

2. Manuale delle tecniche costruttive

di Edoardo Ferrari

Introduzione al manuale

Con questo manuale ci prefiggiamo di fornire un compendio dei principi dell'arte per la costruzione di muri di contenimento in pietra a secco(1). Questo testo è consultabile da chiunque sia interessato al tema, sia come specialista sia come amatore. Il manuale è però un punto di riferimento essenziale come guida pratica per tutti coloro i quali svolgano un percorso formativo professionalizzante per diventare artigiani della pietra a secco, ma anche per gli artigiani già formati che siano interessati a esaminare la tecnica in modo sistematicamente organizzato.

Le regole dell'arte sono introdotte da una Parte (A) che riguarda la nomenclatura e gli aspetti del lessico più o meno tecnico legato a questo modo di costruire e sono anche precedute da una sintetica esposizione degli aspetti strutturali essenziali da conoscere sulle murature di contenimento in pietra a secco (Parte B).



Fig. 1 - La posa di un concio durante un corso di costruzione di muri di contenimento in pietra a secco

Vogliamo però ricordare che il percorso formativo professionalizzante e/o l'esperienza pratica sono le basi necessarie per poter utilizzare il manuale con fini operativi per chiunque voglia costruire con la pietra a secco. Solo con l'esperienza infatti, il testo diventa un fondamentale riferimento per i vari aspetti empirici che devono necessariamente essere maturati in un lungo periodo di pratica personale e in gruppo, durante e dopo lo svolgimento della formazione. Con questo manuale vogliamo quindi raccogliere in modo ordinato gli aspetti essenziali e codificabili (esplicitabili) del sapere costruttivo al massimo delle nostre capacità di autori. Questo sapere è ciò che è stato definito dall'UNESCO 'L'arte del costruire con la pietra a secco: sapere e tecniche' (2). Ci auguriamo quindi che questo testo possa facilitare tutti coloro che apprendono, hanno appreso o che desiderano lavorare con la pietra a secco.

(1) Le informazioni contenute in questo manuale sono state raccolte partendo da una ricerca bibliografica di testi specialistici non solo italiani, ma anche provenienti da altre fonti internazionali. Queste informazioni sono state combinate all'esperienza e alle conoscenze dei membri di ITLA Italia (artigiani e non) che nei loro percorsi variegati e specialistici hanno avuto modo di affrontare già da diversi decenni le modalità costruttive in pietra a secco sia sul territorio nazionale, sia in altre parti d'Europa. Inoltre, i sopralluoghi all'interno del progetto P-Art hanno fornito ulteriore materiale di riflessione e confronto per i tecnici ITLA Italia che hanno lavorato sulle regole dell'arte.

(2) L'UNESCO ha iscritto 'L'arte del costruire con la pietra a secco: sapere e tecniche' (Art of dry stone walling, knowledge and techniques) come patrimonio immateriale dell'umanità dal 2018. Vedasi sito ufficiale: <https://ich.unesco.org/en/RL/art-of-dry-stone-walling-knowledge-and-techniques-01393>





Parte A - Le rocce, le pietre e le parti del muro

Poiché ogni luogo è caratterizzato da una o più tipologie litiche è importante che gli artigiani e gli specialisti che operano in quest'ambito conoscano le pietre e le loro caratteristiche in modo da poter valorizzare al meglio il materiale disponibile in qualsiasi situazione e contesto. Questo è importante non solo dal punto di vista strutturale, ma anche per il miglior inserimento di ogni muro nel contesto geologico, paesaggistico e storico-culturale.

2.1 Geologia e tipologie principali di rocce

La formazione geologica della roccia che abbiamo a disposizione in ogni territorio ha un ruolo fondamentale nel condizionare le caratteristiche morfologiche e strutturali del muro che vogliamo costruire. Possiamo quindi dividere le rocce in tre grandi famiglie (3):

1. Rocce sedimentarie come calcari, arenarie e conglomerati sono formate dalla deposizione e solidificazione di sedimenti organici e minerali che sono spesso accumulati in una serie di strati sulla superficie terrestre. Esse derivano dall'erosione e degradazione di altre rocce o elementi organici che col tempo vanno accumulandosi e stratificandosi.

2. Rocce magmatiche come graniti e basalti sono formate in seguito alla solidificazione per raffreddamento di magma, ovvero la sua cristallizzazione. Queste rocce costituiscono gran parte della superficie della crosta terrestre seppure vengano sovente coperte dalla variabile e diffusa presenza di altri strati di rocce sedimentarie e metamorfiche. Queste rocce non sono solitamente formate a strati, ma si presentano spesso con forme arrotondate dovute all'effetto degli agenti atmosferici come il vento e l'acqua.

3. Rocce metamorfiche come scisti e gneiss che si formano all'interno della crosta terrestre per effetto di una serie di trasformazioni mineralogiche e strutturali. Queste trasformazioni avvengono anche fra diversi tipi di rocce (allo stato solido) e sono la conseguenza di un cambiamento del loro ambiente fisico, come la pressione che viene esercitata su di esse oppure anche la variazione di temperatura.

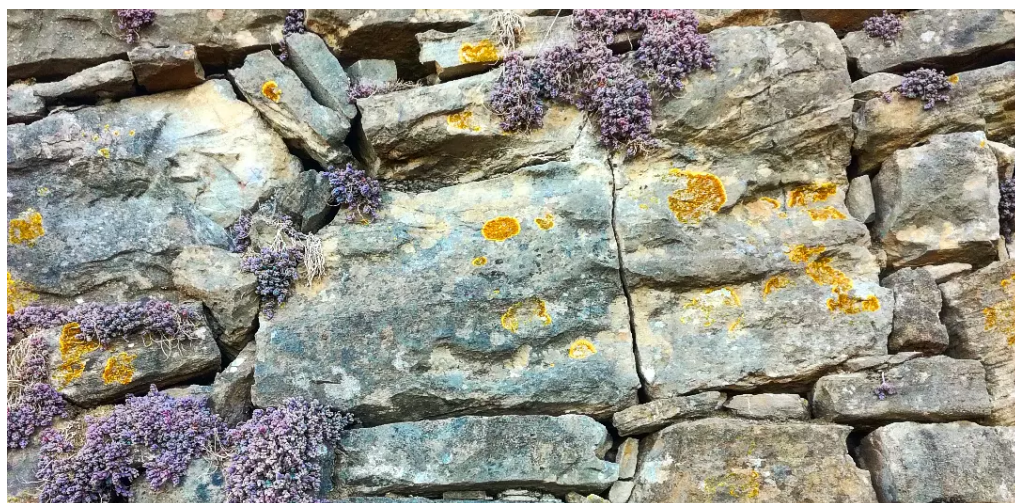


Fig. 2 - Fig. 2 - Foto con alcuni esempi delle rocce citate della zona dei tre GAL

(3) La divisione in tre grandi gruppi di rocce è mutuata dalle principali pubblicazioni riguardanti la pietra a secco a oggi pubblicate in Europa, per esempio: McCombie et al. 2016, che è a sua volta basato sui testi francesi di: V.A. (2007) Guide de Bonnes Pratiques de Construction de Murs de Soutènement en Pierre Sèche, Ed. 2008 ed., Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. e Blanc-Gonnet, J., Colas, A., Garnier, D., Morel, J., Brasseur, T., Dombre., D., B., Folcher, R. and O'Neill, C. (2017) Technique de Construction des Murs en Pierre Sèche: Regles Professionnelles, Bouzouls: MERICO.





2.2 Le parti del muro

Il muro di contenimento in pietra a secco è composto da tre sezioni fondamentali che denominiamo:

1. Fondazione o basamento
2. Elevazione
3. Coronamento

Nell'elevazione o corpo del muro possono a loro volta essere identificati: il paramento (anche detto paramento esterno), l'organizzazione interna e il contromuro (anche detto paramento interno o retro). Queste distinzioni fra le varie parti del muro hanno il solo scopo di rendere chiare alcune categorie a fine didattico ed esplicativo, ma non comportano una divisione di carattere strutturale fra le parti del muro stesso. Anzi, come vedremo nella prossima sezione, è necessario che le parti del muro debbano essere il più possibile (per non dire necessariamente) ingranate in modo da costituire un unicum strutturale che si avvicini al funzionamento di un monolite. La differenziazione fatta fra le parti è necessaria a scopo esplicativo per rendere più chiara l'organizzazione del lavoro sul cantiere, le fasi costruttive, l'individuazione delle pietre per le relative parti e anche la loro lavorazione.

Avere chiare queste caratteristiche ci aiuta inoltre a mantenere quella consapevolezza durante la costruzione, che è necessaria per costruire un'apparecchiatura muraria correttamente ingranata, ricordandoci che le parti possono essere definite con diversi nomi, ma devono essere strutturalmente coese.

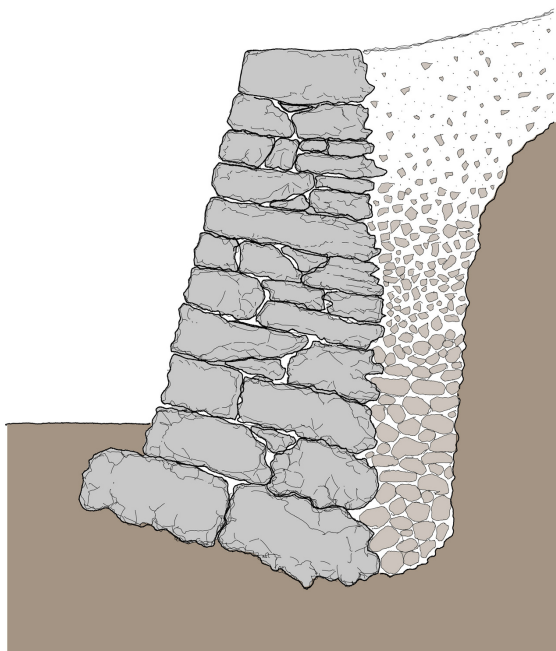


Fig. 3 - Sezione di un muro di contenimento a doppio paramento ben ammorsato in pietra a secco





2.3 Dividere e saper categorizzare le pietre

Oltre alle caratteristiche geologiche, vi sono due aspetti fondamentali delle pietre che dobbiamo considerare: la loro dimensione e la loro forma. Sia per le pietre di risulta di un crollo, sia per quelle eventualmente estratte da una cava, è necessario che esse vengano organizzate in modo ordinato nell'area di cantiere secondo la loro dimensione e in alcuni casi anche in base alla loro forma. Alla forma infatti, corrispondono solitamente diversi utilizzi. Inoltre, questo smistamento iniziale è utile per facilitare la selezione e lo spostamento durante il lavoro che in linea di massima si basa sulla dimensione delle pietre, ovvero: pietre grandi, pietre medie e pietre piccole, mentre i frammenti o scaglie vengono considerati a parte e sono spesso frammisti a tutto il resto del materiale.



Fig. 4 – Pietre divise per dimensione prima di iniziare i lavori

Per quanto riguarda la forma, gli artigiani dovrebbero apprendere come categorizzare le pietre di cui dispongono non solo in base alle loro caratteristiche morfologiche in essere, ma anche rispetto alle possibilità di lavorazione e quindi di modifica della forma originale delle pietre con l'utilizzo degli attrezzi. Quindi le due grandi capacità che vanno sviluppate durante il percorso formativo sono quelle di: saper prevedere l'utilizzo di una pietra e anche l'immaginarsi come una pietra possa essere efficacemente lavorata con gli attrezzi prima di essere posata. Possiamo quindi categorizzare le pietre secondo criteri sia dimensionali sia di forma:

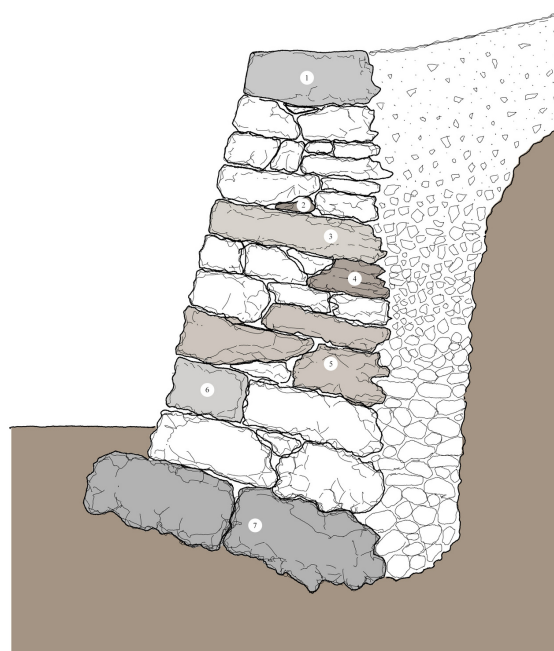


Fig. 5 - Collocazione di diversi tipi di conci all'interno del muro. Legenda: 1- Coronamento 2- Rincalzo 3- Diatono 4- Pietra da contromuro (o paramento interno) 5- Semidiatoni sovrapposti 6- Pietra da paramento (paramento esterno) 7- Pietre da fondazione o basamento





Pietre da fondazione – Le pietre più grandi, come i massi, vengono solitamente utilizzate in fondazione. I grandi massi irregolari si possono adattare al terreno delle fondazioni più facilmente rispetto a essere posati in altre parti del muro. Infatti, la terra sottostante può essere modellata per accogliere diversi tipi di irregolarità o asperità. Un'altra delle ragioni per cui le pietre più grandi vengono solitamente posate in fondazione (a parte la logica strutturale di posare elementi più grandi alla base) è quella di evitare il sollevamento di pietre molto grandi, che spesso non è possibile senza macchinari. Le pietre più grandi vengono rotolate e non sollevate, quindi possono essere rotolate dall'altro solamente e qualora vi fossero a monte del cantiere del muro.

Pietre da paramento (o da paramento esterno) – queste pietre possono avere dimensioni variabili e presentano un lato che è più regolare e piano e che quindi si presta a essere utilizzato all'esterno. La regolarità della faccia sul paramento esterno è necessaria non solo esteticamente, ma anche per mantenere la coerenza geometrica dell'apparecchiatura muraria e un corretto sfalsamento dei giunti verticali. Alcune pietre possono diventare pietre da paramento anche se in principio non sono adatte a questa posizione. L'artigiano esperto ha la capacità di prevedere se una lavorazione con gli attrezzi possa consentire la creazione di un lato adatto al paramento esterno. In termini di costi, la maggior lavorazione delle pietre aumenta drasticamente il numero di ore di lavoro ed è quindi un fattore da tenere in considerazione poiché spesso la regolarità a l'estetica

l'estetica del paramento esterno sono proporzionali all'incremento della lavorazione delle pietre. Questo fattore è particolarmente importante se si considera che un'eccessiva lavorazione a fine estetico non ha risvolti funzionali né statici.

Pietre per il contromuro, retro o paramento interno – queste pietre non differiscono molto da quelle del paramento esterno in termini dimensionali visto che possono essere di dimensione variabile. Essere però non hanno lati molto regolari e sono quindi disadatte a essere esposte sul paramento esterno che creerebbe difficoltà sia geometriche sia estetiche. Come le pietre del paramento esterno, esse devono essere posate assicurandosi che i giunti verticali vengano sfalsati e quindi la loro differenza sostanziale è l'irregolarità delle facce rispetto alle pietre da paramento esterno.

Pietre per l'interno del muro – anche queste pietre possono essere di ogni tipo e dimensione e sono spesso pietre più irregolari che non vengono selezionate per il paramento esterno. Per garantire un corretto ingranamento con il paramento esterno e interno, tutte le pietre, incluse quelle interne devono essere correttamente ingranate con giunti verticali alternati e non sovrapposti fra loro. L'interno del muro, insieme al retro o contromuro, devono costituire un tutt'uno con il paramento esterno così che la massa muraria si possa comportare strutturalmente in modo quasi analogo a un monolite.





Pietre particolarmente lunghe e resistenti: diatoni e semi-diatoni – il diatono è una pietra che attraversa completamente lo spessore murario, passante dal paramento al contromuro (da paramento esterno a interno). Essa costituisce un legame interno nella struttura. Il diatono è quindi perpendicolare rispetto alla lunghezza del muro e la sua faccia esterna viene integrata nel paramento esterno. Per questo, esso è posato come pietra di testa, ovvero una pietra il cui lato più corto è visibile in paramento. In mancanza di diatoni da poter posizionare a intervalli regolari nel muro, si può ricorrere all'utilizzo di semi-diatoni, ovvero due pietre molto lunghe (rispetto allo spessore del muro) che possono essere sovrapposte per formare insieme un elemento di legame fra fronte e retro del muro. Anche se dal paramento esterno non è possibile distinguere un diatono da una pietra che non attraversa tutto lo spessore murario, i diatoni migliorano l'effetto di ingranamento legando fronte e retro del muro (McCombie et al. 2016: 97). La presenza frequente e uniformemente distribuita di diatoni permette al muro di avere un comportamento strutturale più vicino a quello di una struttura monolitica.

Pietre in proporzione più lunghe che larghe possono anche essere impiegate per così dire 'di fascia' (Di Fidio 2007: 39). Vi sono diversi modi di definire queste pietre che sono morfologicamente come dei diatoni, ma vengono posate parallelamente all'andamento longitudinale del muro, quindi perpendicolarmente ai diatoni. Esse si possono anche definire: in lunghezza, longitudinale o corrente.

Pietre posate in questo modo devono necessariamente essere alternate ai diatoni per garantire l'ingranamento del muro. Questa posa infatti, non deve essere fatta con fini puramente estetici. Il rischio di utilizzare pietre strette e lunghe parallelamente al paramento esterno senza avere diatoni è quello di non garantire un corretto ammorsamento fra le parti del muro. È necessario ricordare che una pietra troppo stretta non andrebbe mai impiegata in questo modo nel paramento esterno per evitare facili rotture o lo scalzamento.

Pietre di ricalzo o 'zeppe' – queste sono generalmente di dimensione medio-piccola o piccola e possono avere forme disparate. È frequente che le pietre di ricalzo abbiano una forma a cuneo per poter essere inserite e bloccarsi sotto pietre più grandi che devono essere stabilizzate. La funzione principale dei ricalzi è quella di stabilizzare pietre più grandi garantendone la corretta posa per la trasmissione dei carichi nella struttura (4). Per quest'ultima ragione, i ricalzi devono poter essere sufficientemente resistenti e/o spessi, in modo da garantire la trasmissione dei carichi senza che si infrangano o vengano degradati rapidamente da agenti chimico-fisici

Pietre di coronamento – sono solitamente pietre molto pesanti e larghe. Esse servono per consolidare e stabilizzare la parte sommitale del muro. Possono avere dimensioni variabili e sono generalmente grandi, medio-grandi o molto grandi.

dealmente, sarebbe opportuno utilizzare delle pietre di grandezza tale da coprire tutto lo spessore del muro rimasto da completare in modo che questi elementi costituiscano anche da ammortamento finale fra il paramento e il contromuro (davanti e retro). Pietre pesanti e larghe si prestano a questa funzione poiché hanno funzione di 'chiusura' e stabilizzazione dell'apparecchiatura muraria. Le pietre di coronamento dovrebbero essere abbastanza pesanti per evitare ribaltamenti a seguito di calpestio, passaggio mezzi o transito animali di vario genere. Come per le pietre di paramento esterno, anch'esse devono presentare almeno una faccia regolare in modo da completare in modo regolare e allineato il profilo superiore del muro.

Pietre angolari o cantonali – qualora vi fosse la necessità di costruire un angolo è necessario apprestarsi fin dall'inizio alla selezione di pietre il più possibili squadrate e regolari. Nel caso non vi siano pietre abbastanza regolari sarà necessario lavorarle le pietre disponibili con gli attrezzi, anche a costo di dedicare maggior tempo all'operazione rispetto alla lavorazione di altre pietre. Questo è necessario per garantire che le connessioni strutturali in questa parte meno resistente del muro siano realizzate con la massima cura.

(4) Verranno date più indicazioni e dettagli sui ricalzi nei capitoli successivi in modo dettagliato e pratico.





Pietre per il drenaggio – le pietre di risulta, generalmente scaglie, pietre medio-piccole o piccole, possono essere utilizzate per riempire lo spazio vuoto retrostante al contromuro o paramento interno prima di incontrare il terreno. Queste pietre, che non necessitano di essere posate con cura come le pietre del muro, possono essere accumulate e compattate per formare uno strato aggiuntivo drenante che eviti l'accumulo eccessivo di argilla e particolato all'interno del muro. Il drenaggio agisce quindi come un filtro per la terra fra il muro e tutto ciò che vi è dietro.



Fig. 6 – Parte esemplificativa di muro, in evidenza due semidiatoni (numero 1) e una pietra posata nelle fondazioni a corrente o pietra di fascia (numero 2).

2.3.1 Identificazione delle parti della singola pietra

Possiamo analizzare ogni singola pietra in modo da comprendere meglio le sue parti. Ogni pietra ha necessariamente un piano di posa e un piano di attesa. Il piano di posa è il piano che dovrà poggiare sulla parte di muro già costruita o sul suolo (anche roccia), mentre il piano di attesa è il piano che dovrà successivamente accogliere il concio in pietra successivo. Le pietre che si usano per le parti visibili (paramento esterno, cantonali e coronamento) hanno anche una o più 'faccie', ovvero un lato che si presta a essere esposto e che è solitamente più regolare degli altri, oppure che può essere reso tale con la lavorazione della pietra. In relazione al lato detto faccia, si hanno i lati detti 'guance', ovvero le parti laterali della pietra che saranno adiacenti alle pietre che andranno posate in seguito a destra e sinistra della pietra già posata. Le pietre da paramento esterno avranno quindi, oltre a una faccia e due lati o 'guance', anche una parte retrostante, anche detta 'coda' che è generalmente opposta alla faccia. Conoscere e riconoscere queste parti è essenziale al fine di poter utilizzare una pietra al meglio e quindi anche di poter prevedere come lavorare efficacemente con gli attrezzi (senza perdere troppo tempo e senza danneggiare il concio). La differenziazione fra le parti è anche utile per poter comunicare con altri artigiani in cantiere mentre si lavora, sia che si tratti di realizzare una posa, sia che si tratti di lavorare o selezionare una pietra da portare a qualcuno.



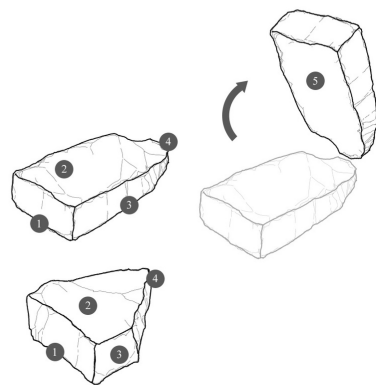


Fig. 7 – Le parti della singola pietra: 1- Faccia 2- Piano di attesa 3- Lato o “guancia” 4- Retro o “coda” 5- Piano di posa



Legenda:

A - Pietra d'angolo (cantonale)

1 - Faccia

2 - Due faccie d'angolo

3 - Piano d'attesa

4 - Piano di posa

la pietra in terra è stata preparata per essere posata sul cantonale. Il piano rivolto verso l'alto è stato selezionato per diventare piano di posa che verrà appoggiato su A.

5 - Lato (guancia)

6 - Coda

Fig. 8 – Legenda ed esempi con parti delle singole pietre

2.4 La disposizione delle pietre nell'apparecchiatura muraria

La disposizione delle pietre nel muro può essere molto varia ed è in diretta correlazione con le diverse tipologie geologiche e forme di pietre che abbiamo a disposizione. L'aspetto esterno, ma anche quello interno, sono influenzati dalla tessitura delle pietre stesse, dalla loro natura geologica, dalla dimensione e da come vengono lavorati i singoli elementi. Parliamo quindi di apparecchiatura muraria perché sappiamo che il muro è composto da diversi conci di pietra. Essi vengono combinati insieme per uno spessore tale da richiedere una composizione strutturalmente efficace. La necessità di apparecchiare il muro deriva proprio dal fatto che tranne in pochi casi, i singoli elementi non sono abbastanza grossi da poter costituire tutto lo spessore della struttura di contenimento e devono quindi essere combinati. Con apparecchiatura quindi (in gergo tecnico), indichiamo che il muro non è costruito accatastando pietre, né semplicemente le pietre sono poggiate senza logica, ma la posa è accurata e garantisce una migliore coesione strutturale. Non dobbiamo tralasciare che la disposizione dei conci ha anche funzione estetica, che si lega non solo alle tipologie litiche, ma anche ai luoghi specifici dove costruiamo.

Elenchiamo in breve le principali caratteristiche che influenzano la posa e l'apparecchiatura muraria:

- La geologia delle pietre
- La forma del singolo elemento
- La grandezza degli elementi
- Il livello di lavorazione e quindi la facilità di lavorazione delle pietre
- Gli attrezzi di lavoro a disposizione
- Il tipo di giunti fra le pietre
- Il costo del lavoro e il tempo che abbiamo a disposizione





L'influenza geologica delle pietre è una delle caratteristiche fondamentali che guidano il tipo di lavorazione e posa specifica. Questo aspetto di base determina in parte la scelta delle principali modalità di apparecchiatura dei conci, che sono:

La disposizione a corsi orizzontali (opus listatum)

Questo tipo di apparecchiatura è una delle più comuni. La caratteristica principale è quella di creare strati orizzontali il più possibile regolari in altezza (detti corsi) dove è molto chiara la posizione del lato superiore o inferiore dei singoli elementi e quindi la posizione dei due lati o 'guance' del singolo elemento. Per essere precisi, visto che i muri di contenimento del terreno non hanno mai piani di posa orizzontali, ma presentano in sezione un'inclinazione verso monte, possiamo dire che non è del tutto preciso dire piani di posa orizzontali. L'orizzontalità dei corsi avviene ed è visibile solamente sul lato esterno e muro (paramento), che quindi si presenta come una serie di strati orizzontali.

La geologia delle pietre ha molta influenza sulla scelta di questo tipo di opus, infatti, quando parliamo di rocce sedimentarie, sappiamo che i piani di rottura di queste sono legati ai piani naturali di sedimentazione. I piani sono solitamente regolari e facilmente riconoscibili. Per le rocce metamorfiche la questione dei piani di rottura (quindi dove si possono fendere le pietre) è molto diversa. Il loro livello di scistosità non sempre dipende dagli strati di sedimentazione, anche se vi sono strati che sono più facilmente separabili, essi possono essere difficili da individuare e quindi queste rocce sono più difficili da fendere a nostro piacimento. In generale, dobbiamo ricordarci che le rocce resistono maggiormente a compressione perpendicolarmente alla direzione della loro stratificazione geologica.

Nella disposizione a corsi orizzontali quindi si privilegiano pietre la cui stratificazione combaci con i piani di posa, in modo che possiamo massimizzare la resistenza a compressione dei singoli elementi.

La disposizione incerta o irregolare (opus incertum)

Questo tipo di apparecchiatura diventa necessario quando le pietre a disposizione non possono essere posate in corsi orizzontali. Le pietre sono quindi posate in relazione alla loro forma irregolare e i loro lati dovrebbero quindi combaciare il più possibile con le pietre adiacenti (massimizzazione del contatto). L'importanza del contatto con le pietre laterali nell'opus incertum è centrale poiché maggiore è la superficie di contatto fra i conci -non solo fra piano di posa e attesa- più uniformemente sono distribuiti i carichi all'interno della struttura.

Tipicamente le rocce che vengono disposte in questo modo sono i graniti, alcune arenarie irregolari, il basalto e alcune tipologie di calcari.

La disposizione con elementi ciclopici (opus cyclopean)

Anche se la disposizione con elementi ciclopici non è una vera propria modalità di apparecchiare il muro, poiché essa stessa potrebbe essere fatta con elementi posati in modo incerto oppure a corsi regolari, la specifichiamo fra queste categorie dato che essa presenta alcune caratteristiche particolari. Come dice in modo chiaro il nome, la disposizione con elementi ciclopici implica l'utilizzo di elementi lapidei che per grandezza e peso non sono manovrabili solo manualmente e/o da una singola persona. I muri così apparecchiati fanno affidamento strutturale soprattutto rispetto all'elevato peso dei conci. I conci vengono spesso spostati tramite l'utilizzo di leve e quindi mai sollevati, ma fatti scivolare o rotolare. Specialmente in passato, quando non vi erano mezzi meccanici, queste pietre potevano solamente essere calate da un livello di quota superiore. Oggigiorno invece abbiamo la possibilità di spostare grandi pietre con mezzi idraulici e meccanici. L'utilizzo di grandi blocchi di pietra garantisce solitamente una maggior durata nel tempo e caratterizza in modo particolare ed estetico il fronte esterno della muratura.



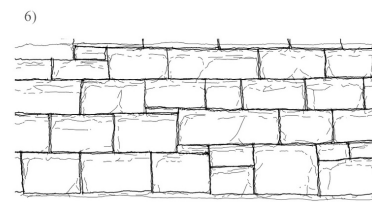
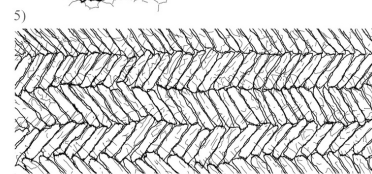
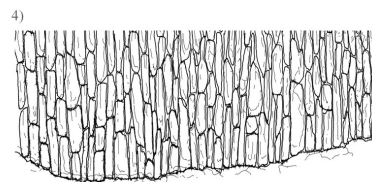
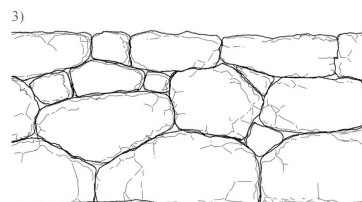
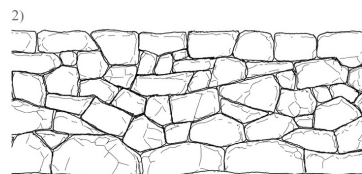
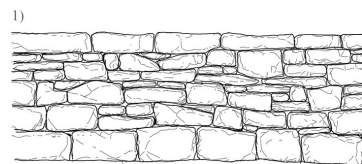


Fig. 9 - Sei tipi di apparecchiatura muraria (opus): 1- Opus listatum 2- Opus incertum 3- Opus cyclopean 4- Conci verticali 5- Opus spicatum/piscatum 6- Opus quadratum

La disposizione con conci verticali

Questa disposizione è caratteristica di aree speciali poiché la posa di elementi di basso spessore posti in modo verticale e con la lunghezza dei singoli elementi verso l'interno del muro è limitata a casi particolari. Queste casistiche si presentano specialmente in relazione a muri posti in prossimità di corsi d'acqua o scogliere e non è quindi tipico di tutti i terrazzamenti. I conci verticali infatti sono particolarmente efficaci nell'evitare che le forze di spinta di un flusso d'acqua (che potrebbe essere le onde del mare, un ruscello, o un'altra fonte d'acqua concentrata) abbia una maggiore superficie di spinta sulla quale agire. La verticalità dei giunti riduce la superficie continua disponibile alla pressione dell'acqua, migliorando le prestazioni del muro in modo particolare contro questo agente.

La disposizione con conci diagonali (opus spicatum e opus piscatum)

Queste due tipologie di posa implicano che i conci vengano utilizzati in modo diagonale. La derivazione è latina, infatti i romani utilizzavano già queste modalità di apparecchiatura che sono tutt'oggi non comuni, anche se caratteristiche di diverse zone. La direzione dei corsi è inclinata, e rispetto al filare di corsi precedente, ogni corso successivo è posato nella direzione inversa in modo da contrapporsi ad esso. Questo genera il tipico effetto a spina di pesce (piscatum per esempio si riferisce proprio a questo). Normalmente questa modalità di posa si utilizza quando abbiamo piccole pietre tondeggianti come ciottoli o ciottoli oblunghi, oppure pietre piatte e abbastanza piccole.

La disposizione a blocchi squadrati (opus quadratum)

Questa disposizione non è fra le più comuni per i muri di contenimento in pietra a secco. Questo è dato in parte dal fatto che poche pietre sono già disponibili con una forma molto regolare e squadrata. Per questo tipo di apparecchiatura, la maggioranza delle pietre dovrebbero essere non solo sbozzate, ma propriamente lavorate e squadrate per ottenere una forma regolare, con un ovvio e notevole dispendio energetico e di tempo che non è caratteristico nella maggioranza dei casi delle murature in pietra a secco.





È importante che ci ricordiamo quanto la stabilità della muratura in pietra a secco sia direttamente proporzionale alle diverse modalità di posa. Oltre ai casi sopra elencati, possiamo aggiungere alcuni dettagli specifici della posa delle singole pietre. Ne deriva perciò che il modo in cui le pietre sono in contatto fra loro e la posizione dei giunti siano elementi da tenere in considerazione per la stabilità complessiva dell'opera in pietra a secco. Per facilità, questi fattori sono qui rappresentati in modo schematico e sintetico con l'uso di illustrazioni esemplificative (V.A. 2019: 246) (5).

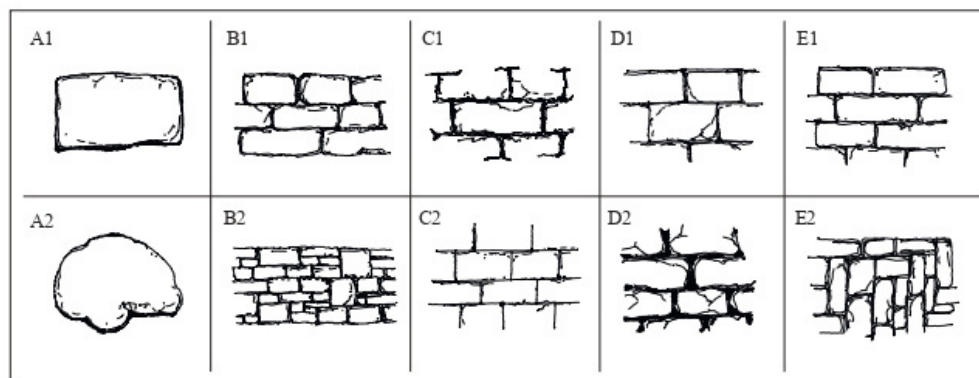


Fig. 10 – Tipi di posa e stabilità

(5) Gli elementi della tabella sono stati presi dagli standard svizzeri per le murature con pietra naturale SIA 266/2

Nell'illustrazione, il caso A1 è maggiormente stabile di A2 infatti i suoi piani di posa e di attesa sono più regolari e non presentano asperità. Il caso B1 è più stabile del caso B2 poiché i conci utilizzati sono più grandi in proporzione alla stessa metratura quadra del muro. Il caso C1 è più stabile del caso C2 poiché le superfici di contatto fra le pietre sono più irregolari e avranno maggiore attrito delle facce lisce del caso C2. Nel caso D1 vediamo come le superfici a stretto contatto sono più stabili rispetto a D2 dove sono stati lasciati spazi fra i giunti laterali. Nel caso E1 l'utilizzo di conci stretti e lunghi in maniera orizzontale garantisce più stabilità che l'utilizzo di conci posti in verticale alternati ad altri conci. Quest'ultima casistica è vera in generale ma può avere delle variazioni che dipendono dalle caratteristiche specifiche del sito e dalle condizioni esterne applicate al muro come vedremo nelle prossime sezioni.





Parte B - Il muro di contenimento in pietra a secco e le sue caratteristiche strutturali

Il muro di contenimento del terreno in pietra a secco è generalmente considerato come un muro a gravità (Foppoli and Cagliari 2020, McCombie et al. 2016, Murtas 2015, V.A. 2007, V.A. 2019). La definizione di muro a gravità è quella che considera il muro resistente alle pressioni del terreno retrostante per effetto del peso stesso del muro. Vedremo che in realtà questa definizione è riduttiva e non del tutto accurata, poiché vi sono molti altri fattori che giocano un ruolo essenziale nella stabilità del muro di contenimento senza malte che non sono solamente rappresentate dal solo peso del muro (McCombie et al. 2016: 19). La stabilità complessiva del muro dipende dall'equilibrio di diverse forze in gioco, ovvero di forze e momenti ribaltanti che il muro deve poter contrastare sia complessivamente, sia nelle sue singole parti/sezioni (ibid). Per garantire che il muro in pietra a secco svolga la sua funzione di struttura di congegno pur essendo costituito da una moltitudine di elementi in semplice appoggio, è necessario che esso funzioni come un corpo unico (Di Fidio 2007: 39, Foppoli and Cagliari 2020: 2586). Il comportamento strutturale del muro dovrebbe poter essere il più possibile simile a un monolite pur non essendolo. Questo è necessario in tutti i casi nei quali vogliamo poter calcolare con gli strumenti oggi disponibili il comportamento di queste strutture in pietra a secco. Il comportamento cosiddetto monolitico è quello di un unico elemento strutturale in relazione e interazione con le altre forze in gioco.

I muri a gravità in pietra a secco sono stati utilizzati per millenni e principalmente affidandosi all'accumulazione dell'esperienza empirica, nonché all'intuito dei costruttori del passato che si sono spesso rivelati corretti attraverso l'esame del tempo. Tuttavia, oggi disponiamo di nuove conoscenze e strumenti per comprendere meglio e talvolta progettare/calcolare questi muri in modo da garantire corretti margini di sicurezza (McCombie et al. 2016: 49). Questa esperienza è stata soprattutto sviluppata in ambito Francese e Inglese, come riportato da diversi studi pubblicati soprattutto nell'ultimo decennio (Blanc-Gonnet et al. 2017, Colas et al. 2010, Hanh Le et al. 2019, McCombie et al. 2016, V.A. 2007). Nonostante ciò, esiste un crescente conservazionismo nella pratica ingegneristica spesso derivato e culminante nella produzione di norme e codici (standardizzazione) sviluppati da organi nazionali e sovranazionali che può rendere difficile la comprensione di quanto siano efficaci i muri a gravità, specialmente se in pietra secco). Questo è vero per la maggioranza dei professionisti che si apprestano alla progettazione e l'analisi strutturale dei muri di contenimento (McCombie et al. 2016: 49). Anche se gli studi più recenti condotti e pubblicati in molti paesi sono preziosi, sarebbe necessario un maggior numero di ricerche e sperimentazioni per poterci spiegare il comportamento strutturale di diverse tipologie di muri in pietra a secco, in particolar modo per quelle che non funzionano come monoliti, ma che sono spesso le più diffuse in ambito rurale e che sono perciò una grandissima parte del patrimonio esistente.

Fatta questa premessa, questo capitolo tratterà in particolare quei concetti mutuati da rigorosi studi, che verranno citati a mano a mano nelle sezioni successive, concentrandosi sugli aspetti strutturali fino a oggi studiati e che hanno un legame diretto con la tecnica costruttiva e quindi le regole dell'arte necessarie a garantire la stabilità dell'opera in pietra a secco. Non è in questa trattazione che verranno dettagliati gli aspetti teorici di calcolo che fanno da premessa al tema, soprattutto perché sarebbe una ripetizione inutile di concetti già ampiamente e più rigorosamente discussi altrove dagli specialisti della materia ingegneristica (si veda in particolar modo McCombie et al. 2016).





2.5 Il muro di contenimento come struttura monolitica

Fondamentale premessa a tutto quello che verrà spiegato successivamente è la comprensione della differenza fra muri a due paramenti ben ammorsati e muri costituito da un unico paramento o da due paramenti non ammorsati. Queste differenze sono fondamentali per assicurarci di avere sempre chiaro che i comportamenti strutturali di queste tre grandi categorie non sono uguali. Ci concentreremo in particolare sulle strutture a due paramenti ben ammorsati, in parte perché sono quelle fino ad ora più studiate (e quindi conosciute), in parte perché il loro studio ci permette di comprendere in quale modo possano essere realizzate al meglio.

I muri a doppio paramento ben ammorsato sono inoltre, fra le varie tipologie elencate, quelli che andrebbero idealmente costruiti in tutte le situazioni dove la quantità e qualità di pietra ce lo permette. Questa tipologia non è la più tradizionalmente diffusa, visto che la costruzione di muri a doppio paramento richiede maggior lavoro e maggior quantità di pietre, ma questa tipologia è al momento quella più studiata per garantire che anche muri di grande altezza, o con grandi spinte retrostanti, possano essere progettati per durare nel tempo e non essere soggetti a grandi deformazioni o più facile crollo legate alle tipologie più diffuse di muri. Ad oggi, purtroppo scarseggiano gli studi in merito alle altre due tipologie trattate, che sarebbero necessari soprattutto per poter intervenire in molte zone del nostro paesaggio dove non fosse possibile costruire muri a doppio paramento ben ammorsato. È utile dire che la massa muraria necessaria a contrastare tutte le spinte a monte del terrazzamento richiede che la sezione del muro sia di uno spessore tale per cui è raramente possibile costruire servendosi unicamente di un filare di pietre.

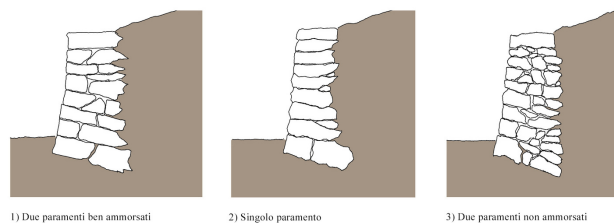


Fig. 11 - Tre tipologie di muro: 1- Due paramenti ben ammassati 2- Singolo paramento esterno 3- Due paramenti non ammassati

Il cosiddetto muro a due paramenti ben ammassati o muro 'monolitico' è quindi un muro che si comporta come un corpo unico pur essendo costituito da una moltitudine di elementi. Per garantire che questo tipo di struttura svolga la sua funzione di contegno è necessario che le singole parti siano fra esse ben 'legate' (Di Fidio 2007: 39, Foppoli and Cagliari 2020: 2586). Questo è possibile solamente se tutte le parti del muro, quindi la parte esterna, la parte interna e il retro, sono ammassate in tutti i livelli della struttura. Ogni parte del muro deve essere 'ingranata' con le altre così che le singole parti si comportino come un tutt'uno coeso.

Questo muro si potrebbe quindi definire, secondo Foppoli e Cagliari, come un muro 'ingegneristico'. Si può definire ingegneristico un muro che comprendiamo maggiormente a livello di calcolo strutturale. Questa tipologia è quindi ad oggi differenziabile dalle altre proprio per le possibilità maggiori che abbiamo nella sua progettazione (Foppoli and Cagliari 2020: 2586-2587). Il comportamento strutturale di questi muri, che sono comunque strutture adattabili e deformabili, è più simile a quello di un corpo rigido di cui si può spiegare l'equilibrio delle forze contrapposte. Dobbiamo comunque ricordarci che qualsiasi analisi di calcolo dipende dalla corretta conoscenza di diversi parametri (per esempio legati alle caratteristiche del terreno), che sono spesso difficili da quantificare con precisione (ibid).

Gli studi fino ad ora condotti (citati in questo manuale) e anche la conoscenza empirica derivata dall'esperienza degli artigiani, ci dimostra già che un maggiore ammassamento fra i vari elementi del muro giochi un ruolo fondamentale per la stabilità di queste strutture di contenimento.





Dobbiamo quindi escludere che i muri a doppio paramento non ammorsati possano considerarsi alla stregua di quelli che vengono realizzati con uno spessore maggiore, con una attenzione particolare alla posa corretta dei singoli elementi lapidei e anche che presentano un costante sfalsamento dei giunti in tutte le direzioni del muro (McCombie et al. 2016: 55-64). Le murature con un solo paramento esterno, che sono spesso le più diffuse in ambito rurale, dipendono esclusivamente dall'attrito tra i blocchi che è a sua volta dipendente dal peso del muro. La stabilità di questi muri è minore di quelli a due paramenti ben ammorsati anche a livello intuitivo. Il fallimento di queste strutture con conseguente crollo avviene laddove il rapporto tra attrito (e quindi peso) e spinta del terreno risulti insufficiente. Generalmente, possiamo osservare questo fenomeno in mezzzeria, dove i muri subiscono deformazioni note come 'spanciamenti' (ibid). I muri a due paramenti non ammorsati possono considerarsi come una via di mezzo fra i due muri precedentemente trattati. Dalla prossima sezione dunque, considereremo la trattazione strutturale strettamente legata ai muri a doppio paramento ben ammorsato.



PSR
2014 2020
LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTERADICI



Regione
Lombardia



2.6 Il comportamento strutturale

2.6.1 Gli elementi fondamentali per la statica del muro a gravità

I muri di contenimento del terreno devono resistere alle spinte che derivano non solo dal suolo, che esso sia più o meno ricco d'acqua, ma anche ad altri eventuali carichi a monte quali gli spostamenti di carichi sui terreni coltivati che includono spesso mezzi meccanizzati. Possiamo quindi dire che vi sono quattro fattori determinanti a livello strutturale da tenere in considerazione per i muri di contenimento in pietra a secco (V.A. 2019: 137): il terreno, l'acqua, la sezione verticale del muro, e l'ammorsamento e corretta apparecchiatura dei singoli elementi lapidei.

Si è parlato sin dall'inizio di muri a gravità che contano quindi sul peso stesso del muro come forza contrastante alle spinte del terreno. Se la forza peso è un fattore fondamentale del muro di contenimento, lo è altrettanto la forza di attrito. Come specificato da Foppoli e Cagliari 'la forza di attrito si esplica alla superficie di contatto tra due corpi e si oppone allo scorrimento reciproco degli stessi; per questo risulta necessario che le due superfici vengano premute reciprocamente, per esempio per effetto della forza peso (Foppoli and Cagliari 2020: 2585).

Ne consegue che in un muro contro terra, la forza di attrito viene esercitata ovunque vi sia potenzialità di scorrimento fra piani (ibid):

- tra il terreno retrostante e le spalle del muro
- tra il terreno sotto la fondazione e la base del muro
- tra gli elementi lapidei del muro





Fatta questa premessa e ricordandoci che il muro deve essere considerato una struttura a corpo unico e rigido, possiamo dire che l'equilibrio del muro è garantito solo al sussistere all'opportuna correlazione di tre fattori: spinta del terreno (S), forza peso (P) e forza di attrito alla base del muro (A) e che quindi l'equilibrio è garantito dall'equilibrio di queste forze (Foppoli and Cagliari 2020: 2585). Detto in altro modo, il muro è in equilibrio se la struttura resiste allo: scivolamento, al ribaltamento o al cedimento del terreno alla base (V.A. 2019).

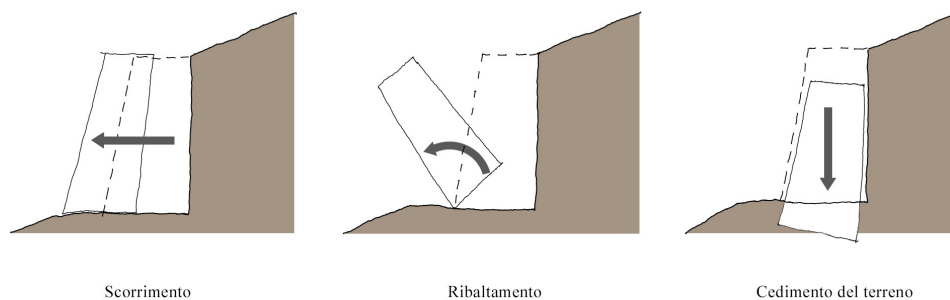


Fig. 12 - L'equilibrio del muro di contenimento

Scivolamento: scorrimento della struttura rispetto alla base con conseguente perdita di equilibrio data dalla traslazione: il muro non sorregge più il terrapieno. Questo può avvenire come conseguenza della pressione sul retro del muro che tende a spingerlo in avanti. L'effetto è contrastato principalmente dall'attrito alla base del muro e quindi avviene fra la superficie del suolo e la fondazione del muro; perciò se questo attrito alla base è garantito, il muro non scorrerà verso l'esterno (McCombie et al. 2016: 23-25).

Ribaltamento: rotazione attorno al punto più esterno della base con conseguente perdita di equilibrio. Il muro deve anche essere in equilibrio rispetto alla rotazione (ovvero al momento rotante). Se il muro è alto e stretto, questo causerebbe la rotazione del muro nel punto più esterno della base stessa (Inglese: toe) dato dalle forze retrostanti al muro, ribaltandosi in avanti. L'attrito che agisce verso il basso e sul retro del muro contro terra contrasta questa azione di ribaltamento grazie alla scabrezza del retro del muro (McCombie et al. 2016: 23-25)(6). Qualora il terreno alla base del muro dovesse essere eroso, o alcune lavorazioni dello stesso sul lato esterno del muro causassero un suo spostamento, il piano di fondazione e la sua inclinazione corretta potrebbero modificarsi, facilitando o incrementando la possibilità di ribaltamento.

(6) Il suolo che si trova sul retro del muro esercita su di esso una pressione. Questa pressione deriva dal peso del suolo e aumenta con la profondità del suolo stesso. A meno che il retro del muro non sia eccezionalmente liscio ci sarà su di esso una componente di attrito che aiuterà a supportare il peso del suolo riducendo la pressione orizzontale sul muro.





Rottura o cedimento: rottura per schiacciamento del terreno. Teoricamente la rottura potrebbe avvenire anche nel corpo del muro fra elementi lapidei, ma questo è improbabile grazie alla notevole resistenza delle pietre (Foppoli and Cagliari 2020: 2586-2587). Oltre al peso del muro quindi, l'attrito che agisce verso il basso e sul retro del muro contro terra, agiscono unitamente creando pressione sul suolo delle fondazioni. Il muro scendere comprimendo il terreno dopo la costruzione (assestamento) con l'aumentare della compressione alla sua base e qualora il terreno non sia sovraccaricato non ci saranno cedimenti del terreno, dato che l'equilibrio verticale è così assicurato (McCombie et al. 2016: 23-25).

È necessario ricordare brevemente che non tutto il terreno retrostante al muro esercita una spinta su di esso. Infatti, grazie all'attrito interno che ogni terreno possiede e che è quindi differente in ogni contesto, non tutto il terrapieno è spingente. Si può dire in modo sintetico che è solamente una porzione di terreno che chiamata "cuneo di spinta" e esercitare una spinta orizzontale sul muro, ovvero quella porzione di terreno che eccede la parte auto-equilibrata di tutto il materiale che si trova dietro il muro (Foppoli and Cagliari 2020: 2586-2587).

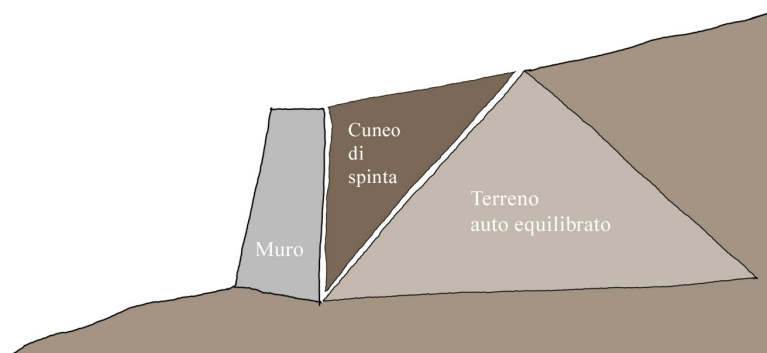


Fig. 14 – Muro deformato. Spanciamento di una porzione di muro che già presenta alcune pietre scalzate e cadute al suolo

2.6.2 Gli effetti della configurazione geometrica sulla stabilità del muro

I primi test empirici che sono stati effettuati sulle murature di contenimento in pietra a secco furono condotti dal luogotenente e generale Sir John Burgoyne nel 1834 in Irlanda, come riportato da Mundell et al. (Burgoyne 1853, in Mundell et al. 2009: 3-4). Il luogotenente realizzò quattro modelli in scala 1:1 con la stessa quantità volumetrica di blocchi di granito ma utilizzando diverse sezioni verticali contro terra. Questo studio empirico facilitò la comprensione dell'importanza della sezione del muro nella stabilità complessiva del muro di contenimento, infatti anche se l'utilizzo di blocchi di granito molto squadrate è stato senz'altro un fattore importante per la stabilità, facilitando l'effetto di monolite dei muri, è senza dubbio certo che questi primi risultati provassero già la differenza di efficacia nell'usare un tipo di sezione piuttosto che un'altra.

I muri di contenimento vengono tendenzialmente costruiti con un profilo esterno a scarpa, ovvero con una inclinazione verso monte. La struttura quindi presenta un'inclinazione a monte del fronte esterno avendo non solo un effetto statico, ma ha anche un effetto estetico poiché è istintivo aspettarsi che un muro di sostegno ritenga il terreno inclinandosi contro di stesso (McCombie et al. 2016: 41). Utilizzare una muratura con un fronte a scarpa è un modo efficace di impiegare la stessa quantità di materiale, migliorandone il comportamento strutturale rispetto al cuneo di spinta del terreno e altri carichi.

Come è possibile vedere nei disegni riportati in questo manuale, la sezione tipica del muro a doppio paramento ben ammosciato a una forma trapezoidale. Questa forma con profilo a scarpa di minimo 10% (si vedano anche linee guida) del paramento e il contromuro costruito a piombo, con la base della fondazione inclinata verso monte con pendenza corrispondente in gradi all'inclinazione della scarpa, È una delle forme ottimali che risponde a esigenze sia statiche sia pratico-costruttive. Con questo tipo di sezione trapezoidale riusciamo soprattutto a ottimizzare la quantità di materiale lapideo utilizzato.





2.6.3 Trasmissione delle forze all'interno del muro

I punti di contatto fra le pietre trasmettono i carichi all'interno del muro, ma considerata l'elevata resistenza a compressione della pietra e anche il maggiore attrito fra pietre rispetto a pietre e terreno, è più facile che gli slittamenti avvengano alla base del muro come è stato anticipato nelle sezioni precedenti (McCombie et al. 2016: 51). Infatti, è solo quando la fondazione è molto resistente che gli slittamenti fra piani di posa delle pietre può avvenire. Tuttavia, dobbiamo ricordare che le pietre in semplice appoggio all'interno di una struttura in pietra secco hanno tutte la possibilità di muoversi, dato che non vi è presenza alcuna di legante. Idealmente sarebbe necessario che vi fossero minimo quattro punti di appoggio per ogni pietra con pianta quadrata e minimo tre punti per una pietra con pianta triangolare, così che sia sempre assicurata una corretta trasmissione dei carichi e così che ci sia che le pietre non ruotino su loro stesse ma restino saldamente bloccate (ibid). Gli aspetti tecnici di posa verranno trattati in modo più approfondito nella Parte C.

2.6.4 L'effetto della scabrezza del paramento interno

Uno dei fattori che differenziano principalmente il muro realizzato in pietra a secco da quelli in cemento armato o in muratura è la scabrezza del paramento interno, ovvero il lato che è a contatto diretto col il terrapieno. La scabrezza della superficie in pietra a secco, ricca di diversi elementi irregolari, ruvidi e aggettanti, genera attrito sul retro del muro in contatto con la terra. Come illustrato da McCombie et al., l'aumento della superficie sul retro del muro e la sua generale scabrezza aumenta l'attrito verticale che contrasta la spinta del terreno (2016: 52). Senza entrare nei dettagli matematici dimostrati McCombie et al., è sufficiente ricordare che le implicazioni dell'irregolarità della faccia interna del muro sono notevoli e non affatto trascurabili per la stabilità della struttura, permettendo ai muri in pietra a secco di poter avere un alto rapporto fra altezza e larghezza (slenderness) pur garantendo l'equilibrio, come del resto dimostrato da molti muri esistenti e anche dallo studio di Mundell a Bath, specialmente per quanto riguarda la distribuzione dei carichi concentrati alla base del muro (McCombie et al. 2016, Mundell et al. 2009, Mundell 2009).

2.6.6 Pieni e vuoti

Quando trattiamo di muri a gravità e del loro peso dobbiamo tenere in considerazione il rapporto fra pieni e vuoti all'interno del muro in pietra a secco. Un muro in pietra a secco, proprio perché costituito da sole pietre senza legante, possiede intrinseche capacità drenanti per la presenza di interstizi.

Un muro in pietra a secco è infatti ideale per il contenimento del terreno perché permette una buona permeabilità all'acqua, così da prevenire le spinte risultanti dalla forza dell'acqua che si accumula nel terreno (pore water pressure) (McCombie et al. 2016: 51). Le parti cave o vuote sono un fattore non trascurabile quando si parla della stabilità del muro poiché sono in diretta correlazione con il peso del muro di sostegno. È quindi importante poter comprendere il rapporto fra pieni e vuoti per chiarire quale sia il limite massimo di percentuale cava all'interno di un muro. Questo è anche direttamente collegato alla modalità di posa e quindi alla tecnica costruttiva. Il modo in cui le pietre vengono posate, stabilizzate e quindi la scelta delle pietre di dimensioni diverse incastrate fra loro determinano la dimensione e la qualità degli interstizi della struttura che non sono ininfluenti per la sua statica. È sempre necessario considerare una percentuale minima di cavità visto che è praticamente impossibile realizzare un muro in pietra a secco privo di interstizi. Fino ad oggi però, il tema non è stato sufficientemente studiato in modo rigoroso, anche se possiamo trattare brevemente dell'esperienza e delle regole che sono state stabilite in altri contesti europei con scopo conoscitivo e su base empirica (V.A. 2019: 131). Come viene illustrato nel manuale svizzero della pietra a secco (ibid): gli standard tedeschi hanno per molto tempo considerato la percentuale di vuoti al 50% della massa muraria, quindi come se ci fosse solo metà del peso vero e proprio del muro. Ad oggi invece, rispetto agli standard europei, i valori che vengono applicati secondo la normativa comune sono quelli di considerare il 25% in meno del peso del muro, partendo dal peso totale della massa come se fosse di sola pietra (si veda DIN EN 1996-1-1).





Gli standard attuali svizzeri per la costruzione di murature in pietra naturale (SIA 266/2 – SN 505 266/2) prescrive che il calcolo del peso della muratura venga fatto rispetto a come viene effettivamente costruita la struttura; generalmente la regola considera i 2/3 del peso totale del muro se esso fosse completamente costituito di pietra senza interstizi. Accurati studi sperimentali avvenuti alla facoltà di architettura e ingegneria di Bath dimostrano che in un muro meticolosamente costruito vi è una percentuale di vuoto del 20%, mentre in un muro costruito grossolanamente si raggiunge il 40% (Mundell et al. 2009, Mundell 2009).

2.7 Il dimensionamento

Il dimensionamento delle murature di contenimento del terreno è un'operazione progettuale e di calcolo ingegneristico. Come già anticipato, non è questo l'ambito per una discussione dettagliata del tema. Ci limiteremo nel dire che il dimensionamento rigoroso di queste strutture richiederebbe la conoscenza di alcuni parametri come l'attrito interno del terreno e del muro e anche dei coefficienti di attrito alla base e sul retro della muratura che non sono facilmente individuabili e andrebbero spesso identificati con studi precisi in ogni territorio poiché questi parametri sono variabili. L'Italia non è al momento fornita di parametri standardizzati di calcolo dedicati alle murature di contenimento in pietra a secco. I progettisti possono ricorrere a software di calcolo che spesso sovradimensionano in modo spropositato le dimensioni del muro.

Questo è in parte dato dal fatto che ad oggi non conosciamo con precisione il comportamento delle varie tipologie di muratura di contenimento in pietra a secco, dati i pochissimi e scollegati studi sperimentali in merito che sono stati citati in questa sezione. Possiamo comunque rivolgerci ad altre esperienze Europee ed extra-Europee come riferimento per soluzioni pratiche che spesso sintetizzano modalità facilitate di dimensionamento tramite l'uso di tabelle di calcolo o abachi di progettazione. Ci riferiamo in particolare alla Svizzera e alla Francia (si vedano normative di riferimento-creare link). Dopo gli esperimenti del luogotenente Sir John Burgoyne realizzati nel 1834, abbiamo atteso fino al 2005 per poter riconsiderare sperimentalmente i test ingegneristici a riguardo, ovvero quelli condotti dal team di Jean-Claude Morel e Boris Villemus a Lione, che hanno testato 5 grandi muri di prova che variavano da 2 a 4.35m di altezza e fra i 2 e i 3 metri di lunghezza (Mundell et al. 2009: 3). Si aggiungono ad essi gli studi di Bath del 2009 già citati in precedenza. Ad oggi quindi, sono la Francia e l'Inghilterra i paesi con i test sperimentali più aggiornati in ambito continentale. La Francia per esempio, adotta da alcuni anni degli abachi (tabelle grafiche) per permettere direttamente agli artigiani professionisti che hanno seguito un percorso formativo, di poter eseguire il dimensionamento dei muri da realizzarsi. Questi abachi, che sono consultabili sul volume di riferimento dell'ABPS (L'association des batisseurs en pierre sèche) fanno da completamento alle cosiddette regole professionali: Technique de Construction des Murs en Pierre Sèche: Regles Professionnelles (vedi da p.57 a p.172) (Blanc-Gonnet et al. 2017).





Gli artigiani francesi formati dalla APBS sono quindi in grado di progettare i muri di contenimento seguendo diversi parametri quali la tipologia litica utilizzata, le caratteristiche meccaniche del terreno (come la coesione e l'angolo di attrito) e quindi l'angolo di inclinazione della struttura di contenimento desiderata. Gli abachi sono una soluzione pratica per poter dare agli artigiani specializzati uno strumento di lavoro che vada oltre le regole empiriche non testate scientificamente (anche se spesso testate dal tempo) e li metta nella condizione di realizzare opere con il supporto di studi rigorosi. Per concludere, ci auspichiamo che un ulteriore lavoro di approfondimento venga realizzato anche nel nostro paese, unendo i dati fino a ora esistenti e realizzando nuove campagne sperimentali che partano da modelli reali (test) per la creazione di una più rigorosa e aggiornata normativa di riferimento. Fino a quel momento, ci si deve comunque affidare ai software di calcolo, che come sempre accade, sovradimensionano i muri in modo eccessivo, per cui si rendono necessarie mediazioni fra i risultati del calcolo e la pratica. È comunque necessario includere la componente di calcolo, specialmente per interventi di consistente dimensione.

2.7.1 Il dimensionamento empirico

Ad oggi, la maggioranza degli artigiani si rifanno a regole empiriche mutate dall'esperienza individuale e collettiva e dall'osservazione delle murature storiche. Sintetizziamo questi semplici principi per dare modo agli artigiani di farsi un'idea di base su come dimensionare preliminarmente un muro in fase di progettazione.

Inclinazione minima della scarpa > 10%

Spessore minimo del muro alla base > 50cm (questo è dato da ragioni pratiche poiché non è possibile realizzare un muro con diversi conci ammorsati fra paramento e contromuro che sia minore di 50cm di spessore alla base)

Spessore del muro rispetto all'altezza > Spessore = 1/3 altezza totale della struttura (ovvero includendo tutta quella parte delle fondazioni sotto terra)

Ad oggi, la maggioranza degli artigiani si rifanno a regole empiriche mutuata dall'esperienza individuale e collettiva e dall'osservazione delle murature storiche. Sintetizziamo questi semplici principi per dare modo agli artigiani di farsi un'idea di base su come dimensionare preliminarmente un muro in fase di progettazione.



Fig. 15 - Muro deformato in seguito a un cedimento del terreno nelle vicinanze dopo gli scavi per la costruzione di una villa. Il muro ben costruito si deforma essendo costituito da diversi elementi, ma si adatta alla nuova configurazione senza crollare.

