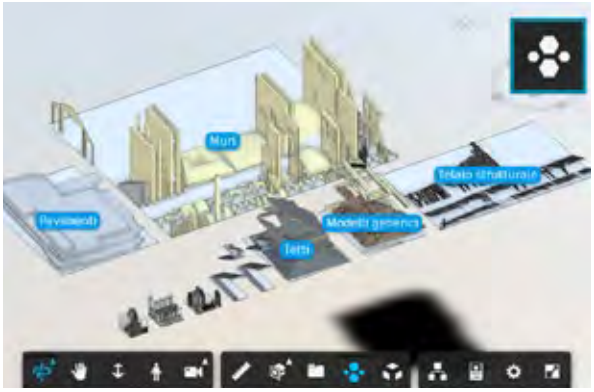


Figura 10
Cluster tipologico degli elementi del Complesso della Crocifissione del Sacro Monte di Varallo

Figura 11
Esploso del modello del Complesso della Crocifissione del Sacro Monte di Varallo

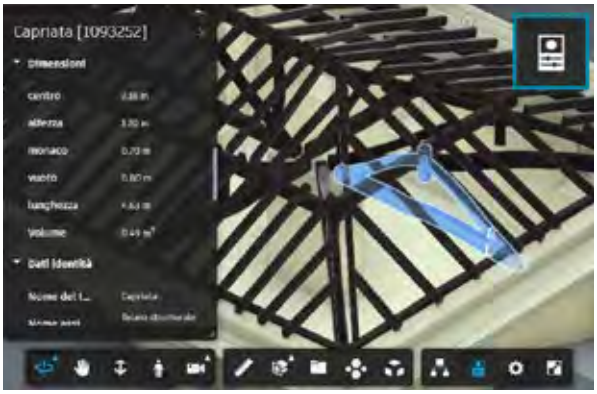


Figura 12
Pannello delle proprietà di una capriata all'interno del sottotetto della Cappella 38 del Sacro Monte di Varallo

Figura 13
Comandi da tasto destro sulla grata della Cappella 39 del Sacro Monte di Varallo

- **Misurazione:** strumento dinamico che permette di cogliere misure nello spazio.
- **Sezione:** dinamica e tridimensionale, permette la visualizzazione deli spazi interni e delle stratigrafie eventualmente modellate.
- ***Cluster* tipologico:** raccoglie gli elementi in insiemi per categoria, utile per una facile lettura dei componenti edilizi costituenti il modello interrogato.
- **Esploso:** utile all'individuazione di elementi talvolta difficilmente leggibili con una visualizzazione completa del modello.
- **Pannello delle proprietà:** mostra tutti i parametri alfanumerici posseduti dalla vista o dall'oggetto correntemente selezionato.
- **Comandi della funzione tasto destro:** permettono di nascondere, isolare, ingrandire, sezionare o interrogare (visualizzandone le proprietà) un elemento selezionato nel modello.

Artifact viewer

Visualizzatore per immagini, consente di interrogare un apposito *file storage* collegato con la piattaforma, e contenente una serie di immagini relative agli elementi mobili, apparati decorativi e artefatti di varia natura presenti all'interno di ciascun edificio.

- **Galleria:** visualizzazione per selezione di località, edificio e tipo di elemento tra cui statue, arredi, dipinti murali e pavimenti decorativi. Vi è inoltre la possibilità di interrogazione e di inserimento di nuovi dati.

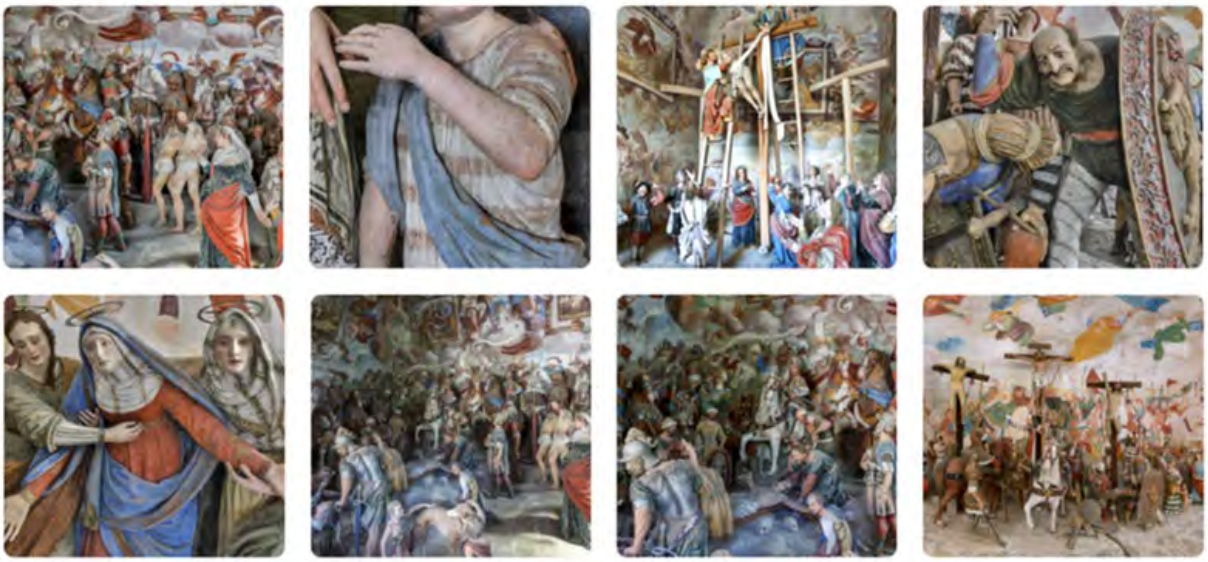


Figura 14
Galleria delle statue presenti all'interno della Cappella 38 del Complesso della Crocifissione del Sacro Monte di Varallo

QUALI SONO GLI STRUMENTI DI DOCUMENTAZIONE?

All'interno dei visualizzatori è possibile accedere, previa specifica autorizzazione, ad alcuni strumenti aggiuntivi presenti all'interno dell'*Explorer* orientati alla gestione delle informazioni e della documentazione dei singoli componenti.

- **Anagrafica:** all'interno del *BIM Viewer* è possibile registrare una scheda con informazioni descrittive relative a uno specifico elemento.
- **Gestione artefatti:** all'interno dell'*Artifact Viewer* è possibile inserire nuovi *record* nel *database* per descrivere un manufatto mobile o un apparato decorativo presente all'interno di una cappella, attraverso il comando *Carica File* che permette di selezionare un'immagine e associarle una serie di informazioni.
-

Figura 15
Scheda anagrafica per la grata della Cappella 36 del Sacro Monte di Varallo

Figura 16
Interfaccia di caricamento di nuove immagini dall'*Artifact Viewer*

QUALI SONO GLI STRUMENTI DI GESTIONE?

Il *Planner* è probabilmente lo strumento più importante dell'intera piattaforma *MAIN10ANCE*, dal punto di vista della gestione delle attività di controllo e intervento. Esso è utilizzato sia dall'utente gestore sia dall'operatore, sebbene con modalità differenti. In questo strumento le informazioni vengono suddivise e visualizzate per fasi.

- **Pianificazione:** prima fase per l'organizzazione delle attività cicliche (controllo e manutenzione). Attraverso questo pannello il gestore può:
  - selezionare per ogni località gli edifici per i quali intende pianificare le attività;
  - scegliere una categoria di elementi;
  - prendere visione delle frasi di rischio e relativi interventi raccomandati;
  - impostare per questi una frequenza e una data di inizio ciclo manutentivo.
- **Programmazione:** in questa fase le schede vengono integrate con una serie di informazioni tra cui:
  - l'esecutore a cui viene assegnata l'attività;
  - eventuali strumentazioni necessarie;
  - ore di lavoro e costi previsti;
  - la data programmata.
- In questa fase vengono programmati anche gli interventi di riallineamento (manutenzioni correttive e straordinarie) indicati durante le attività di controllo.
- **Calendarizzazione:** le attività (pianificate e programmate) vengono segnalate tramite appositi eventi all'interno di un calendario condiviso. Interagendo con tali eventi è possibile visualizzare la relativa scheda di attività.
- **Esecuzione:** le schede in questa fase possiedono tutte le informazioni di carattere operativo che servono al manutentore per eseguire l'attività.

Figura 17
Pianificazione.

Figura 18
Programmazione.

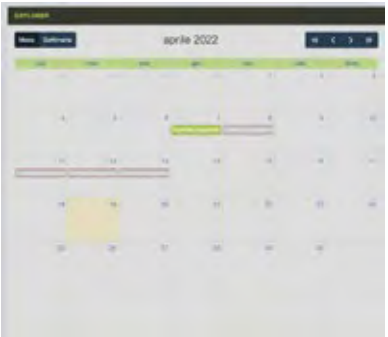


Figura 19
Calendarizzazione.

Figura 20
Esecuzione.

- ***Report:*** attraverso la scheda di esecuzione si ha la possibilità di accedere al *BIM Viewer* dove vengono automaticamente isolati gli elementi di interesse e dove è possibile registrare una scheda con una serie di informazioni riguardanti l'attività eseguita.
- **Storico:** in questa sezione le schede sono salvate, archiviate e non più modificabili e costituiscono una base di conoscenza per futuri cicli di manutenzione.
- ***Dashboard:*** le informazioni (correnti e archiviate) vengono visualizzate all'interno di un cruscotto per capire lo stato dei manufatti, l'avanzamento delle attività e per avere la possibilità di ottenere visioni d'insieme dei beni gestiti.

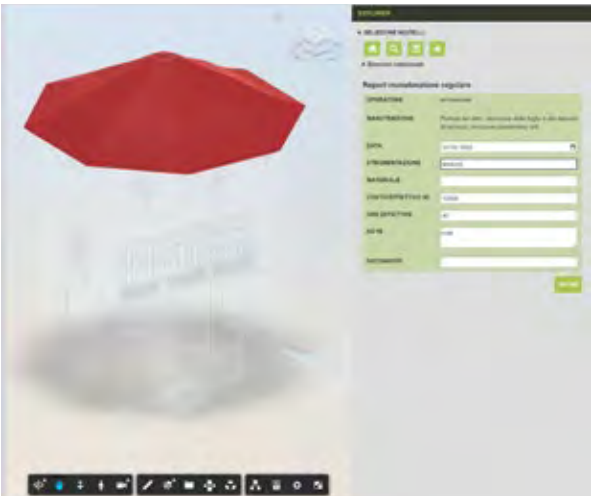


Figura 21
Report relativo a un'attività di manutenzione sulla copertura della Cappella 10 del Sacro Monte di Varallo.

Figura 22
Storico.

Figura 23
Dashboard.

MAIN10ANCE ID

PERCHÉ IDENTIFICARE UNIVOCAMENTE ELEMENTI APPARTENENTI A MODELLI DIFFERENTI?

Il codice identificativo è una stringa alfanumerica che associata a un singolo oggetto BIM ne permette la definizione e individuazione univoca.

Nel contesto del progetto *MAIN10ANCE* fornisce anche la possibilità di associare agli oggetti e archiviare all'interno del database una serie di informazioni. Pensando di dover caricare sulla piattaforma un numero considerevole di modelli, per natura caratterizzati da un vasto repertorio di elementi, è impensabile poter lavorare con il codice identificativo nativo del *software* di modellazione: questo perché c'è una concreta possibilità che possano esistere due o più elementi appartenenti a modelli diversi con lo stesso codice identificativo, situazione che comprometterebbe il giusto funzionamento della piattaforma. Dunque, un requisito fondamentale di un modello BIM per essere caricato sulla piattaforma è quello di avere un identificativo degli elementi creato *ad hoc* chiamato *id_main10ance.*

DA COSA È COMPOSTO L'*ID_MAIN10ANCE*?

L'*id_main10ance* è costituito da 4 componenti: una sigla della località in cui si trova il bene, una sigla dell'edificio modellato, il parametro *Entità* indicante la categoria con la quale si vuole classificare l'oggetto (e che corrisponde alla tabella del database nella quale si vogliono far confluire i dati) e l'id nativo di Revit.

Località|Edificio|Entità|id Revit

esempio: SMV|10|muro|123456

COMPONENTE	ESEMPIO	VALORE
Località	Sacro Monte di Varallo	SMV
Edificio	Cappella 10	10
Entità	Muro	muro
id_Revit	123456	123456

L'*id_main10ance* si ottiene dall'unione delle diverse componenti con un separatore (barra verticale "|", combinazione: Alt+124) all'interno di un parametro creato appositamente, eseguendo i seguenti passaggi:

1. **creazione parametri condivisi:** attraverso il pulsante dedicato si apre una scheda nella quale è possibile creare un *file* di testo contenitore dei parametri condivisi. Una volta creato un nuovo parametro condiviso definendo una serie di informazioni (*nome, gruppo, tipo del dato*) lo si aggiunge al progetto e alle categorie a cui lo si vuole associare. A questo punto nel pannello delle proprietà di ogni componente si troverà il parametro condiviso. In questo caso è necessario creare due parametri condivisi (*Entità* e *id_main10ance*) e associarli a tutte le categorie degli elementi presenti nel modello;

2. **compilazione parametro *Entità:*** tale componente risulta fondamentale per i passaggi successivi in quanto costituisce l'entità del *database* all'interno della quale gli elementi similmente classificati e le loro informazioni confluiscono. Il parametro funge dunque da ponte tra il *software* di modellazione e il *database* ed è per questo che i suoi valori sono predefiniti (nel nostro caso, *apparato_decorativo, catena, finestra, muro, pavimento, pilastro, porta, scala, tetto, trave, volta*). Questo parametro può essere compilato selezionando o isolando il gruppo di elementi a cui si vuole associare una determinata *entità* e immettendo il rispettivo valore nel relativo campo;

3. **compilazione *id_main10ance:*** solo dopo aver creato e compilato il parametro *Entità* è possibile compilare il parametro *id_main10ance*. Tale attività può risultare assai delicata e dispendiosa se svolta manualmente, per cui si suggerisce l'utilizzo di Dynamo, un plug-in già installato su Revit, con il quale è possibile automatizzare alcune operazioni attraverso collegamenti fra "*nodi*" (ogni cosiddetto nodo svolge una piccola operazione, il cui output diventa l'input di quello successivo) costruendo uno script.

COME SI COMPILA L'*ID_MAIN10ANCE* CON DYNAMO?

L'avvio di una sequenza logica di azioni elementari (il cosiddetto *script*) può portare a un risultato prefissato come la compilazione automatica di un parametro (Figura 23). In questo caso specifico si utilizzano sei *nodi* chiave:

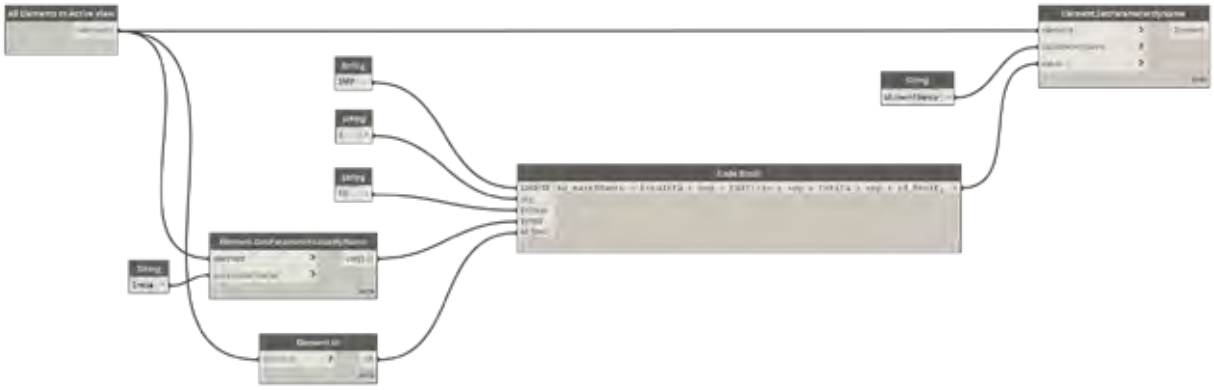
- ***All Elements in Active View:*** è il primo nodo dello *script* attraverso il quale è possibile selezionare tutti gli elementi presenti nella vista corrente.

  In questo caso è consigliabile porsi sulla vista 3D predefinita all'interno del *software* di modellazione;

- ***String:*** nodo che permette di scrivere una stringa alfanumerica, utilizzato in questo caso per diversi scopi: scrivere i nomi di alcuni parametri (*Entità*, *id_main10ance*), i valori dei parametri sempre uguali per lo stesso modello (località, edificio) e per il carattere separatore ("|");

- ***Element Get Parameter Value by Name:*** fornendogli in entrata gli elementi desiderati *(All Elements in Active View)* e il nome del parametro desiderato *(Entità)*, permette di ottenere i valori di tale parametro per ogni elemento in entrata;

Figura 24
Script Dynamo per la compilazione automatica dell'*id_main10ance.*



- ***Element Id:*** fornisce la lista dei valori dell'id nativo di Revit corrispondenti alla lista di elementi che gli si fornisce;
- ***Code Block:*** nodo la cui versatilità è dovuta alla possibilità di svolgere diverse operazioni tra cui quella di elaborare espressioni.
  In questo caso è stato utilizzato per combinare le diverse componenti dell'*id_main10ance* con una semplice addizione di stringhe;
- ***Element Set Parameter By Name:*** l'ultimo nodo dello *script* presenta come output la compilazione del parametro *id_main10ance* per gli elementi inizialmente forniti *(All Elements in Active View)* e i cui rispettivi valori sono il risultato dell'elaborazione precedente *(Code Block)*.

Il risultato finale permette il corretto funzionamento della piattaforma attraverso un modello BIM i cui elementi sono identificati univocamente, evitando il pericolo di generare incongruenze nel *database.*

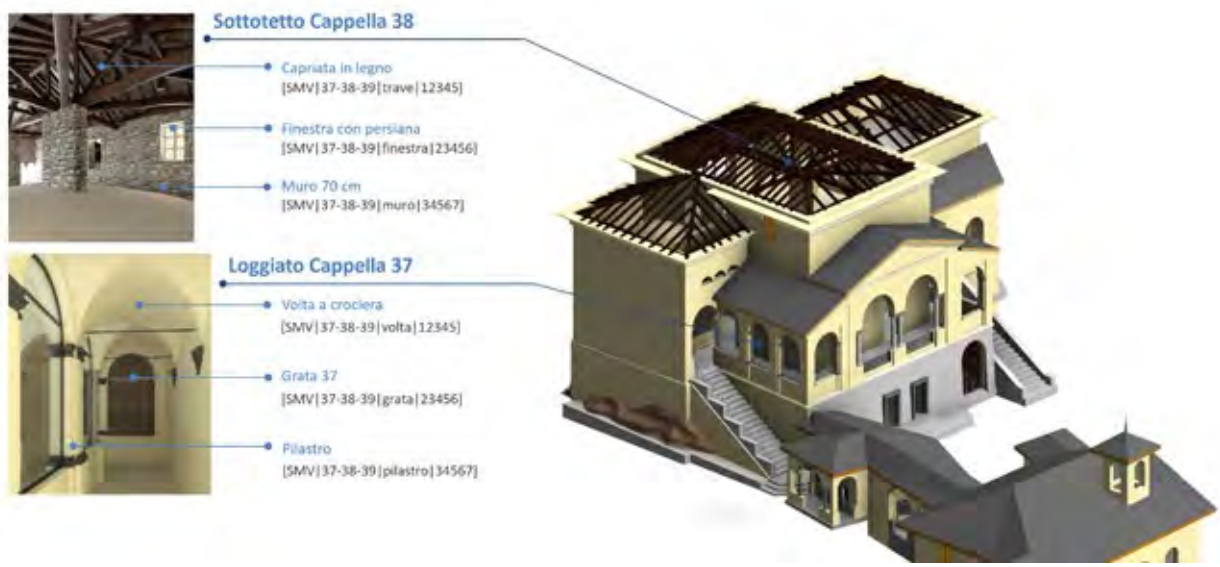


Figura 25
Esempio di elementi con l'*id_main10ance* compilato per il complesso della Crocifissione del Sacro Monte di Varallo.

MAIN10ANCE MODEL MANAGER

Figura 28

COME SI CARICA UN NUOVO MODELLO SULLA PIATTAFORMA?

Attraverso il *qr code* si accede a un sito web (Figura 25) utilizzabile come strumento per caricare ciascun modello sulla piattaforma e popolare il *database* con i dati ad esso relativi, tra cui l'*id_main10ance* precedentemente creato. Questo doppio caricamento consentirà di visualizzare i modelli BIM nell'interfaccia e inserire, archiviare e interrogare una serie di informazioni all'interno del *database* attraverso la selezione degli elementi.

Per il corretto funzionamento della piattaforma i passaggi necessari possono essere così suddivisi:

1. **creazione di un nuovo *bucket:*** i *bucket* sono una serie di contenitori di file molto simili a delle cartelle, la cuvi struttura è concepita per corrispondere all'organizzazione della piattaforma.
   Nel caso specifico dei Sacri Monti si è creata (*Crea bucket*) una singola cartella per ogni località, al cui interno sono stati caricati i modelli appartenenti a essa. Importante: per creare i *bucket* è necessario selezionare il server *MAIN10ANCE* e inserire un nome adoperando solo caratteri minuscoli, numeri e tratti d'unione;

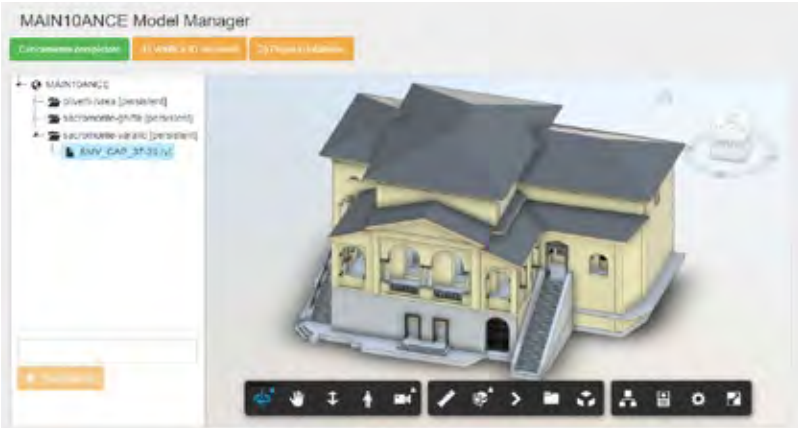


Figura 27
Model Manager per il caricamento di un modello, la verifica dell'*id_main10ance* dei suoi componenti e la compilazione del *database*.

2. **caricamento di un modello:** una volta creato un *bucket*, possiamo caricare al suo interno un modello BIM attraverso il comando *Carica File*, accessibile dalla funzione tasto destro sulla cartella. Una volta completato il caricamento sarà necessario attendere qualche secondo per la conversione del *file* nel formato leggibile dalla piattaforma, operazione che si avvia in automatico alla prima selezione del documento;

3. **validazione dei dati:** una volta terminata la conversione ai fini dell'adeguato apporto informativo, grazie a un pulsante appositamente creato (*Verifica ID elementi*) è possibile verificare che l'*id_main10ance* sia stato inserito per tutti gli elementi e nella sua giusta formattazione. Nel caso in cui tale operazione dovesse segnalare problemi è consigliabile eliminare e caricare nuovamente il modello dopo la revisione degli elementi evidenziati durante la fase di verifica;

4. **popolamento del *database:*** l'ultimo passaggio è l'inserimento di tutti i dati all'interno del *database* con una serie di informazioni, tra cui l'*id_main10ance* del modello caricato, mediante il pulsante *Popola database*.

3.3.2 DAL PIANO DI MANUTENZIONE PROGRAMMATA AL "FASCICOLO DEL FABBRICATO"

di Marco Cerutti

QUAL È L'IMPATTO STIMATO DEL PARCO IMMOBILIARE RISPETTO ALLE EMISSIONI DI CO_2? COSA PREVEDE IN PROPOSITO L'IMPEGNO DELL'UE PER IL SISTEMA ENERGETICO?

Al parco immobiliare è riconducibile circa il 36% di tutte le emissioni di CO_2 nell'UE. Inoltre, tenendo conto del fatto che quasi il 50% del consumo dell'energia finale dell'Unione è usato per riscaldamento e raffrescamento, di cui l'80% negli edifici, il conseguimento degli obiettivi energetici e climatici europei è fortemente legato al rinnovamento e all'adeguamento del parco immobiliare. L'Unione si è impegnata a elaborare un sistema energetico decarbonizzato e ad alta efficienza entro il 2050.

IN TEMA DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI, QUALI SONO I RIFERIMENTI LEGISLATIVI ATTUALMENTE DI INTERESSE A SCALA ITALIANA ED EUROPEA?

Il **Decreto legislativo 10 giugno 2020 n. 48 recepisce** nell'ordinamento nazionale la **Direttiva 2018/844/UE** sulla prestazione energetica degli edifici pubblici e privati (*Energy Performance Building Directive* – di seguito **Direttiva EPBD**).

La **Direttiva EPBD** provvede a un riesame e a una riorganizzazione in chiave sistematica delle disposizioni sulla prestazione energetica nell'edilizia, contenute nella Direttiva 2012/27/UE e nella **Direttiva 2010/31/UE**.

Essa fa parte, assieme alla più generale **Direttiva 2018/2002/UE** sull'efficienza energetica, del quadro regolatorio della governance europea dell'energia e clima, costituendone uno dei punti centrali.

QUALI SONO GLI OBIETTIVI DELLA DIRETTIVA EPBD?

La Direttiva EPBD si pone come obiettivo generale quello di promuovere una maggiore diffusione dell'efficienza energetica e delle energie rinnovabili nell'edilizia, al fine di contribuire al rag-

giungimento degli obiettivi che l'UE si è prefissa al 2030, dunque, al fine di contribuire a:

- ottenere riduzioni delle emissioni di gas serra di almeno il 40% entro il 2030 rispetto al 1990,
- utilizzare una quota di energia da fonti energetiche rinnovabili del 32%,
- ridurre i consumi di energia primaria del 32,5%.

IL TASSO ANNUO ATTUALE DI RISTRUTTURAZIONE DEGLI EDIFICI È COERENTE CON QUESTI OBIETTIVI?

In proposito, il *Green Deal* europeo evidenzia come, attualmente, il tasso annuo di ristrutturazione del parco immobiliare negli Stati membri varia dallo 0,4 all'1,2%, un ritmo che dovrà essere almeno raddoppiato. Al tempo stesso, 50 milioni di consumatori hanno difficoltà a riscaldare adeguatamente le loro abitazioni.

COSA POSSONO FARE I SINGOLI STATI MEMBRI?

Per far fronte alla duplice sfida dell'efficienza energetica e dell'accessibilità economica dell'energia, l'UE e gli Stati membri dovrebbero avviare un'"ondata di ristrutturazioni" di edifici pubblici e privati.

L'aumento dei tassi di ristrutturazione permette di ridurre l'importo delle bollette energetiche e può contrastare la povertà energetica, oltre a dare impulso al settore dell'edilizia, costituendo così un'occasione per sostenere le PMI e i posti di lavoro a livello locale.

Le strategie nazionali di ristrutturazione a lungo termine devono comprendere, in base a quanto già stabilito dalla Direttiva 2012/27/UE, politiche e azioni di stimolo alle ristrutturazioni profonde ed efficaci degli edifici, anche in termini di costi (incluse quelle per fasi). La nuova EPBD integra tale previsione, con la possibilità che all'interno delle Strategie sia contemplata **l'introduzione di un sistema facoltativo di "passaporto" di ristrutturazione degli edifici.**

Nella Strategia nazionale ogni Stato membro deve fissare una tabella di marcia in vista dell'obiettivo di lungo termine al 2050 di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra nell'UE dell'80-95% rispetto al 1990. La tabella deve includere tappe indicative, con misure e indicatori di progresso misurabili, per il 2030, il 2040 e il 2050 in relazione con il conseguimento degli obiettivi di efficienza energetica dell'Unione.

Verso il passaporto di ristrutturazione (UE) e il Fascicolo del Fabbricato (IT)

QUALI SONO LE POSSIBILI "NOVITÀ" PER IL FUTURO?

I contenuti specifici della Strategia nazionale ricalcano quelli indicati nella Direttiva 2018/844/UE (Direttiva EPBD), inclusa la possibile introduzione del sistema facoltativo di "passaporto" di ristrutturazione degli edifici, sulla base delle risultanze dello studio della Commissione europea, in corso di pubblicazione.

COSA STA FACENDO IN PROPOSITO L'ITALIA / QUAL È LA SITUAZIONE NEL NOSTRO PAESE?

A oggi, a livello nazionale, si fa riferimento ai contenuti del disegno di Legge 2862 del Senato della Repubblica del 2017; questo d.d.L. demanda alle Regioni il compito di legiferare in merito alla sua istituzione.

L'art. 2 del d.d.L. definisce il Fascicolo del fabbricato un documento tecnico, dinamico, nel quale sono contenute tutte le informazioni relative allo stato di agibilità e di sicurezza di un immobile, sotto il profilo della stabilità, dell'impiantistica, della manutenzione.

Queste caratteristiche permettono di avere un quadro conoscitivo completo sullo stato di fatto di un immobile e sui precedenti interventi.

A COSA SERVIRÀ IL FASCICOLO DEL FABBRICATO?

Esso rappresenta anche uno strumento per il monitoraggio dello stato di conservazione del patrimonio edilizio finalizzato a individuare le situazioni di rischio degli edifici e a programmare nel tempo interventi di ristrutturazione e manutenzione per migliorare la qualità dei fabbricati.

Sempre nel 2017 il Consiglio Nazionale dei Periti Industriali ha pubblicato una linea guida del Fascicolo del fabbricato (http://www.cnpi.eu/wp-content/uploads/2017/02/Linea-Guida-Fascio-lodel-fabbricato.pdf)

Con il Fascicolo è, quindi, possibile individuare l'unità immobiliare, verificarne la legittimità urbanistica ed edilizia, comprenderne lo stato di conservazione e programmare, di conseguenza, tutti gli eventuali interventi necessari per mantenere efficiente l'immobile in tutte le sue componenti.

Al fine di mantenere efficiente, il patrimonio edilizio riqualificato energeticamente, l'argomento in questi anni sta riassumendo priorità non solo dal punto di vista legislativo ma anche pianificatorio e di controllo; poiché così come per mantenere in efficienza e sicurezza un veicolo, lo stesso deve essere sottoposto a manutenzione periodica e revisione, anche l'edificio – per il mantenimento delle prestazioni energetiche e di sicurezza – necessità dell'attuazione di una costante manutenzione e controllo di efficienza e sicurezza, atte anche a garantire limitati livelli di consumo energetico e conseguenti emissioni.

COSA ACCADE A LIVELLO LOCALE? CONFLITTUALITÀ E OSTACOLI.

Numerose Regioni italiane hanno regolamentato la materia lasciando poi facoltà ai Comuni di prevedere l'istituzione del fascicolo del fabbricato. Tuttavia, poche di queste normative sono sopravvissute in quanto la giurisprudenza amministrativa ne ha ravvisato l'illegittimità, soprattutto in relazione agli irragionevoli costi scaricati sui privati per acquisire informazioni su tutta una serie di elementi relativi all'immobile, già in possesso della pubblica amministrazione (cfr. T.A.R. Lazio n. 1230/2006, Consiglio di Stato n. 1305/2018).

I Governi succedutisi negli anni, non hanno particolarmente gradito che le Regioni legiferassero in una materia ritenuta di competenza statale: in alcuni casi sono state le stesse Regioni a "desistere", mentre in altri si è giunti addirittura innanzi alla Corte Costituzionale.

Per esempio, nella sentenza n. 315/2003, la Consulta ha dichiarato illegittima la legge regionale della Campania istitutiva del registro dei fabbricati, rilevando che il pesante onere imposto ai proprietari non trovava rispondenza nell'attuazione di un interesse pubblico di pari rilievo; senza dimenticare, inoltre, che la competenza è statale e non regionale, per quanto riguarda la conoscenza dello stato conservativo degli edifici.

Attualmente, sia alla Camera che al Senato, sono pendenti **diversi disegni di legge** in materia che sono stati assegnati alle competenti Commissioni, ma sui quali non è stato ancora completato l'iter di approvazione parlamentare.

L'ultimo in linea temporale (**Atto Camera n. 2023**), d'iniziativa della deputata Muroni e inerente tra le altre cose "Disposizioni concernenti l'istituzione del fascicolo del fabbricato e agevolazio-

ne tributaria per le spese sostenute per la sua predisposizione" è stato presentato il 16 dicembre 2019 ed è stato assegnato in Commissione in data 17 febbraio 2020.

QUALI SONO LE PROSPETTIVE?

È probabile che il percorso "carsico" del Fascicolo del Fabbricato possa sfociare nell'attesa **Disciplina delle Costruzioni** (l'evoluzione del Testo Unico dell'Edilizia), che prevede, tra l'altro, l'istituzione di una **Anagrafe delle costruzioni** per la gestione e il controllo del territorio, per le opere pubbliche e private, e del **Fascicolo digitale delle costruzioni**, che dovrebbe raccogliere informazioni urbanistiche, catastali, edilizie, impiantistiche, strutturali, ecc. prodotte dai professionisti e/o in possesso della pubblica amministrazione.

QUALI LE POTENZIALITÀ NELL'APPLICAZIONE DELLE NUOVE TECNOLOGIE?

Al di là dell'obbligatorietà o meno del fascicolo del fabbricato, il proprietario attento alle prestazioni energetiche e di sicurezza del proprio immobile, manifesta particolare apprezzamento verso strumenti finalizzati a pianificare gli interventi di manutenzione atti a garantire l'efficienza e la sicurezza dell'immobile (libretto d'uso dell'edificio, fascicolo del fabbricato, ecc.).

Grazie alle nuove tecnologie, che stanno preponderatamente entrando nel settore delle costruzioni sia in fase di progettazione (BIM - *Building Information Modeling*) che di esecuzione e manutenzione (industria 4.0), nonché nell'utilizzo dell'immobile (*building automation* e manutenzione predittiva grazie all'IoT - *Internet of Things*); la sua realizzazione in futuro risulta particolarmente agevolata.

La costruzione con maggiore facilità ed economicità del libretto dell'edificio, risultera più agevolmente raggiungibile se tutti gli attori che operano attorno all'edificio, adotteranno un unico linguaggio comunicativo o sistemi di interscambio delle informazioni, adottando quanto prima la realtà aumentata e l'interoperabilità tra sistemi e programmi.

Un obiettivo che impone nuove figure e nuove competenze al settore delle costruzioni, che dovranno saper abbinare alle tecniche costruttive moderne e del passato le novità tecnologiche in continua evoluzione, sia nella fase di progettazione sia di realizzazione che di gestione degli edifici.

ISBN 978-88-85745- 82-7

9 788885 745827

vers. 01 - 06/22

Confartigianato Imprese

Confartigianato Imprese Piemonte Orientale

artigiani.it

sinTESILab

www.sintesilab.polito.it