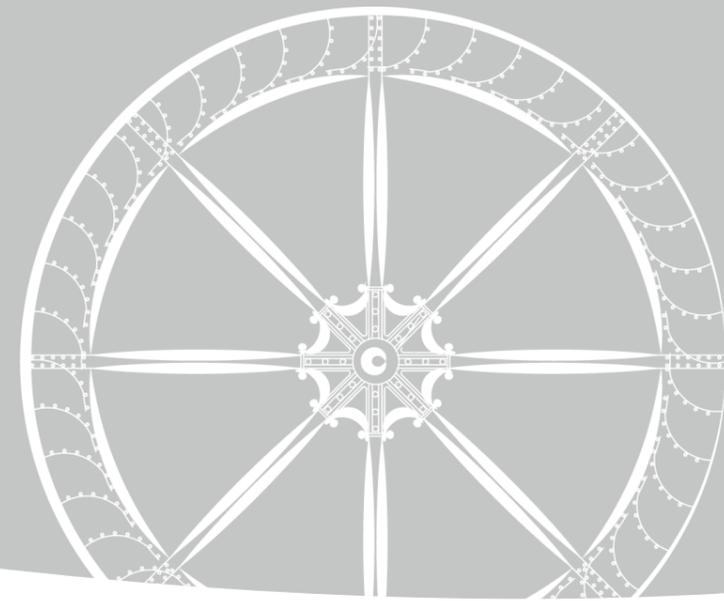




# IL MULINO DI BORGIO CORNALESE:

ANALISI DEI DEGRADI, SOLUZIONI CONTRO LA RISALITA  
CAPILLARE E SCENARI DI RIFUNZIONALIZZAZIONE



# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
in  
ARCHITETTURA PER IL RESTAURO E  
VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO

Tesi di Laurea Magistrale

Il mulino di Borgo Cornalese: analisi dei degradi, soluzioni contro la  
risalita capillare e scenari di rifunzionalizzazione

*Ai miei cari nonni*



Relatore  
Paola Palmero

Candidato  
Eleonora Contesini

Correlatore  
Anna Lucia Doleatto

Anno Accademico 2019/2020

# Indice

---

## Abstract pagina 9

---

## 1. Inquadramento pagina 10

---

- 1.1 Inquadramento territoriale di Villastellone
- 1.2 Inquadramento territoriale di Borgo Cornalese
- 1.3 Assetto idrogeologico
- 1.4 Assetto geologico e geomorfologico
- 1.5 Materiali presenti nel territorio
- 1.6 Vincoli che gravano sull'area

## 2. Inquadramento storico di Borgo Cornalese pagina 31

---

- 2.1 Introduzione
- 2.2 Le vicende storiche: Transazioni, successioni
- 2.3 Sviluppo del costruito

## 3. Percorso storico dell'attività molitoria pagina 64

---

- 3.1 Le origini dell'attività molitoria
  - 3.1.1 Le evoluzioni tecnologiche che hanno determinato lo sviluppo dell'energia idraulica
  - 3.1.2 La guerra dell'acqua (XII-XIII secolo)
- 3.2 Varie tipologie di mulino
  - 3.2.1 Mulino ad acqua
  - 3.2.2 Mulino a vento
  - 3.2.3 Mulino galleggiante
  - 3.2.4 Mulino a marea
- 3.3 Opere di canalizzazione artificiale
- 3.4 I mulini lungo il Po
  - 3.4.1 Il mulino Pellegrò: Mulino ad acqua nell'alto Oltrepo Pavese
  - 3.4.2 Antica Riseria Mulino San Giovanni, Fontanetto Po
- 3.5 Mulino di Borgo

## 4. Analisi dei materiali pagina 99

---

- 4.1 Analisi materica
  - 4.1.1 I laterizi e l'argilla
  - 4.1.2 La sabbia
  - 4.1.3 La calce

- 4.1.4 La calce aerea
- 4.1.5 La calce idraulica
- 4.1.6 Il gesso
- 4.2 Il laterizio, caratteristiche generali
  - 4.2.1 Impiego del mattone nella storia, produzione ed evoluzione
  - 4.2.2 Degrado dei laterizi

## 5. Analisi dello stato di conservazione del Mulino pagina 120

---

- 5.1 Analisi materica dei vani interni
  - 5.1.1 Sala voltata manica sud est
  - 5.1.2 Sala stalle
  - 5.1.3 La cantina
  - 5.1.4 Locali abitazione mugnaio
  - 5.1.5 Sala macchine
  - 5.1.6 Tettoia
  - 5.1.7 Sala voltata manica sud ovest
  - 5.1.8 Area ruderi e falegnameria
  - 5.1.9 La canapaia
  - 5.1.10 Antico forno e torretta dell'Enel
  - 5.1.11 Deposito primo piano
  - 5.1.12 Locali abitazione
  - 5.1.13 Sala macchinari primo piano
  - 5.1.14 Deposito primo piano
- 5.2 Analisi dei degradi delle emergenze architettoniche

## 6. Il progetto pagina 160

---

- 6.1 L'umidità di risalita capillare, introduzione
  - 6.1.1 Fattori che governano il fenomeno
  - 6.1.2 Effetti della cristallizzazione dei sali solubili
  - 6.1.3 Fattori che causano il fenomeno dell'umidità
- 6.2 Soluzioni di intervento contro l'umidità di risalita capillare
  - 6.2.1 Sistemi di sbarramento fisico all'interno della parete
    - Riduzione della sezione capillare assorbente (Metodo edilizio)
    - Sbarramento orizzontale con materiale anti capillare (Metodo meccanico)
    - Barriere fisiche inserite a pressione
  - 6.2.2 I sistemi di sbarramento con iniezioni di formulati chimici
    - Iniezioni con effetto idrofobizzante
    - Procedura operativa
  - 6.2.3 I sistemi di evacuazione o allontanamento dell'acqua contenuta nella parete

- Sifoni atmosferici
- Intonaci macroporosi
- Tecnica dell'elettrosmosi
- Sistemi di allontanamento dell'acqua dalla parete: vespai ventilati e intercapedini

### 6.3 Normativa di riferimento

### 6.4 Monitoraggio dell'umidità nella muratura

#### 6.4.1 Il monitoraggio termografico

#### 6.4.2 Il metodo gravimetrico o ponderale

#### 6.4.3 Monitoraggio tramite termoigrometro digitale

#### 6.4.4 Prove soniche

#### 6.4.5 Monitoraggio tramite georadar

#### 6.4.6 Monitoraggio tramite fibre ottiche

#### 6.4.7 Monitoraggio tramite l'utilizzo di nanosensori

### 6.5 Proposta intervento materico nel caso studio del Mulino di Borgo Cornalese

#### 6.5.1 Prima metodologia applicata: sbarramento chimico contro la risalita capillare

#### 6.5.2 Seconda metodologia applicata: protettivo superficiale nanostrutturato

#### 6.5.3 Scelta del sistema di monitoraggio

### 6.6 Progetto di rifunzionalizzazione del Mulino

### 6.7 Tavole di progetto

## Conclusioni

pagina 226

## Ringraziamenti

pagina 228

## Bibliografia

pagina 229

## Allegati

pagina 234

## Abstract

Il progetto nasce dall'esigenza di recuperare un'importante testimonianza della memoria storica di un'area rurale piemontese gestita in maniera non unitaria da secoli e che contemplava al suo interno funzioni rilevanti a carattere territoriale, come appunto il mulino ad acqua, che diviene traccia del lavoro agricolo di queste aree.

Il progetto ha come obiettivo di formulare nuovi scenari all'interno del Mulino di Borgo Cornalese, attraverso un'attenta analisi dei degradi e successiva proposta di intervento contro il dissesto che maggiormente affligge le murature storiche: l'umidità di risalita capillare.

Lo studio parte dal principio, percorrendo tramite un lungo iter archivistico, tutti i passaggi riguardanti l'evoluzione della fabbrica.

Gli scenari funzionali e progettuali auspicano ad essere innovativi e al contempo sostenibili, appoggiando quindi le direttive adottate dal MaB Unesco, che hanno riconosciuto l'area come Riserva di Biosfera.

La proposta progettuale adottata ha come scopo la valorizzazione delle tradizioni locali e vuole promuovere strategie di sviluppo sostenibile, enfatizzando le biodiversità e beneficiando le comunità locali.



Figura 1: Foto scattata durante un sopralluogo, giugno 2020, vista del Mulino dal ponte dell'allea monumentale

## 1. Inquadramento

### 1.1 Inquadramento territoriale di Villastellone

Il caso studio che prendo in esame in questa tesi, si colloca all'interno del complesso di Borgo Cornalese, nel Comune di Villastellone, uno straordinario insediamento extra urbano che si è cristallizzato nel tempo mantenendo integre le sue caratteristiche architettoniche e ospitando al contempo un'importante testimonianza della ruralità piemontese: il Mulino ad acqua.

Il paesaggio rurale italiano viene riconosciuto a tutti gli effetti come un fondamentale contributo per l'identità culturale del nostro paese, come testimonia il decreto legislativo del 2004 in materia di beni culturali e paesaggistici. Diviene quindi una risorsa aggiuntiva al nostro storico patrimonio e come tale degna di essere compresa e valorizzata. Borgo Cornalese diviene testimonianza dell'architettura rurale piemontese determinando un valore aggiunto al Comune nel quale si insedia.

Gli insediamenti rurali si differenziano notevolmente tra loro da zona a zona, differenze dettate da influssi culturali, sociali ed economici differenti che con il passare del tempo hanno dato origine a ordinamenti culturali diversi e di conseguenza a fabbricati rurali differenti, capaci di offrire numerose variazioni anche all'interno della stessa regione.

Il comune di Villastellone rientra nella Provincia della città metropolitana di Torino, collocandosi a 21 km a sud-est, e confina con i territori comunali di Cambiano, Carignano, Carmagnola, Moncalieri, Poirino e Santena. All'interno del Comune vi sono un totale di cinque frazioni, tra cui appunto Borgo Cornalese. Posizionato a 234 metri sopra il livello del mare, la superficie si estende per 1.968 ettari composti in gran parte da materiali alluvionali e da depositi sabbiosi provenienti perlopiù dalle colline. Parte del territorio è compreso nella fascia del

Parco del Po.

Si segnalano due parchi di particolare pregio sia dal punto di vista naturalistico, sia botanico ma anche faunistico: il parco di Borgo Cornalese e quello dei Morra, aree boschive a fustaia. Borgo Cornalese rientra assieme alle aree del Po morto nelle aree soggette a vincolo Paesaggistico. Il comune è costeggiato dal Rio stellone, un affluente del Banna.

Il Borgo si colloca in una posizione ottimale per le infrastrutture, infatti è prossimo all'autostrada A6, che collega il capoluogo piemontese con il Ponente Ligure, inoltre è facilmente raggiungibile in treno con una tratta di 20 minuti che collega il Capoluogo con il comune.

Il territorio comprende parzialmente ad est l'altopiano di Poirino, per la restante parte di territorio si presenta prevalentemente pianeggiante, lambisce ad Est le anse del fiume Po e Carignano, sul versante meridionale tange la pianura di Carmagnola mentre a Nord quella di Moncalieri.

Esso è attraversato da piccoli corsi d'acqua, sia naturali che artificiali, fondamentali per la conservazione della biodiversità, tra cui: il Torrente Stellone, il Canale Aigotta, il Rio San Pietro, la Gora di Borgo detta anche Bealera dei mulini e il Canale del Taglio, creato alla fine del 1700.

Villastellone rientra nel programma europeo di Rete Natura 2000, termine che definisce un sistema di zone territoriali protette, chiamate siti di importanza comunitaria (anche definite dall'acronimo SIC), destinante alla prevenzione e al mantenimento della diversità biologica nelle aree selezionate tutelando sia gli habitat che le specie, naturali ed animali, presenti al suo interno a rischio di estinzione.

Nel 2016 in occasione del 4° congresso mondiale del MaB (Man and Biosphere)

il Parco del Po con l'ansa del Po Morto fino a comprendere il complesso di Borgo Cornalese viene riconosciuto dall'UNESCO come "Riserva di Biosfera". Questo è un riconoscimento estremamente importante che ci fa riflettere sull'importanza del sito e della sua particolarità del contesto.

Le riserve di Biosfera comprendono ecosistemi terrestri, marini/costieri o una combinazione degli stessi, promuovendo attività di cooperazione scientifica, ricerca interdisciplinare e sostenibilità ambientale nel pieno coinvolgimento delle comunità locali, pertanto rappresentano esempi di best practice nell'ottica dello sviluppo sostenibile e della interazione tra sistema sociale e sistema ecologico.

All'interno di Villastellone si segnalano due SIC, l'area del Po morto di Carignano, ad ovest verso il Po, tra Tetti Manritti e Borgo Cornalese e l'area a Est dell'abitato denominata Stagni di Poirino-Favari, in questi siti di importanza comunitaria sono presenti molte specie protette, tra cui il Pelobate Fosco, il Martin Pescatore, il Ramarro e la Libellula<sup>1</sup>.

### 1.2 Inquadramento territoriale di Borgo Cornalese

Borgo Cornalese, come precedentemente spiegato, è una frazione di Villastellone e si situa a Sud-Ovest dello stesso, in una pianura agricola attraversata dal corso del Po e rientrante nell'area protetta del Parco Fluviale del Po Torinese. Il Borgo venne aggregato al Comune odierno solo agli inizi del XIX secolo.

Borgo Cornalese sorge su un terrazzamento con un dislivello del terreno circostante di circa 8 mt. Esso rientra territorialmente dentro all'ansa del Po morto che venne devastata durante un'alluvione nel 1949 e successivamente abbandonata. Quest'area è protetta e durante il quarto congresso di MAB Unesco, svoltosi nel 2016, ha ricevuto il riconoscimento di "Riserva di Biosfera". Guardando il piano regolatore del Comune di Villastellone si può notare come le corti rurali del Borgo assieme al mulino e alla villa padronale siano contrassegnate dalla nomenclatura 'RS' che indica le Aree residenziali agricole di interesse architettonico, storico e culturale; al contrario, troviamo segnalate come emergenze architettoniche solo la Chiesa della Madonna dei dolori e la Villa dei Conti de Maistre.

All'interno della Normativa Tecnica del comune vengono delineate delle linee guida per gli interventi nel rispetto delle destinazioni d'uso esistenti.

*"Nell'ambito della Borgata Cornalese – Regione Forte Passo, l'area RS5 individua un ambito di particolare interesse documentario che può essere meglio evidenziato attraverso l'inserimento di attività connesse con l'agricoltura ma attente alla illustrazione della vita contadina. Vengono pertanto ammesse in tale ambito urbanistico attività di ristorazione con cucina tipica rurale, attività ricettive para - alberghiera e attività di tipo agriturismo."*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [www.comune.villastellone.to.it](http://www.comune.villastellone.to.it)

<sup>1</sup> ARTICOLO 3.7.8: AREE RESIDENZIALI AGRICOLE DI INTERESSE ARCHITETTONICO, STORICO, CULTURALE (RS)

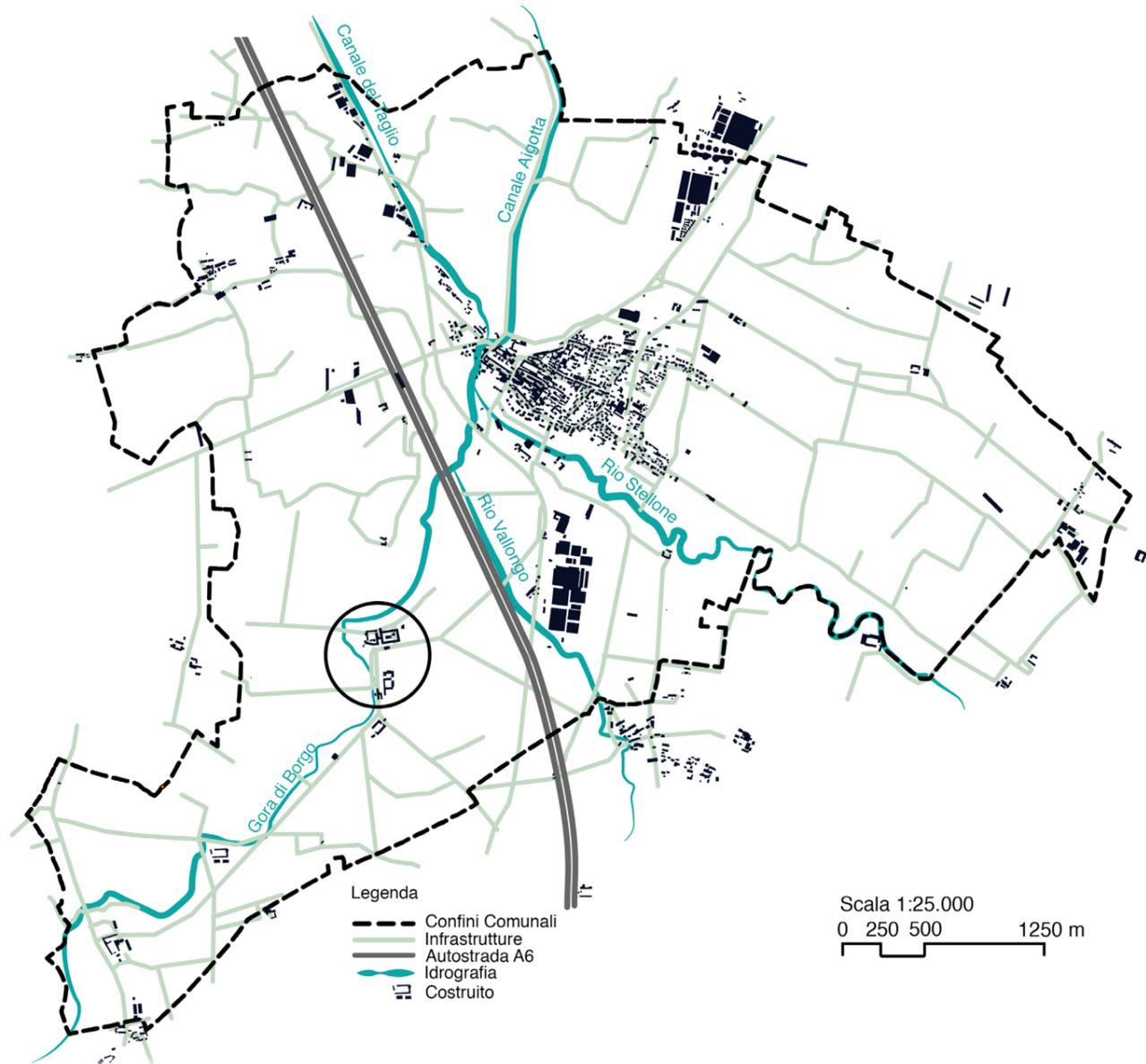


Figura 1: Confini comunali di Villastellone, idrografia, collegamenti e costruito, elaborazione personale

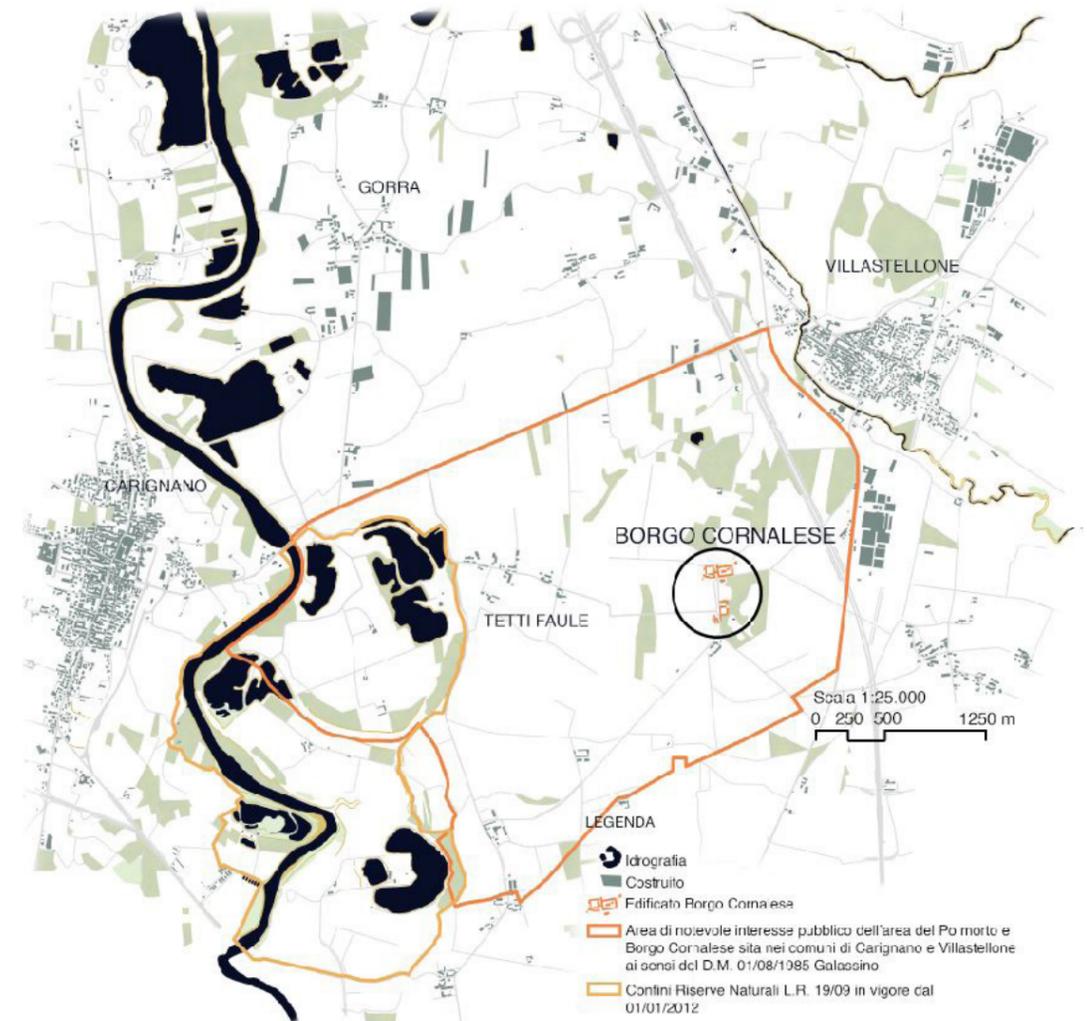


Figura 2: Aree di interesse riconosciute, elaborazione personale

### 1.3 Assetto Idrogeologico

Gli studi idraulici condotti sull'intero comune di Villastellone mettono in evidenza una rete idraulica composta da canali di origine naturale e molti artificiali, utilizzati per l'irrigazione dei campi e in età meno recenti per permettere il funzionamento dei Mulini.

La frazione di Borgo Cornalese è solcata dalla Gora di Borgo che affianca il terrazzamento sul quale si innesta lo stesso, oltre ai numerosi canali che si dipanano per tutta l'area per l'irrigazione dei campi.

Il principale ricettore dell'intero comune è il Torrente Stellone, da cui prende il nome l'abitato, collegato ad una rete di altri corsi d'acqua. Questo sistema nel suo complesso è definito come un reticolo idrografico 'minore' nel Piano per l'Assetto Idrogeologico.

La Gora di Borgo è un affluente del Rio stellone che è, a sua volta, affluente sinistro del fiume Po e connette idraulicamente due porzioni di bacino idrografico. Essa è regolata da monte mediante un sistema di paratoie a comando manuale, che nel caso in cui i livelli idrici siano maggiori del ciglio superiore delle paratoie, possano tracimare.

In caso di piogge intense l'area drenata con una pendenza in direzione settentrionale non consente il deflusso dell'acqua infatti un drastico aumento di portata d'acqua, come avvenne nell'alluvione del 1994, riuscì a mettere in difficoltà la zona. L'alluvione che gravò quell'anno fu particolarmente sentita in tutto il Piemonte tanto che venne preso come evento estremo di riferimento e dal suo verificarsi furono condotti numerosi approfondimenti volti a correggere o a delimitare nuovamente le fasce di gravità alluvionale.

<sup>i</sup> Studi idraulici, relazione idrologica idraulica da PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE VARIANTE DI P.R.G.C., D.G.R. 15 luglio 2002

In seguito la gestione comunale attuò un piano che prevedeva una serie di interventi di messa in sicurezza e miglioramento delle condizioni di deflusso dei torrenti, ridefinendo la delimitazione delle fasce fluviali e la tipologia di interventi da attuarsi. Si parla di interventi mirati, come ad esempio la pulitura degli alvei dai depositi accumulati o il ripristino di tratti di sponda ritenuti non idonei a far fronte a successive alluvioni della medesima portata.

Ritornando all'area oggetto di analisi, bisogna notare che Borgo Cornalese è sito su un terrazzamento che innalza il complesso di 8 mt rendendo le piene alluvionali più ardue e rare e con tempi di ritorno più lunghi.

La carta della Planimetria delle aree esondabili del comune classifica la zona antistante alla Villa de Maistre con confine il Mulino di Borgo come area esondabile con tempo di ritorno di 50 anni, escludendo quindi il costruito.



Figura 3: Inquadramento su foto aerea del reticolo principale, studi idraulici, PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE, Variante di P.R.G.C., Comune di Villastellone, ottobre 2013

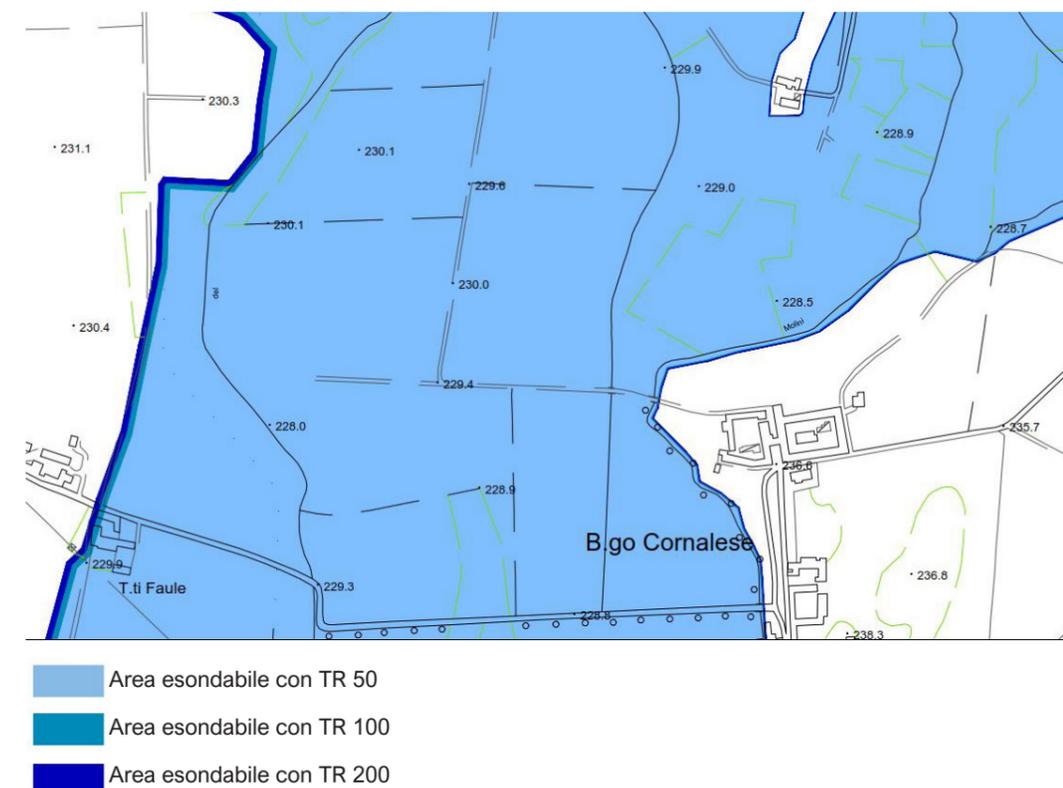


Figura 4: Stralcio con particolare area di interesse, Planimetria aree esondabili, studi idraulici, PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE Variante di P.R.G.C., ottobre 2013

Si può notare come all'interno della Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica, dove sono evidenziate le fasce PAI e le relative classi di rispetto, la posizione delle Corti A e B assieme alla Villa de Maistre e la Chiesa della Madonna dei dolori, risultano ricadere nella Classe II, con pericolosità geomorfologica da bassa a moderata, mentre il complesso del Mulino, posizionato a una quota diversa rispetto agli edificati precedentemente citati, cade nella Classe III, con pericolosità da media a molto elevata.

#### 1.4 Assetto geologico e geomorfologico

Villastellone è situato nel settore di pianura piemontese meridionale, nella sponda destra del Po, al limite occidentale dell'altopiano di Poirino.

Quest'ultimo corrisponde ad un'area della pianura alluvionale morfologicamente sopraelevata sul livello fondamentale della pianura del Po e con pendenze generali rivolte verso ovest o nord ovest, formatesi per effetto delle divagazioni e delle continue variazioni di percorso dei fiumi Po e Tanaro; Provocando un contesto morfologico profondamente mutato rispetto al percorso odierno, con il Tanaro che confluiva nel Po, a nord di Carmagnola.

Le variazioni successive videro il Tanaro verso est sul percorso attuale, all'altezza di Cherasco e il sollevamento dell'altopiano di Poirino, che circa 40.000 anni fa ha invertito i deflussi, imponendo al Po di aggirare verso nord la collina di Torino.

Tali eventi hanno prodotto una complessiva diminuzione dell'energia di trasporto che si è tradotta nella transizione da depositi grossolani (che consistono in ghiaie di ambiente fluviale di medio-alta energia) a depositi medio-fini (sabbie e limi di ambienti a bassa energia/palustri).

All'interno della carta geologica d'Italia alla scala 1:1000, foglio Carmagnola, si può osservare la compresenza di più zone con

assetto geologici diversi che interessano l'area di studio, come i "Depositi alluvionali medio-recenti" che sono determinati da alluvioni prevalentemente sabbiose, di poco sospese sugli alvei attuali ed estese lungo l'alveo del Fiume Po e dei corsi d'acqua principali, sono sedimenti poco potenti di età olocenica<sup>1</sup>.

Sono assimilabili alle Alluvioni Medio-Recenti (a2) indicate sul F°68 "Carmagnola" della Carta Geologica d'Italia alla scala di 1:100.000, il territorio di Borgo Cornalese ricade all'interno di questa caratterizzazione. Questi depositi risultano geneticamente legati al Fiume Po; essi si rinvengono inseriti nei sedimenti più antichi, all'interno della porzione occidentale del territorio comunale, a rappresentarne l'area di divagazione olocenica, nonché lungo due fasce che si sviluppano parallelamente all'andamento del Rio Stellone e del Rio San Pietro.

L'estensione di Villastellone rientra nei Depositi fluviali rissiani che sta ad indicare alluvioni prevalentemente limoso-sabbiose e sabbiose costituenti il 'terrazzo rissiano', con subordinati livelli limoso-argillosi di limitata estensione areale. In superficie è generalmente presente un paleosuolo argilloso di spessore ridotto, di colore giallo-rossiccio.

Essi risultano sospesi sino ad una decina di metri sulle Alluvioni Medio-recenti (a2) del Fiume Po e sono assimilabili al Fluviale Riss (fIR) indicato sul F°68 "Carmagnola" della Carta Geologica d'Italia alla scala di 1:100.000.

Tali depositi sono legati alle fasi di apporto sedimentario del Fiume Po seguite da una fase erosionale che ha portato all'approfondimento dell'alveo del corso d'acqua.

<sup>1</sup> Età olocenica: si intende l'epoca geologica più recente, quella in cui ci troviamo e che ha avuto il suo inizio convenzionalmente circa 11.700 anni fa

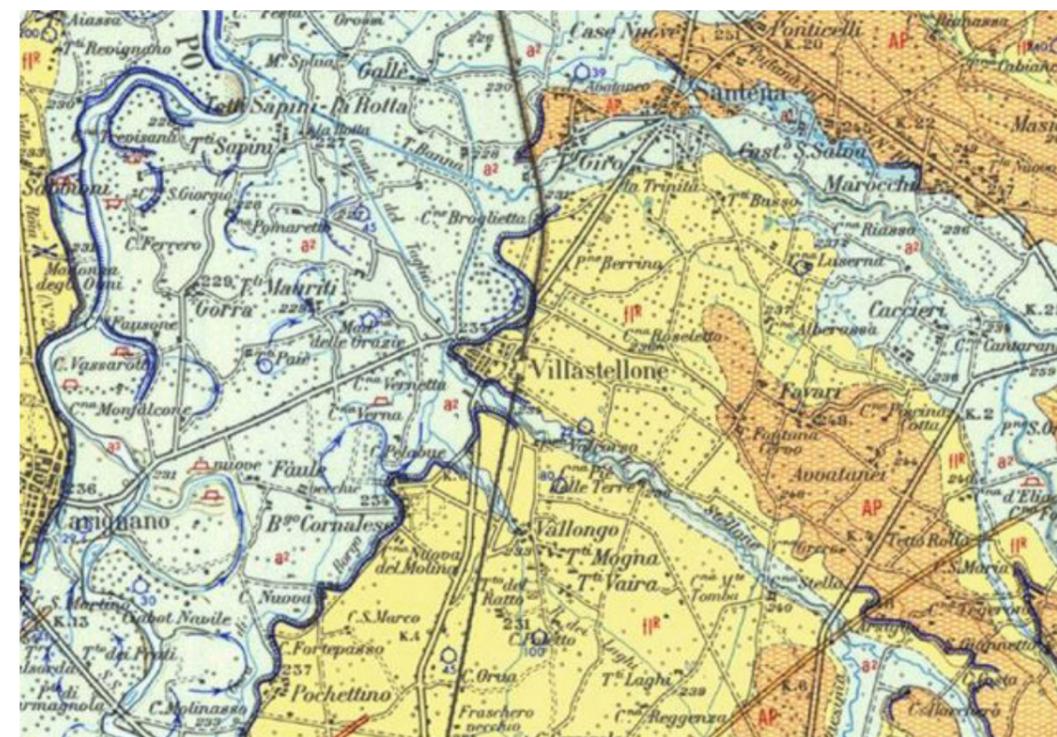


Figura 5: Stralcio del Foglio Carmagnola della "Carta Geologica d'Italia" alla scala 1:100.000, G. Bruno, RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA, Stesura 9 Ottobre 2013 Aggiornamento 12 Febbraio 2014

Analizzando anche la Carta dell'Altopiano di Poirino, troviamo le stesse caratteristiche morfologiche.

Con Villastellone che rientra nell'area definita 'COMPLESSO B' che indica depositi fluviali sabbioso-limosi e sabbiosi con paleosuolo con spessore maggiore di 4 metri (Pleistocene medio e superiore); mentre Borgo Cornalese si pone di nuovo al limite tra il COMPLESSO B e il 'COMPLESSO C' che sta ad indicare depositi fluviali prevalentemente sabbiosi connessi con il drenaggio attuale (Olocene).

Osservando invece la carta geologica e geomorfologica redatta nel 2013 dal Geologo Guido Bruno possiamo sempre osservare queste due morfologie principali che gravano sulla zona, dividendosi ancora nelle classificazioni di depositi alluvionali medio recenti e depositi fluviali rissiani. Si può meglio notare come il Mulino di borgo ricada dentro ai depositi fluviali sabbiosi o limoso sabbiosi, connessi al drenaggio

attuale del Fiume Po e del Torrente Banna; ricoprono alternanze di depositi ghiaioso-sabbiosi (per apporti del fiume Po) e limoso-argillosi (per apporti del Torrente Banna); mentre i restanti edifici che compongono l'intero complesso di Borgo Cornalese ricadono, come la maggior parte dell'edificato di Villastellone, nei depositi fluviali rissiani.

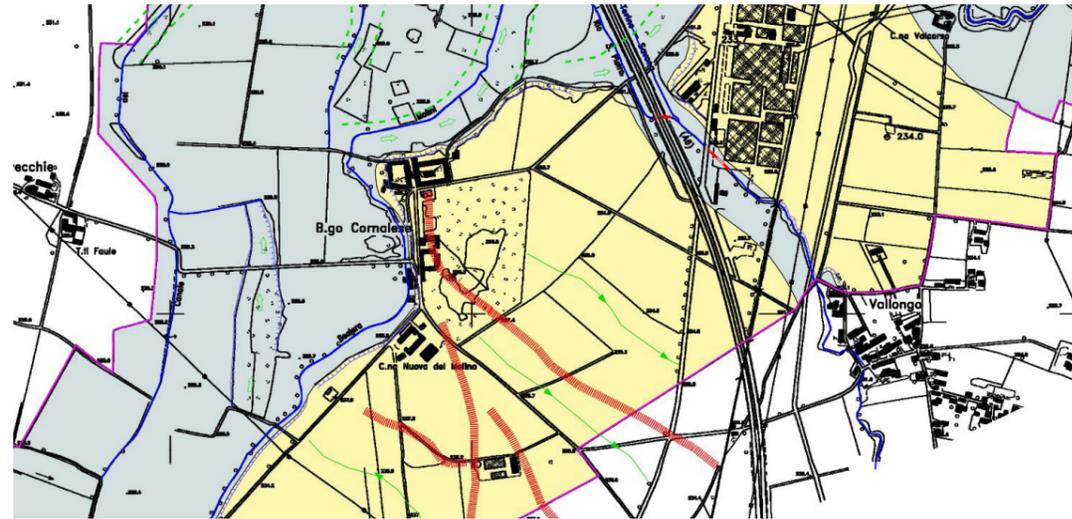


Figura 6: Stralcio della tavola GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA scala 1:10.000, Dott. G. Bruno Geologo, Piano Regolatore Generale Comunale, Variante P.R.G.C.

## 1.5 Materiali presenti nel territorio

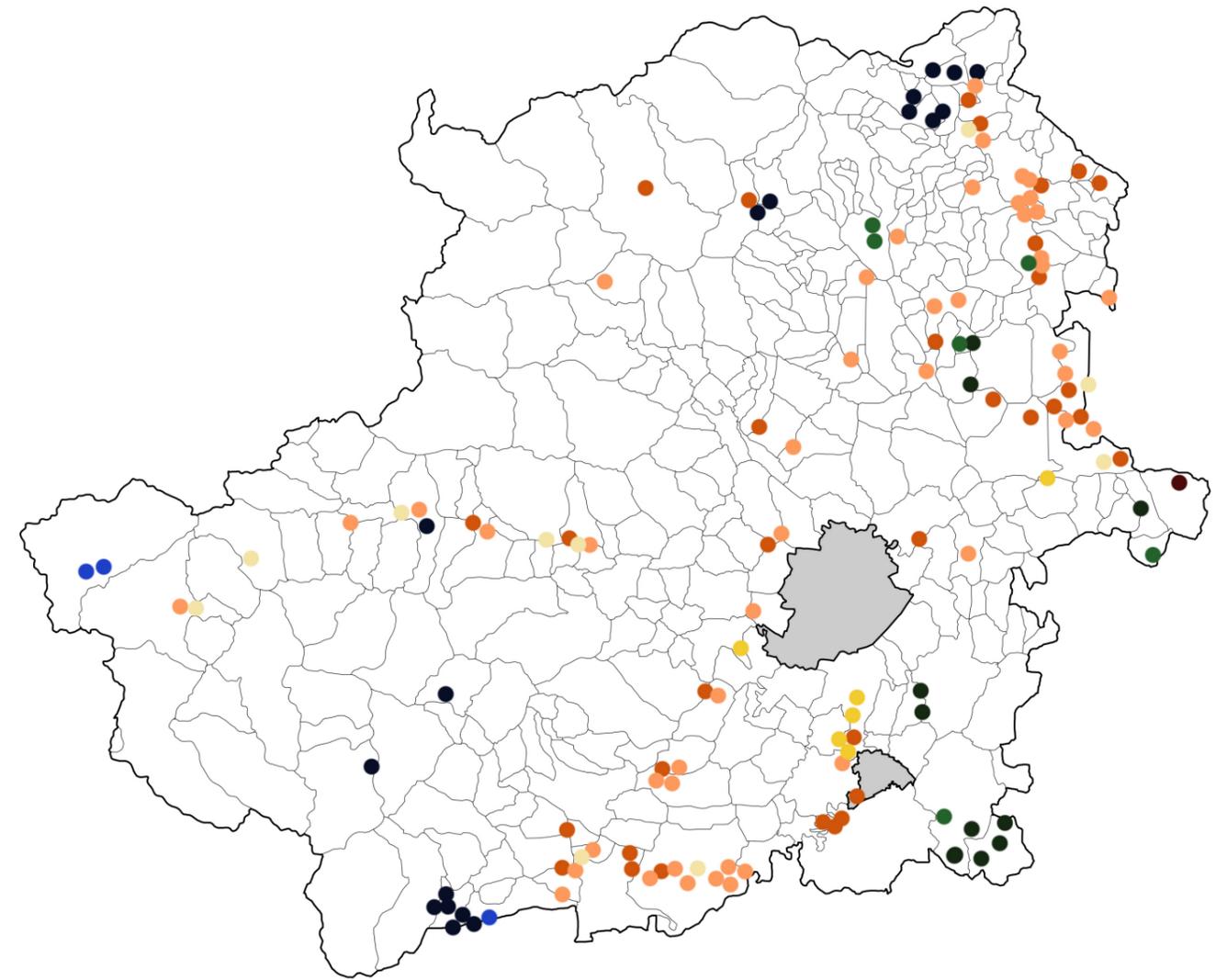
I materiali presenti all'interno di Borgo Cornalese per l'edificazione dei fabbricati che lo compongono sono i materiali tipici da costruzione delle architetture rurali e contadine, la cui origine proviene presumibilmente da zone limitrofe, cave di minerali e bacini estrattivi. Consultando il Piano Provinciale Attività Estrattive della provincia di Torino si possono ottenere informazioni circa l'ubicazione delle cave espressa in coordinate UTM, dati sulle ditte che effettuano le attività estrattive, la situazione amministrativa di ogni cava, i vincoli che gravano sulla cava e gli strumenti urbanistici a cui fare riferimento, la tipologia e la coltivazione, con la descrizione dal punto di vista tecnico delle principali caratteristiche della cava in oggetto, la loro dimensione e le caratteristiche del recupero ambientale. Le cave sono suddivise in: attive (le cave per le quali risulta ancora valida l'ultima autorizzazione concessa), inattive (le cave per le quali è ormai scaduta l'autorizzazione), in corso di istruttoria (per le quali è stata presentata una nuova

istanza e quelle per le quali, essendo scaduta la precedente autorizzazione, è stato chiesto il rinnovo e/o l'ampliamento, ma il relativo iter autorizzativo non era, al momento del censimento, concluso), e mai autorizzate (dove le istanze di autorizzazione sono state respinte).

Nella Provincia di Torino risultano presenti un totale di 178 siti estrattivi e 1 discarica consortile, di cui 91 sono cave attive (90 cave e una discarica consortile, censite e risultate attive il 31/12/2002), 6 sono in fase di istruttoria, 59 sono cave inattive e 22 sono recuperate.

Vengono poi suddivise per materiale estrattivo.

La realtà estrattiva più diffusa con il 61% del totale è costituita dagli aggregati (111 cave), di materiale alluvionale e pietrisco di monte; a seguire troviamo in percentuali più basse le pietre ornamentali e di argilla,



### LEGENDA

Cave pietra ornamentale:	Cave argilla:
● Attiva	● Attiva
● Inattiva	● Inattiva
● In corso di istruttoria	● In corso di istruttoria
● Mai autorizzata	● Mai autorizzata
Cave aggregati:	Cave altri minerali industriali:
● Attiva	● Attiva
● Inattiva	● Inattiva
● In corso di istruttoria	● In corso di istruttoria
● Mai autorizzata	● Mai autorizzata

Figura 7: Distribuzione delle attività estrattive al 31/12/2002 sul territorio provinciale, rielaborazione personale

solo una minima parte costituente il 6% è dato da prodotti secondari rispetto al contesto generale.

Il Documento di Programmazione delle attività estrattive della Regione Piemonte prevede tre stralci: aggregati, pietre ornamentali e materiale per uso industriale.

Al primo stralcio appartengono il materiale alluvionale per aggregati, pietrisco di monte per aggregati e tout venant, al secondo stralcio appartengono le cave di pietra ornamentale mentre al terzo stralcio appartengono le cave di argilla, materiali carbonatici per usi industriali (calcari, dolomie...), gesso e materiali silicei per usi industriali.

Nel quadro generale delle cave presenti sul territorio, non bisogna dimenticare quelle ricadenti all'interno di un'area protetta, in particolare le cave collocate lungo le sponde del Fiume Po. Queste cave rientrano nell'area protetta del Parco Fluviale del Po, il cui contributo alla produzione provinciale risulta considerevole.

Questa ricerca è utile per comprendere che tipologie di materiali vengono prodotti, elaborati, resi commerciabili e quindi impiegati nelle costruzioni sul suolo del territorio provinciale. È stata condotta una ricerca di archivio per cercare di

capire quali materiali sono stati impiegati per la costruzione del caso studio, ma non è stato possibile poiché i dati raccolti in archivio di Stato di Torino, al Comune di Villastellone e Carignano, si riferiscono principalmente all'attività produttiva e ai risvolti economici che ne consegue. Quindi il risultato della ricerca tramite archivio fa luce sui passaggi di proprietà dei terreni, sulle successioni, sulle investiture e su tutte le attività economiche ed innovative degne di nota e quindi registrate nei catasti, negli inventari o cartari. Tutti i passaggi di eredità diretta o concessione di terreni sono documentati, come anche i passaggi delle acque per servire i mulini e le variazioni degli alvei per servire questa o quella attività molitoria.

Nonostante la difficoltà riscontrate per cercare di cogliere la località di produzione dei materiali si è cercato di supporre, per vicinanza, l'origine degli stessi poiché in tempi antichi i materiali impiegati sono certamente di pertinenza al costruito rurale. L'architettura rurale è a tutti gli effetti un'architettura studiata e pensata, realizzata con grande riguardo per la tecnica architettonica e alle metodologie costruttive impiegate che si differenziano da zona a zona per mantenere vive le tradizioni locali.

Si ricorda inoltre che le architetture rurali sono state recentemente inserite all'interno dell'articolo 10 del Codice dei

Materiale estratto	N° di cave presenti	Cave Attive	Cave in Istruttoria	Cave Inattive	Cave Recuperate
Argilla	20	12	0	5	3
Calcare o dolomia per usi industriali	1	0	0	1	0
Massi da scogliera	9	8	0	1	0
Materiale alluvionale per aggregati	103	34	6	44	19
Pietra ornamentale	40	35	0	5	0
Pietrisco di monte per aggregati	4	1	0	3	0
Discarica Consortile	1	1	0	0	0
TOTALE	178	91	6	59	22

Tabella 1: Stato amministrativo al 31/12/2002 dei siti estrattivi nella provincia di Torino: suddivisione delle cave per materiale estratto, PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, Comune di Torino, dicembre 2006, Torino

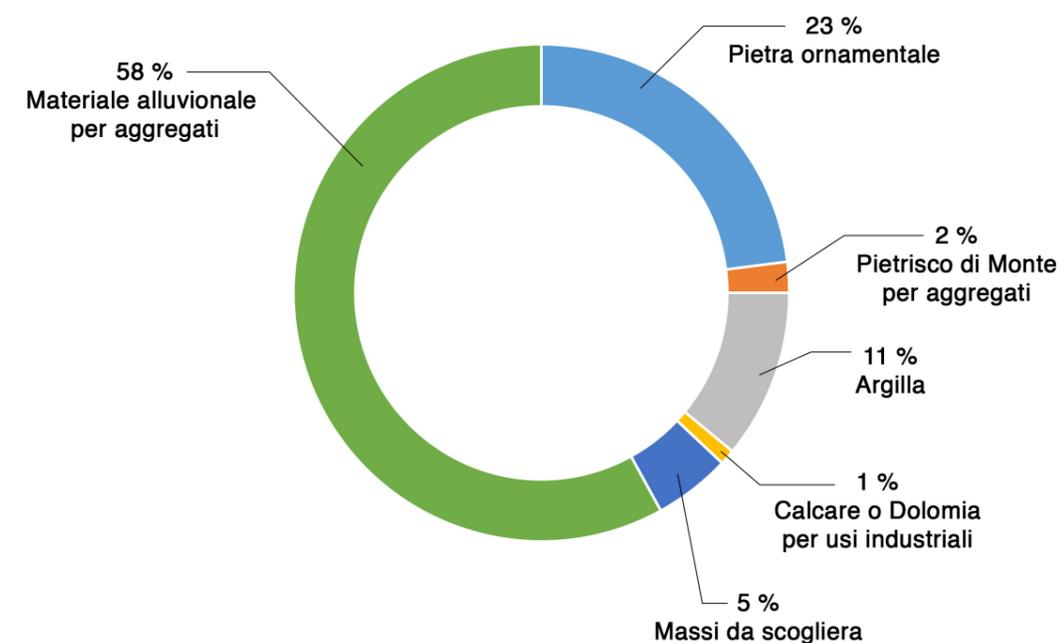


Figura 8: Siti estrattivi della provincia di Torino: suddivisione per tipologia di materiale estratto, PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, rielaborazione personale

Beni culturali e Paesaggistici che elenca i beni culturali riconosciuti e quindi degni di tutela e conseguente valorizzazione, tra cui troviamo appunto anche "le tipologie di architettura rurale aventi interesse storico od etnoantropologico quali testimonianze dell'economia rurale tradizionale"<sup>ii</sup>.

Oltre alle cave ricadenti in aree protette esistono le cave di prestito, finalizzate al reperimento di materiale per la realizzazione di opere pubbliche comprese in accordo Stato-Regioni, differenziate appositamente per snellire l'iter amministrativo e facilitare l'attività estrattiva.

Compito del DPAE (documento di pianificazione delle attività estrattive) è quella di definire il bacino estrattivo ovvero quella parte di "ambito

geogiacimentologico"<sup>iii</sup> interessata dalla presenza di un ingente numero di cave attive o inattive, che anche storicamente è stata riconosciuta come area di interesse estrattivo e avente al suo interno un carattere geomorfologico omogeneo.

All'interno del DPAE sono stati individuati, nel territorio provinciale, 7 bacini estrattivi per inerti da calcestruzzo, conglomerati bituminosi e tout-venant per riempimenti e sottofondi, 3 bacini per pietre ornamentali e 2 per materiali per uso industriale. Villastellone rientra nel bacino estrattivo del Po-Sud Torino.

i D.L. 22 gennaio 2004, n. 10 in materia di "Codice dei beni culturali e del paesaggio"

ii Porzione di territorio in cui è presente un giacimento

N° di cave	Situazione amministrativa
85	Cave attive
16	Cave in attesa <sup>(1)</sup>
220	Cave inattive

(1) nota: per cave in ATTESA si intendono quelle per cui è in corso di istruttoria provinciale o quelle per cui, avendo completato l'istruttoria provinciale, si è in attesa di autorizzazione Comunale.

Tabella 2: Situazione amministrativa al 31/12/2005, risultante dalla BDAE, delle cave in Provincia di Torino, PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, dicembre 2006, Torino

Materiale estratto	Cave Attive	Cave in Attesa	Cave Inattive	Totale
Argilla	8	5	15	28
Calcare per usi industriali	-	-	4	4
Detrito di falda per Massi da scogliera	4	1	3	8
Materiale alluvionale per aggregati	41	6	152	199
Gneiss, Marmo e Diorite per Pietra ornamentale	30	4	27	61
Pietrisco di monte per aggregati	1	-	5	6
Discarica Consortile	1	-	-	1
Altro	-	-	14	14

Tabella 3: Situazione amministrativa al 31/12/2005, risultante dalla BDAE, delle cave in Provincia di Torino, PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, dicembre 2006, Torino

Le tabelle soprastanti riportano il censimento delle cave effettuato a dicembre del 2005.

I materiali di seconda categoria, ovvero aggregati o inerti, rocce ornamentali e minerali industriali, presenti all'interno della provincia di Torino si dividono per peculiarità, volumetria e vincoli geologico-tecnici.

### AGGREGATI

Il territorio di pianura è stato suddiviso in quattro aree omogenee, per quanto riguarda la litologia e la geologia, per una più organica trattazione degli aspetti più caratterizzanti i depositi quaternari.

Nel **settore di pianura a Sud di Torino** affiorano depositi attribuiti all'intervallo temporale Pleistocene medio - Olocene. In

particolare si presentano prevalentemente sedimenti ghiaiosi sabbiosi, con matrice sabbioso-limoso (ghiaia dal 25% al 90% con diametri fino a 30-40 cm).

Essi si rinvengono a Sud di Moncalieri in un orizzonte pressoché continuo dai 25-30 m dal piano di campagna, con spessori crescenti verso Sud, che possono superare i 70 m nell'area di Carignano - Carmagnola.

All'interno di tale orizzonte sono localmente presenti intercalazioni limoso-argillose, talora torbose, frequentemente a profondità dell'ordine dei 40-50 m dal piano di campagna.

In generale, i sedimenti Pleistocenici sono ricoperti, per uno spessore di 30-50 m, da depositi ascrivibili all'Olocene che li sovrastano con un contatto di tipo erosivo. I depositi recenti si differenziano per il minor grado di alterazione dei ciottoli, la scarsa matrice sabbiosa, la granulometria

meno grossolana dei ciottoli (con diametri fino a 6-10 cm) e la frequente intercalazione di livelli limoso-argillosi. A loro volta tali depositi sono ricoperti dai sedimenti prevalentemente sabbiosi, attualmente trasportati dai corsi d'acqua. Inoltre, nel settore a destra e sinistra, rispetto alla pianura del Po (fra esso e le zone prealpine da un lato ed i rilievi collinari dall'altro), affiorano estesamente depositi terrazzati con ghiaie a ciottoli alterati, in abbondante matrice fine e ricoperti da paleosuoli argillificati e sedimenti limosi, talora di rilevante potenza (altopiano di Poirino, terrazzo mindeliano di Piossasco).

Nel **settore di pianura del Po a Nord e ad Est** di Torino i depositi alluvionali costituiscono un insieme di conoidi il cui apice è posto allo sbocco dei principali corsi d'acqua di provenienza alpina, terrazzate ed in parte sospese rispetto agli alvei attuali, si fa riferimento a quelle della Dora Riparia, della Stura di Lanzo, del T. Orco e della Dora Baltea.

La gran parte di questo sistema di conoidi è costituita da alluvioni fluvio-glaciali attribuite al Pleistocene superiore-Olocene inferiore, caratterizzate dalla presenza di ghiaie prevalenti in matrice sabbiosa, scarsa alterazione e cementazione e potenza compresa fra oltre i 40 m (nelle parti apicali) ed i 10 m (nelle zone più distali).

Le alluvioni recenti ed attuali del Po ricoprono in parte le zone più distali di queste conoidi ed in parte i sedimenti pre-quaternari del sistema collinare, ampiamente affiorante in destra orografica del Po, con spessori normalmente non superiori ai 10 m.

I depositi glaciali che si riscontrano negli **anfiteatri morenici** affioranti estesamente allo sbocco delle due vallate alpine principali della provincia (anfiteatri di Rivoli e di Ivrea), sono caratterizzati dalla consueta eterogeneità litologica

<sup>i</sup> Complesso di morene che un ghiacciaio deposita ad archi concentrici lungo la sua fronte, quando si ritira a fasi intermittenti per ragioni climatiche

e granulometrica, con abbondanza di materiali fini, locali lenti di limi ed argille torbose e una frazione ghiaiosa spesso interessata da incipienti fenomeni di alterazione, il tutto ricoperto da un paleosuolo rossastro potente in media 2-3 m, spesso parzialmente dilavato dall'erosione. Si tratta pertanto, di una formazione di scarso interesse, allo stato attuale, per l'insediamento di attività estrattive di aggregati lapidei, anche se localmente furono e potranno essere sfruttate soprattutto per usi locali.

Le **aree intravallive** dell'area alpina possiedono, per lunghi tratti, una piana alluvionale da sempre sfruttata per l'approvvigionamento di aggregati. Dato il scarso trasporto subito dai sedimenti, essi spesso risentono direttamente dei terreni di origine e pertanto possono variare notevolmente per forma, dimensione e qualità, passando da materiali ottimi, a depositi praticamente inutilizzabili. Oggigiorno i vincoli e l'intenso sfruttamento urbanistico rendono quasi del tutto impraticabili soluzioni di approvvigionamenti significativi in questi contesti, anche se restano numerose tracce delle attività passate. Di contro, si sta sviluppando un certo interesse, soprattutto per il reperimento di massi da scogliera, per le grosse conoidi detritiche grossolane (soprattutto nelle valli del canavese) che, se sfruttate in modo corretto possono rappresentare interessanti alternative alle altre classiche coltivazioni, soprattutto se viste in ambito locale.

### PIETRE ORNAMENTALI

La collina di Torino e del Monferrato (ad est) del territorio provinciale vede affiorare quasi solo rocce sedimentarie terziarie (argille, marne, calcari più o meno marnosi, sabbie e arenarie variamente cementate, conglomerati) che soltanto raramente, nei secoli passati, hanno dato luogo ad attività estrattive per pietre da decorazione; di tale

attività restano al giorno d'oggi solo scarse tracce storiche, tra cui la più famosa è senza dubbio il Marmo di Gassino.

La zona delle Alpi Occidentali (ad ovest) del territorio provinciale comprende diversi litotipi e formazioni molto diverse fra loro; in questa zona troviamo un consistente numero di cave attive e qui in passato venivano coltivati una notevole varietà di litotipi, che in passato hanno avuto un certo utilizzo, tanto che la distribuzione delle cave storiche copre praticamente l'intero territorio montano.

#### MATERIALI PER USO INDUSTRIALE

Nella provincia di Torino due sono le tipologie di materie di seconda categoria ad uso industriale (le argille per laterizi e, in maniera molto subordinata, le materie prime per cemento), anche se in passato furono fiorenti anche le produzioni di gessi, mentre limitate furono le cave per la produzione di sabbie quarzose.

#### MATERIALI ARGILLOSI PER CERAMICHE E LATERIZI

La prima tipologia di materiali riguarda prevalentemente i materiali argillosi per ceramiche e laterizi, dove i principali giacimenti argillosi per la produzione di laterizi si collocano all'interno della pianura del Po e dei suoi affluenti di sinistra, ovvero della zona dell'altopiano di Poirino e della Collina di Torino.

Le coperture quaternarie hanno dato origine ai depositi argillosi che affiorano nella provincia di Torino, esse ricoprono le alluvioni fluvio-glaciali rissiane terrazzate che costituiscono la parte di pianura compresa fra i margini pedemontani ed il corso del fiume Po, ed ai sedimenti del Quaternario antico dell'altopiano di Poirino.

I depositi di copertura pedogenetica

quaternaria sono costituiti dai prodotti dell'alterazione delle alluvioni ghiaioso-sabbiose pleistoceniche, che in alcuni casi costituiscono coperture continue con potenze superiori ai 5 m ed in altri affiorano in modo discontinuo e con spessori ridotti. Le aree in cui questa copertura è più estesa sono quelle poste in corrispondenza delle conoidi fluvio-glaciali della Dora Riparia, Stura di Lanzo, nell'area canavesana della Vauda (Lombardore, Front) in destra Malone e del terrazzo in sinistra Orco (Fogliazzo, S. Giusto).

Si tratta normalmente di depositi di argille e limi argillosi rosso-bruno con presenza di ossidi di manganese, che in alcune zone (Torrazza Piemonte) possono essere ricoperte da argille sabbiose fluviali di colore giallo.

Nelle zone pedemontane ed in particolare in prossimità di Bricherasio e Castellamonte, infine, le argille eluviali di copertura sono sovrapposte a sedimenti plio-pleistocenici in facies villafranchiana, in cui i processi di alterazione hanno intensamente caolinizzato i conglomerati gneissici, producendo locali concentrazioni di argille ad elevato contenuto in quarzo e caolinite, anticamente utilizzati nell'industria del refrattario e del grès.

I depositi fluviali pleistocenici sono costituiti da sedimenti del Quaternario antico a granulometria prevalentemente fine, con alternanza di livelli siltosi ed argillosi, ognuno con una profondità di 4-5 m, profondamente interessati da fenomeni pedogenetici che hanno interessato questa sequenza a partire dal Pleistocene medio. Essi affiorano con continuità su un'area di circa 400 km<sup>2</sup> (Cambiano, Poirino, Riva di Chieri), ricoprendo i sottostanti depositi sabbioso-ghiaiosi in facies villafranchiana, a loro volta profondamente alterati.

Le argille dei livelli superiori presentano distribuzioni granulometriche variabili, con contenuto in argilla compreso fra 50% e 90%, mentre la frazione limosa varia fra il 40% ed il 10%; i carbonati sono generalmente assenti e fra i minerali delle argille talora è presente in discrete

nome tradizionale	nome petrograf.	Luogo di origine	impieghi	
			Periodo	esempi signif.
Rosso Pantheon	granito	Belmonte, Valperga, Prascorsano	'900	Hotel Principi di Piemonte, Torino
Verde Cesana	oficalce	Cesana Torinese	'900	Politecnico Torino
Verde Rochemolles	oficalce	Bardonec-chia	'900	Stazione Ferroviaria Bardonecchia
Verde Susa	oficalce	Falcemagna (Bussoleno)	Medioevo, '700	Fonte battesimale Cattedrale di Susa
Marmo di Pont	marmo	Fondiglie (Pont Canavese)	'700 - '800	Statuaria sabauda
Marmo di Perrero o di Faetto	marmo	Cima di Roccabianca	'500 - '600	Santuario Consolata a Torino
Marmo di Salza di Pinerolo	Marmo	Rocca Corba	'800	Cancellata Piazzetta Reale a Torino
Marmo di Foresto	Marmo dolomitico	Foresto (Bussoleno)	Epoca romana - '700	Facciata del Duomo di Torino
Marmo di Chianocco	Marmo	Chianocco (Bussoleno)	Epoca romana - '700	Facciata di Palazzo Madama a Torino
Breccia di Melezet	Marmo	Melezet (Bardonec-chia)	'400 - '500, '900	Fonte battesimale chiesa di Beaulard
Calcere	Calcere marnoso	Marcorengo, Monteu da Po, Lauriano	Epoca romana., Medioevo	Chiese romaniche del Monferrato
Pietra di Gassino	Calcere fossilifero	Gassino, Bussolino di Gassino	'600 - '800	Esterni Basilica di Superga
Pietra di Vaie	Gneiss	Vaie	Epoca romana., Medioevo, '700 '900	Colonne Chiesa S.Cristina a Torino
Pietra di Villarfochiardo	Gneiss	Villarfochiardo	'800, '900	Ponte Umberto I a Torino
Pietra di Borgone	Gneiss	Borgone di Susa	'800, '900	Marcia piedi a Torino
Pietra di Cumiana	Gneiss	Cumiana	'600, '700	Palazzo Carignano a Torino
Pietra di Malanaggio	Gneiss	Porte (val Chisone)	'800	Chiesa della Gran Madre a Torino
Pietra di Pont	Calce-micascisto	Pont Canavese	'800	

Tabella 4: Elenco delle pietre ornamentali della Provincia di Torino storiche, PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, dicembre 2006, Torino

percentuali la smectite<sup>i</sup>.

I depositi terziari sono costituiti prevalentemente da alternanze di sedimenti arenacei e marnosi, di cui quelli che risultano potenzialmente più idonei per l'escavazione appartengono alla Formazione delle Marne di Antognola, mentre meno idonei per l'elevato contenuto in carbonati, anche se in passato oggetto di coltivazione, risultano essere i sedimenti riferiti alla Formazione delle Marne di Gassino ed al Complesso di Termo Forà.

<sup>i</sup> Miscela di argilla a elevata plasticità

#### MATERIALI SOLFATICI PER GESSO

Le rocce carbonatiche Triassiche, composte da carniole<sup>ii</sup> con associate lenti anidritiche e gessose, e la Formazione gessoso-solfifera di età Miocenica costituiscono in Piemonte i principali apporti per il gesso naturale, ovvero il solfato di calcio biidrato.

Le rocce carbonatiche Triassiche affiorano in Alta Valle di Susa mentre le altre si dispongono in una fascia che attraversa, da Ovest ad Est, l'intero Piemonte centrale, passando prima da Pecetto a Montalberto.

<sup>ii</sup> Roccia calcarea o dolomitica molto porosa

I giacimenti Triassici nonostante la loro ottima qualità che si riferisce all'ottimo grado di bianco e alla scarsa presenza di inquinanti tipo ossidi o minerali argillosi, sono attualmente tutti abbandonati poiché scarsamente accessibili, per la loro notevole percentuale sterile di natura carbonatica o anidritica e la loro scarsa cubatura.

Mentre i giacimenti di formazione gessoso solfifera dei Bacini del Basso Monferrato forniscono la totalità della produzione piemontese di gesso, con cave attualmente attive di cui si segnala la buona accessibilità ai siti di cava e la facile coltivabilità.

### MATERIE PRIME PER CALCE E CEMENTO

In passato vi erano svariate fornaci da calce mentre attualmente, i calcari e le dolomie sono cavati da una sola unità estrattiva e destinati alla produzione di pietrisco.

Si ricordano una serie di cave situate tra Torino e Gassino alimentate principalmente dai banchi di calcare della formazione di Gassino e da rocce calcareo-marnarose. Nella zona alpina vennero invece coltivate la fascia calcareo-dolomitica basale dei calcescisti della Zona Piemontese Esterna, porzioni calcaree triassiche della Zona del Canavese, marmi intercalati nella Zona Sesia.

### GIACIMENTI DI SABBIE SILICEE

Non esistono nell'ambito Torinese affioramenti coltivati di sabbie silicee o affioramenti coltivati di quarziti Triassiche. Sono però da segnalare, anche per il loro interesse storico e la particolare qualità del materiale, la presenza di numerose lenti e filoni di quarzo che affiorano estesamente in quest'ambito; attualmente le coltivazioni sono tutte abbandonate, o per esaurimento del giacimento o per le difficoltà di accesso e le modeste riserve.

Questi sono i giacimenti presenti sul territorio piemontese che per prossimità avranno fornito i materiali per la creazione dei laterizi, per la composizione delle malte e delle calce che hanno dato forma agli edificati, tra cui compreso il Mulino di Borgo Cornalese.

### I LATERIZI

I laterizi sono largamente utilizzati in tutto il costruito di Borgo Cornalese, i muri portanti e i tramezzi di cui è costituito il complesso, i manti di copertura siano essi costituiti da coppi o da tegole marsigliesi sono in laterizio, gli orizzontamenti, sia piani che voltati sono in laterizio.

I comignoli di corte A e corte B, come quelli del mulino sono in laterizio, come anche la struttura portante della chiesa presente.

Alcuni degli stessi intonaci all'interno delle corti hanno rilevato essere costituiti da polveri di cocchio pesto<sup>i</sup>. I mattoni si presentano di svariate forme, spesso irregolari.

Nei pressi di Fortepasso, una località di Villastellone, vennero ritrovati dei resti di una fornace per la produzione di laterizi risalente all'epoca romana: si suppone pertanto che i mattoni presenti nelle aree limitrofe provengano da questo forno.

<sup>i</sup> V. Petiti, *Malte storiche di Borgo Cornalese: caratterizzazione dei materiali e prove di confezionamento di malte compatibili*, tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2014/2015, relatore P. Palmero, correlatore A. Doleatto



Figura 9: Fornace per laterizi di epoca romana, Villastellone (TO). loc. Cascina Fortepasso, Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte, p.10, Torino, 1991

Il ritrovamento avvenne nel 1981, a seguito di uno sbancamento di un rilievo collinare sono riaffiorati dal suolo dei resti di una fornace di età romana, l'anno seguente venne svolta la prima campagna di scavo sul sito. Ciò che emerse da tale operazione fu il ritrovamento e il successivo studio di due strutture relative a due forni per la cottura di laterizi. Entrambi i forni si presentano a pianta rettangolare ed interamente costruiti in mattoni crudi, con muri perimetrali di 70/80 cm. All'interno di uno stesso forno furono rinvenuti un consistente riempimento di frammenti di tegole e coppi<sup>i</sup>. Venne condotta una successiva campagna nell'anno 1989 su finanziamento e ordine del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali. La zona è caratterizzata dalla stretta vicinanza con il fiume Po, poiché si trova sulla sua sponda orientale, e assieme al castello fortificato di Fortepasso, posseduto fino al 1601 dai Costa di Arignano e Polonghera vassalli

<sup>i</sup> Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte, 2, pp. 183-184, Torino, 1983

dei Savoia, doveva assieme a Mal Pertusio costituire un argine del fiume.

Questo rinforza l'ipotesi della collocazione della fornace non solo per la vicinanza di cave di argilla della zona, ma evidentemente anche per lo sfruttamento del corso d'acqua per il trasporto e della produzione per la via navigabile<sup>ii</sup>. Pur non essendo facilmente individuabile il lasso di tempo, l'attività riprese successivamente, "in quanto si è riscontrato un consistente taglio obliquo, con tracce di combustione delle pareti e un residuo di calce sul fondo"<sup>iii</sup> anche se questo non è sufficiente per supporre un'attività nelle immediate vicinanze per la produzione di calce.

Alla luce di questi scavi archeologici avvenuti sul finire della seconda metà del '900 si può supporre che la probabile totalità degli elementi costituiti in argilla presenti all'interno del territorio comunale Villastellonese risalgano alla produzione dei forni per mattoni di Fortepasso.

<sup>ii</sup> Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte, 10, pp. 187-190, Torino, 1991

<sup>iii</sup> Ibidem

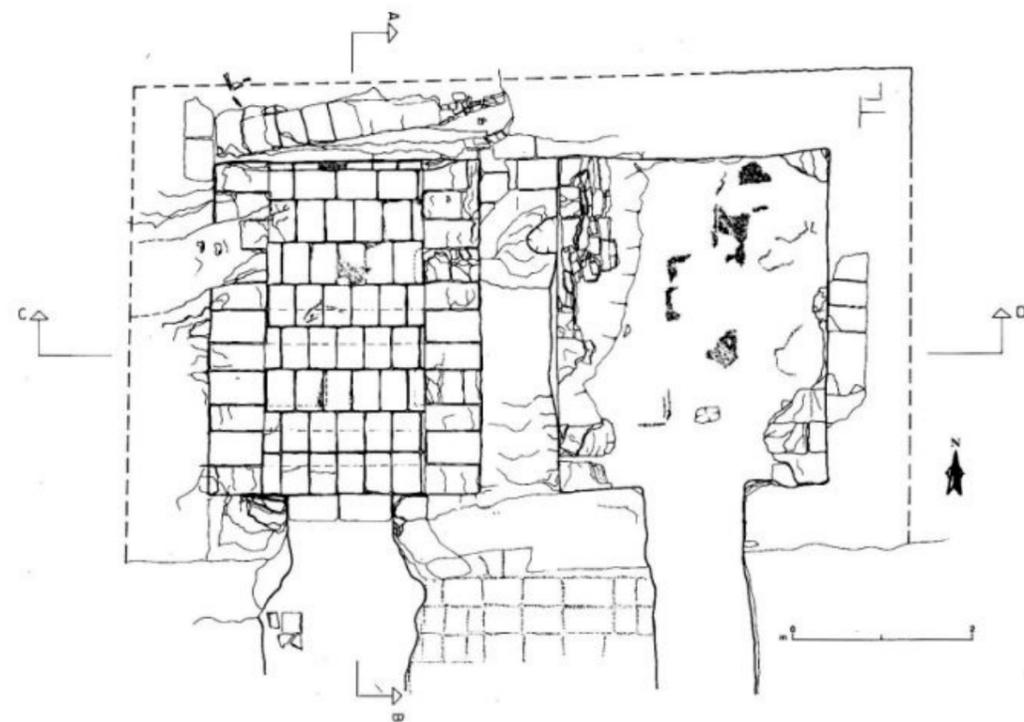


Figura 10: Fornace per laterizi di epoca romana. Planimetria dei forni. Villastellone (TO), località Cascina Fortepasso, Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte, 10, Torino, 1991

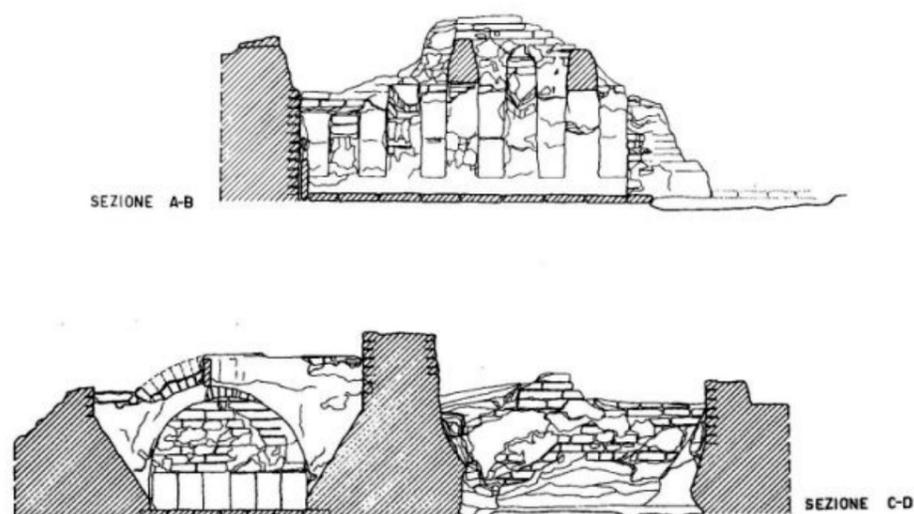


Figura 11: Fornace per laterizi di epoca romana. Sezioni dei forni. Villastellone (TO), località Cascina Fortepasso, Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte, 10, Torino, 1991

Alla luce di questi scavi archeologici avvenuti sul finire della seconda metà del '900 si può supporre che la probabile totalità degli elementi costituiti in argilla presenti all'interno del territorio comunale Villastellonese risalgano alla produzione dei forni per mattoni di Fortepasso.

## 1.6 Vincoli che gravano sull'area

Borgo Cornalese ricade nelle aree soggette a Vincolo Paesaggistico. Risulta così citato ai sensi del D.M. 01/08/85 con: "Dichiarazione di notevole interesse pubblico del Po Morto e Borgo Cornalese sita nei comuni di Carignano e Villastellone", quale ambito di interesse paesaggistico, richiamato nel Piano Paesaggistico Regionale, ciò pone la nostra area di interesse in una condizione di estrema sensibilità dove molte scelte sia urbane che architettoniche sono limitate. La dichiarazione di notevole interesse pubblico è il primo mezzo di cui si serve la normativa per la tutela del paesaggio. Possono presentare il "notevole interesse pubblico" previsto dall'articolo 136 del Codice dei beni culturali e paesaggistici le aree o i complessi di immobili con cospicui caratteri di bellezza naturale, singolarità geologica o memoria storica, le ville, i giardini e parchi che si distinguono per la loro non comune bellezza, i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, inclusi i centri e i nuclei storici, le bellezze panoramiche e i punti di vista o belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si goda lo spettacolo di quelle bellezze<sup>i</sup>.

Borgo Cornalese con il suo costruito, le due corti, il mulino, la Chiesa e la Villa de Maistre sono caratterizzate nel Piano Regolatore Generale con la dicitura RS

<sup>i</sup> Articolo 136, PARTE TERZA - Beni paesaggistici, Codice dei beni culturali e paesaggistici

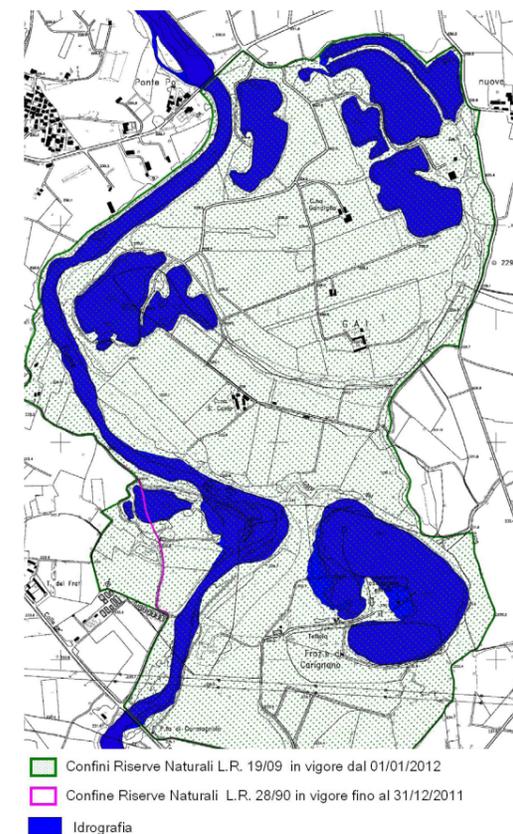


Figura 12: Area del Po Morto, modifiche in vigore dal 01/01/2012 delle Riserve Naturali del parco del Po torinese: Riserva del Po Morto

che sta ad indicare le aree di interesse architettonico, storico e culturale considerate quindi come emergenze architettoniche di rilevante interesse e relative pertinenze, che ne costituiscono parte integrante<sup>ii</sup>.

In queste aree vi sono delle precise indicazioni a cui attenersi nel caso in cui si voglia destinare un complesso a una nuova funzione d'uso, è consentito infatti oltre al mantenimento delle destinazioni d'uso esistenti, anche l'inserimento di nuove attività sociali, culturali, sportive, ricreative, residenze temporanee ed attività turistico-ricettive, coi servizi, le attrezzature e le infrastrutture ad esse connesse, solo

<sup>ii</sup> ARTICOLO 3.7.8: AREE RESIDENZIALI AGRICOLE DI INTERESSE ARCHITETTONICO, STORICO, CULTURALE (RS), Norme Tecniche

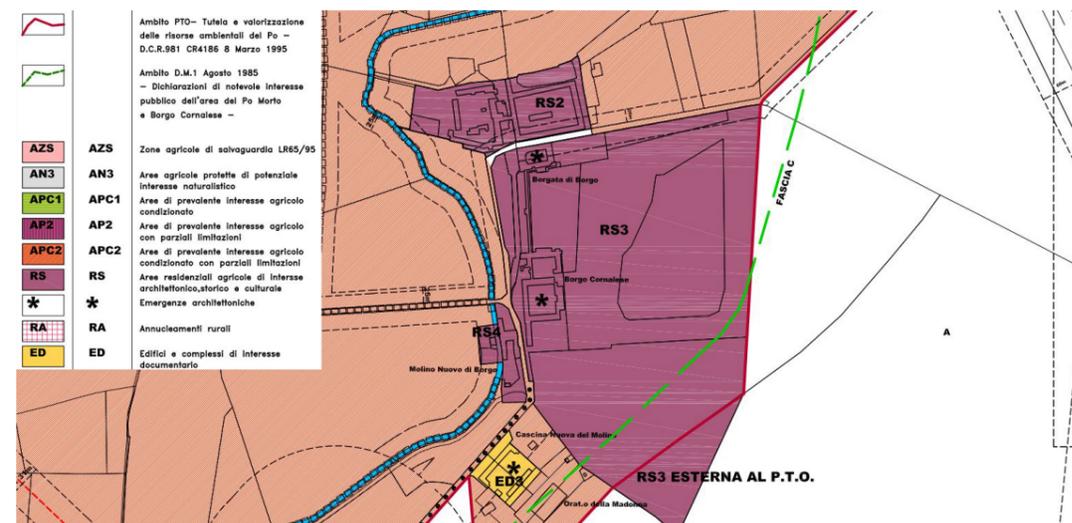


Figura 13: Stralcio di P.R.G.C., Destinazioni d'uso del suolo, aree normative

se compatibili con la conservazione e coerenti con l'impianto originario; inoltre è consentito il recupero della residenza, rurale e non, di volumi esistenti e non utilizzati, infine sono consentite attività finalizzate alla produzione di energie alternative.

All'interno di questa analisi si evidenziano anche gli edifici contrassegnati con l'asterisco che nel nostro complesso di analisi interessano solamente la chiesa e la villa de Maistre, il che indica emergenze architettoniche con specifiche prescrizioni di tutela, infatti la normativa vigente ne consente il solo restauro conservativo. Da marzo del 2016 il parco del Po con l'ansa del Po Morto fino a Borgo Cornalese riceve, durante il 4° congresso mondiale del MaB (Man and Biosphere) il riconoscimento dell'UNESCO quale "Riserva di Biosfera".

Il Programma MaB UNESCO individua quei territori, chiamati le Riserve della Biosfera, "che rappresentano un modello di convivenza armonica uomo-ambiente e che offrono, attraverso l'integrazione della biodiversità e della conservazione dei servizi ecosistemici nelle strategie economiche locali, soluzioni per le sfide future dell'umanità".

Le riserve di Biosfera sono simili alle aree protette ma gli obiettivi vanno oltre alla tutela e alla valorizzazione, infatti gli obiettivi di questo programma vanno oltre, infatti vengono intese come veri e propri "laboratori territoriali"<sup>ii</sup>, per consentire un controllo duraturo della biodiversità, generata dall'interazione continua tra ambiente e sistema antropologico, e al tempo stesso di consentire uno sviluppo socio-economico.

Caratterizzante per le Riserve di Biosfera è la metodologia di approccio all'area che non deve implementare risorse economiche bensì puntare sulla gestione delle risorse del territorio in maniera sostenibile in una visione etico civile e culturale. In quest'ottica si inserisce il progetto di rifunzionalizzazione del Mulino di Borgo, oggetto della tesi.

i Programma Man and Biosphere UNESCO-Linee

guida nazionali per le riserve di Biosfera

ii Ibidem

## 2. Inquadramento storico di Borgo Cornalese



Figura 1: Pianta generale di Borgo Cornalese, rielaborazione personale

### 2.1 Introduzione

La prima impressione che ha chi si avvicina a questo complesso architettonico è quello di trovarsi di fronte a un agglomerato rurale tipico piemontese in uno stato di degrado avanzato a causa dello stato di abbandono in cui versa. Il complesso è costituito da due corti, le chiameremo corte A e corte B, la prima è disabitata da più tempo il che ne aggrava maggiormente il degrado, un mulino, la Chiesa della Madonna dei dolori, di stampo neoclassico e costruita dall'architetto Benedetto Brunati<sup>i</sup> nel 1850 e la Villa de Maistre.

Borgo Cornalese ha una storia intricata e complessa che si dipana lentamente e mai del tutto tramite attenti studi della cartografia esistente fin da epoche remote, degli scritti storici e tramite caute e ripetute analisi in loco, che hanno mostrato gradualmente la bellezza dell'edificio.

A partire dal XVIII secolo il borgo inizia ad essere considerato un complesso di costruzioni a supporto della villa con funzioni residenziali, di tipo agricolo e produttivo.

i Architetto e ingegnere Italiano, allievo di Ferdinando Bonsignore

Prima di passare a questa destinazione d'uso gli edificati avevano una vocazione completamente differente, lo si può notare dalla presenza di elementi architettonici di pregio all'interno di destinazioni non consone, i locali adibiti a stalle sono completamente voltati, con elementi costruttivi troppo importanti e troppo economicamente impegnativi per ospitare animali, seppur essi di pregio; troviamo dettagli costruttivi di un'architettura ricercata e di epoca medioevale; cantine con volte e pavimenti tipici del '500; murature stilate e tracce di affreschi; soffitti a cassettoni; finestre a bifore, ormai tamponate; tipologie edilizie riconducibili a castelli quattrocenteschi.

Tutte queste osservazioni sono state di fondamentale importanza per guidare la ricerca storica, e per insinuare il dubbio di uno studio che doveva essere più approfondito, evitando di soffermarsi alle impressioni iniziali.

## 2.2 Le vicende storiche: Transazioni, successioni

Le vicende che hanno caratterizzato questi luoghi sono particolarmente complesse e non lineari, basti pensare che il territorio di Borgo Cornalese è stato annesso come frazione al Comune di Villastellone solo in epoca recente (1792)<sup>i</sup>, mentre la sua storia più antica è legata soprattutto al comune di Chieri ed al marchesato del Monferrato. Motivi che hanno condotto la ricerca di archivio a spostarsi tra comuni limitrofi per portare alla luce più materiale possibile.

I documenti analizzati all'Archivio di Stato di Torino, fanno emergere una grande indipendenza del luogo, legato sì al marchesato del Monferrato, ma anche alle vicende di Carmagnola, narrate da Raffaello Menochio nel suo scritto<sup>ii</sup> *Memorie storiche della Città di Carmagnola*, pubblicato nel 1890.

Questi comuni sono stati la chiave di ricerca iniziale tramite cui si è avviata l'indagine storica, a seguire lo studio degli scrittori che ne hanno narrato le vicende storiche.

A complicare il quadro storico sono le diverse denominazioni con cui viene chiamato il Borgo all'interno della documentazione pervenuta, troviamo infatti diverse accezioni del medesimo: "Borgo di Borgo", "Bulgari Cornalese"<sup>iii</sup>, "Feudo di Borgo", "Borgaro Cornalese"<sup>iv</sup>

i Casalis, G., *Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli stati di S. M. il Re di Sardegna*, Volume IV, Torino 1837

ii Menochio, R., *Memorie storiche della Città di Carmagnola*, - ed. L. Roux e C. Torino 1890

iii Alasia, A., *Storia e cronaca di Villastellone e dintorni, dalle Origini ai tempi moderni*, pp 12, Ed. Grafiche Freddo, Poirino (Torino), 1990

iv Manno, A., *Dizionario feudale degli antichi stati continentali della monarchia di Savoia (Savoia, Aosta, Piemonte, Monferrato, Saluzzo, Novara, Lomellina, Nizza, Oneglia; 1720-1797*, Stabilimento Giuseppe Cevelli, pp.30, Firenze 1895

e "Bulgaro"<sup>v</sup>.

Secondo lo scrittore Alasia<sup>vi</sup>, Borgo Cornalese fu fondato intorno all'anno mille da Ungari e Bulgari, che arrivarono nel territorio Chierese costruendo castelli a scopo difensivo, assieme a mura e villaggi consolidando al loro interno attività come l'agricoltura, l'artigianato, il commercio del sale, del ferro, del vasellame, dei tessuti e delle pelli. Sorse nello stesso lasso di tempo Villanova Caramagna (Carmagnola), le cui evoluzioni si intrecciarono spesso con Borgo Cornalese.

Consultando il *Dizionario feudale degli Antichi Sardi e della Lombardia*<sup>vii</sup> possiamo osservare la diversità dei possessori, proprietari e feudatari susseguites. S. Salvatore di Torino, investito dall'imperatore Arrigo II, possedeva già nel 1047 i terreni di Borgo Cornalese voce confermata anche dal Casalis nel *Dizionario Geografico e statistico*<sup>viii</sup> che delinea Chieri e le "vicine terre e castella di Alegnano, Bulgaro, Pavarolo, Paciano e Santena" appartenenti ai "Canonici di Torino detti del Salvatore" consegnatoli dallo stesso Imperatore Arrigo II.

Ben poco sappiamo delle vicende precedenti ma abbiamo una data certa confermata da due diverse documentazioni, il 1047, data in cui si ha la certezza dell'esistenza del Borgo.

Si è quindi effettuata una ricerca che volesse delineare i possessori del complesso ma a

v G. Casalis, op. citata nota i, 1837

vi Scrittore Villastellone del XX secolo

vii Guasco, F., *Dizionario feudale degli antichi Stati Sardi e della Lombardia (dall'epoca carolingia ai nostri tempi 704-1909)*, Pinerolo, Tipografia già Chiantore-Mascarelli, 1911, 5 voll., pp. Compl. XVI-2370, Biblioteca della società storica subalpina, LIV-LVIII

viii Casalis, G., *Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli stati di S. M. il Re di Sardegna*, Volume IV, Torino 1837

causa dell'estrema antichità delle fonti di prima mano spesso si riscontrano lacune o mancanze nell'analisi portando quindi ad un'analisi incerta o superficiale. Anche se questa fonte è stata decisiva per avere una data di partenza che delineasse almeno a grandi linee le origini.

Risulta difficile ricostruire le vicende sia per i continui trasferimenti tra i proprietari sia perché questi territori furono teatro di numerose battaglie.

Verso la fine del XII secolo il Marchesato di Saluzzo<sup>i</sup>, possessore di Carmagnola per asse ereditario, acquistò militarmente il contado vicino ed erige un maniero nominato "Fortis Passus" (oggi Fortepasso) come difesa contro i Savoia nel 1216.

Nelle *Memorie storiche della Città di Carmagnola* si legge che Manfredi firma nel 1224 un trattato di pace in cui cede le terre di Carmagnola, con la sua giurisdizione, al comune di Asti, comprendendo i territori di San Martino dello Stellone, Fortepasso e Borgo Cornalese.

Nel frattempo il Comune di Chieri crebbe, divenendo una potente repubblica nel basso medioevo, avviando un commercio prospero che dotò la città di nuove fortificazioni e torri.

Chieri strinse un'alleanza con i Comuni di Asti e i Duchi di Savoia sottomettendo castelli nei dintorni, erse per scopi difensivi una villanova, ovvero un nuovo centro abitato che fungeva da baluardo: il territorio era un'ampia area appartenente ai Templari.

Analizzando la storia di Villastellone<sup>ii</sup>, la cui fondazione si ebbe per opera dei signori di Chieri, si è venuti a conoscenza del fatto che lo spopolamento di Borgo Cornalese si ebbe in concomitanza con la costruzione

i I marchesi di Saluzzo sono i discendenti di Manfredi I, figlio di Ardoino Glabrione (Signore della Marca di Torino)

ii Montanari Pesando, M., *Villaggi nuovi nel Piemonte Medioevale. Due fondazioni chieresi nel secolo XIII: Villastellone Pecetto*, Torino, Deputazione subalpina di storia di patria, pp.180, 1991

della nuova villa, gli abitanti si spostarono così a Villastellone, mantenendo i terreni coltivati presso Borgo Cornalese.

Chieri riservava un interesse particolare per il territorio di Borgo Cornalese perché conteneva un ricetto<sup>iii</sup>.

Guardando con attenzione un edificio sito in corte A, il primo che si trova entrando nella corte sulla destra, possiamo notare un dettaglio di estremo pregio che non ha nulla a che vedere con l'uso attribuitogli dal XVIII secolo in poi.

Si tratta, infatti, di una muratura con giunti stilati che evoca l'immagine di una fortezza di matrice religiosa medioevale.

Un documento del 13 dicembre del 1203 riguarda la vendita di terreni della zona di Villastellone da parte dei Templari al Comune di Chieri.

Solo nel 1245 vengono scavate le fondamenta della prima cinta muraria del villaggio che diverrà Villastellone.

Atto di vendita confermato solo nel 1245 con la transazione che attesta i passaggi dei terreni del Comune di Villastellone, come viene descritto anche dall'Alasia nel suo testo "Storia e cronaca di Villastellone e dintorni, dalle Origini ai tempi moderni", anche se questa pubblicazione venne in seguito giudicata scarna di riferimenti bibliografici poiché troppo incentrata sull'attuale giurisdizione amministrativa di Borgo Cornalese che è connessa a Villastellone solo in tempi relativamente recenti, nel 1792 come ci ricorda il Casalis<sup>iv</sup>.

La "Transazione tra la città di Chieri ed i Cavalieri templari per il fatto di beni e diritti spettanti alla manzione di S. Martino di Stellone", risulta essere tra i primi documenti rinvenuti inerenti alla tematica.

iii Tipologia di architettura medioevale, struttura fortificata protetta all'interno di un paese dove si accumulavano i beni (foraggi, vini, etc.)

iv Casalis, G., *Dizionario geografico storico-statistico-commerciale degli Stati di S. M. il Re di Sardegna*, Ed. Maspero, Marzorati e Comp. vol. lettera V, pag. 477, 1826

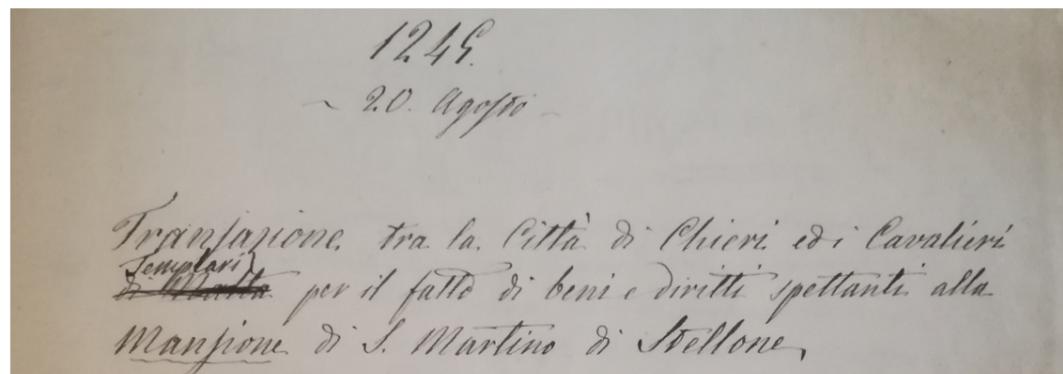


Figura 2: ASTo, Sezioni Corte, Paesi per A e B, Villastellone, mazzo 136, fascicolo 1, 1245

Gli archivi consultati sono colmi di transazioni, donazioni, investiture che attestano i passaggi di proprietà, perché ciò che veniva conservato sono documenti inerenti alle attività economiche, quanto proficua fosse questa o quella attività, ma rari sono i documenti che possano riportare disegni o dettagli di edifici minori. Borgo Cornalese viene annesso al territorio chierese dopo una disputa con Asti nel 1250 (dal 1224 la borgata apparteneva agli astigiani), ed impone al signore del Castello di Borgo di giurare fedeltà a Chieri nel caso di dispute territoriali. Parte dei territori astigiani, compresi gli abitanti, vennero ceduti, stabilendo la desiderata riconciliazione con l'atto del 18 giugno 1260, come descritto da Casalis nel suo dizionario:

*"...omissis...Asti cedette la metà delle regioni che aveva acquistato su Borgaro Cornalesio, e promise di difendere le terre del comune di Chieri, e quanto esso in allora possedeva: Chieri dal canto suo si obbligò di accorrere non solo a difendere Asti, ma di trovarsi anche altrove ad ogni sua impresa e chiamata: cedette inoltre la sua metà di Borgaro, e la metà di Villastellone...omissis..."*

La posizione di Borgo Cornalese è sempre stata ottimale e ambita poiché controlla l'accesso dalle Alpi, sia dal confine ligure che da quello nord-ovest, è una zona pianeggiante ricca d'acqua ottimale per

i Casalis, G., op. citata, 1837

attività come l'agricoltura e la pastorizia, si colloca sull'antica via del sale e l'intera zona è al di fuori delle aree a rischio esondazione, cosa confermata anche da recenti studi.

Si colloca inoltre su un lieve altipiano, generato da un dislivello di circa 8 metri, questa differenza di quota doveva essere di gran lunga maggiore nel passato.

Borgo Cornalese non è un conglomerato edilizio a sé stante ma faceva parte di un complesso di cascine più ampio, distribuito sul territorio limitrofo che si estendeva tra il comune di Villastellone e Carmagnola, comprendendo quindi la cascina di Fortepasso, quella di Malpertusio, oggi denominata Cascina Nuova, e di Vai di Cosso, che oggi prende il nome di Val Corso.

Si tratta di residenze signorili medievali fortificate, diffuse nel periodo dei liberi comuni, sorta di costruzioni protette, impiegate sia in ambito rurale, per ospitare i prodotti agricoli e proteggerli da furti ed agenti atmosferici, con al contempo lo scopo difensivo del territorio.

In alcune cartografie la Borgata viene citata come un castello, rimarcando l'importanza dell'area non solo per il pregio agricolo, un disegno ritrovato in archivio attesta proprio la sua importanza raffigurando il borgo come un aggregato imponente e di grandezza maggiore rispetto a ciò che vi stava attorno.



Figura 3: Stralcio, AS Carmagnola, Territorialità, Borgo Cornalese e Fortepasso dal 1431 al 1617, Fascicolo 5, Vol. 3, s.d.

In alcune cartografie la Borgata viene citata come un castello, rimarcando l'importanza dell'area non solo per il pregio agricolo, un disegno ritrovato in archivio attesta proprio la sua importanza raffigurando il borgo come un aggregato imponente e di grandezza maggiore rispetto a ciò che vi stava attorno.

Il Borgo, in questo disegno denominato Borgo Saxo, presenta una distinta importanza territoriale, e in questa rappresentazione si possono leggere numerose informazioni significative su tutta l'area, sia dal punto di vista ambientale, geografico che edilizio.

Emerge infatti il "PianAlto" su cui è ubicato Borgo Cornalese, la vegetazione arborea è indicata come di grande rilevanza dal punto di vista dimensionale, la bealera di Borgo è individuata con chiarezza, ad indicarne l'importanza e il fiume Po viene indicato come via di scambio e "strada". Nelle raffigurazioni medievali è di estrema importanza la simbologia, che diviene un veicolo per esprimere concetti, mentre ogni rappresentazione grafica identificava un determinato concetto.

La ricerca storica archivistica venne svolta presso altri Comuni limitrofi, ricordandoci che il mandato di Villastellone appartene

a Carmagnola.

La Donazione fatta da Lorenzo di Borgaro ai monaci di Casanova è il primo documento strettamente pertinente alla tematica di tesi, poiché si parla esplicitamente di una donazione effettuata a favore dei monaci dell'abbazia di Santa Maria di Casanova per potervi costruire una bealera.

I monaci di casanova sono dei monaci cistercensi, che sin dal Medioevo crebbero in importanza e potere sul territorio di Carmagnola.

Molte sono le donazioni di cui godette l'abbazia di Casanova, le cui vicende iniziarono verso la metà del XII secolo, quando i marchesi di Saluzzo donarono terre di loro dominio ai monaci cistercensi. Essi vi si stabilirono e presero a dissodare e bonificare il luogo, in origine ricoperto di paludi e fitti boschi.

A questa prima donazione ne seguirono molte altre, unitamente ad esenzioni e privilegi da parte di Papi e Imperatori, che in breve tempo aumentarono grandemente le proprietà del monastero e insieme ne accrebbero il prestigio e il potere.

Il prestigio che contraddistinse questa

i Casalis, G., *Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli stati di S. M. il Re di Sardegna*, Volume IV, Torino 1837

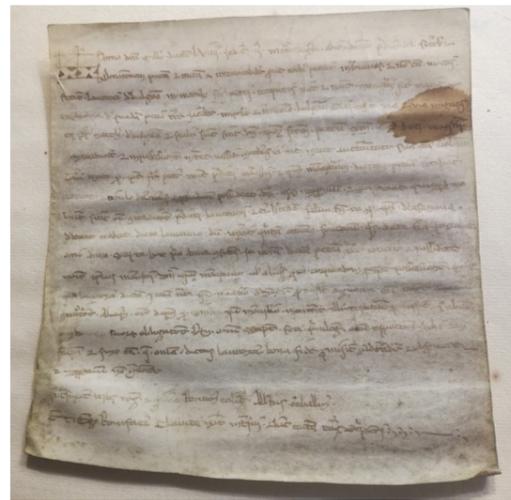


Figura 4: Foto dell'originale donazione conservata all'archivio di Stato di Torino. ASTo, Sezioni Corte, Inventario dell'abbazia di Casanova, mazzo 4, 1281

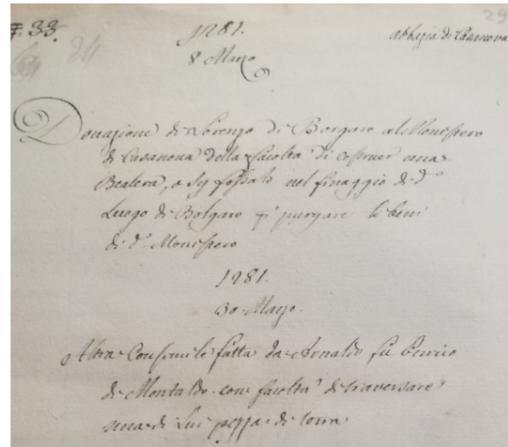


Figura 5: ASTo, Sezioni Corte, Inventario dell'abbazia di Casanova, mazzo 4, 1281

Abbazia influenzò molto gli altri poli di potere presenti sul territorio, tra cui anche Borgo Cornalese.

Il lascito ritrovato in Archivio parla espressamente di una donazione effettuata per poter realizzare una bealera:

"...omissis...Donazione di Lorenzo di Borgaro al monastero di Casanova della facoltà di costruer una Bealera, o su un fossato nel passaggio di detto luogo di Bolgaro...omissis..."<sup>ii</sup>, la data riportata sono **8 e 30 Marzo 1281**, probabile data in cui avvenne la prima edificazione, anche se presumibilmente lignea del mulino, di cui non pervenne nessuna traccia, se non nei documenti di archivio appunto, e su cui negli anni a seguire venne realizzata la nuova edificazione in pietra o muratura. Anche Giuseppe Banchio nel suo scritto Il radicamento patrimoniale dell'abbazia di Casanova parla del medesimo documento, sottolineando che: l'8 e 30 marzo 1281 i monaci Casanova ricevettero in dono da Lorenzo di Borgaro e Arnaldo di Montaldo la facoltà di costruire una bealera attraverso le loro proprietà in Borgo Cornalese: "...omissis...causa eschollandi aquas, sive

ii ASTo, Sezioni Corte, Inventario delle scritture dell'Abbazia di Casanova, mazzo 4, 1281

*inundationem aquarum que sunt (...) in terris et pratis dicti monesterii. Il canale era scavato entro il 1285: fossatum seu bealeriam quod et quam monasterium Casenove fecit, seu facere fecit, per fines Bulgari ad discurrendum seu ad escolandum aquas de laycis sive pratis Casenove...omissis..."*

Con molta probabilità questo documento fa presupporre che sia stato realizzato un mulino poiché la costruzione di un canale artificiale aveva come duplice scopo l'irrigazione dei campi coltivabili e il funzionamento di un'attività molitoria.

All'interno del medesimo faldone, troviamo tutte le donazioni, le permutate, le concessioni avvenute dal XI secolo (la prima risale al 12 luglio 1222) che riguardano il territorio di Borgaro e l'abbazia di Santa Maria di Casanova, rimarcando lo stretto rapporto che sussisteva tra Borgo Cornalese e l'ordine cistercense.

Vi si trova al suo interno anche un testamento, che attesta i passaggi di proprietà, datato 1300 "*Testamento di Orio Tibergano della Villa di San Martino dello Stellone, in cui fra gli altri legati lega alla chiesa di Santa di Casanova 4...terra nelle fini di Borgaro alla Nocetta, ed instituisce i suoi eredi Universali, Oddino, e Manfredo, suoi figliol...omissis...*".

Menochio all'interno del suo scritto ci spiega che nel 1338, precisamente il 2 ottobre, Chieri vende ai fratelli Isnardi signori di Valfanera, il castello di Fortepasso con 650 giornate di terra lavorative.

Qualche anno più tardi Chieri, che allora comprendeva le terre di Borgo e Val di Cosso passa ai marchesi di Saluzzo, per poi ritrovarsi diviso nuovamente nel 1362: in un atto del 6 agosto dello stesso anno il marchese Federico di Saluzzo concede a Domenico Rovero l'investitura del castello di Fortepasso.

La Borgata passa invece nelle mani di Ludovico Costa, tesoriere dei Principi d'Acaia.

i Banchio, G., *Il radicamento patrimoniale dell'abbazia di Casanova*

La famiglia Costa è una famiglia molto potente che ben si instaura nel contesto economico piemontese e Borgo Cornalese, Fortepasso Malpertusio e Val di Cosso appartengono a loro.

Villastellone versava in una situazione drastica, si trovava senza abitanti ed estremamente fragile a causa delle continue guerre e della peste che colpì tutto il Piemonte, fino a giungere al devastante incendio che la spopolò definitivamente.

Di conseguenza per far fronte a queste sventure venne sottoscritto un atto il 14 gennaio 1385 con gli abitanti della val Chisone e Prigelato che dovevano contribuire alla ripopolazione di Villastellone e obbligava così i nuovi abitanti a ergere nuove fortificazioni e a provvederne la difesa.

Successivamente una guerra tra il Monferrato e i d'Acaia desolò nuovamente la zona, affliggendo conseguenze negative sui terreni coltivati che subirono gravose perdite. Chieri ritenta un'ulteriore ricostruzione della zona, senza un particolare successo, arrivando alla conclusione di cedere le terre Villastellone a una figura che fosse in grado di poter risollevarle queste zone, così nella data del 30 giugno 1396 il Comune di Chieri cedeva i territori del Borgo e di Villastellone a Franceschino Della Villa, su previo consenso datogli dal principe Amedeo d'Acaya e dal Conte di Savoia, donandogli il privilegio dell'esenzione delle tasse per un periodo di dieci anni, favorendo così la sua crescita.

Fu grazie a questa strategia che finalmente si ebbe un periodo prospero per questi terreni, fino a quando la dinastia Della Villa ebbe il suo ultimo erede, il Marchese Carlo, che lasciò Villastellone nel 1866 senza nessun discendente.

I secoli XV e XVI videro queste terre tra continui alti e bassi, alternando periodi di prosperità ad altri di carestie, pestilenze e guerre.

Entrano nelle dinamiche di dominio i Signori Costa di Polonghera, per cui la ricerca archivistica prosegue pure sotto il loro nome. All'interno dell'archivio

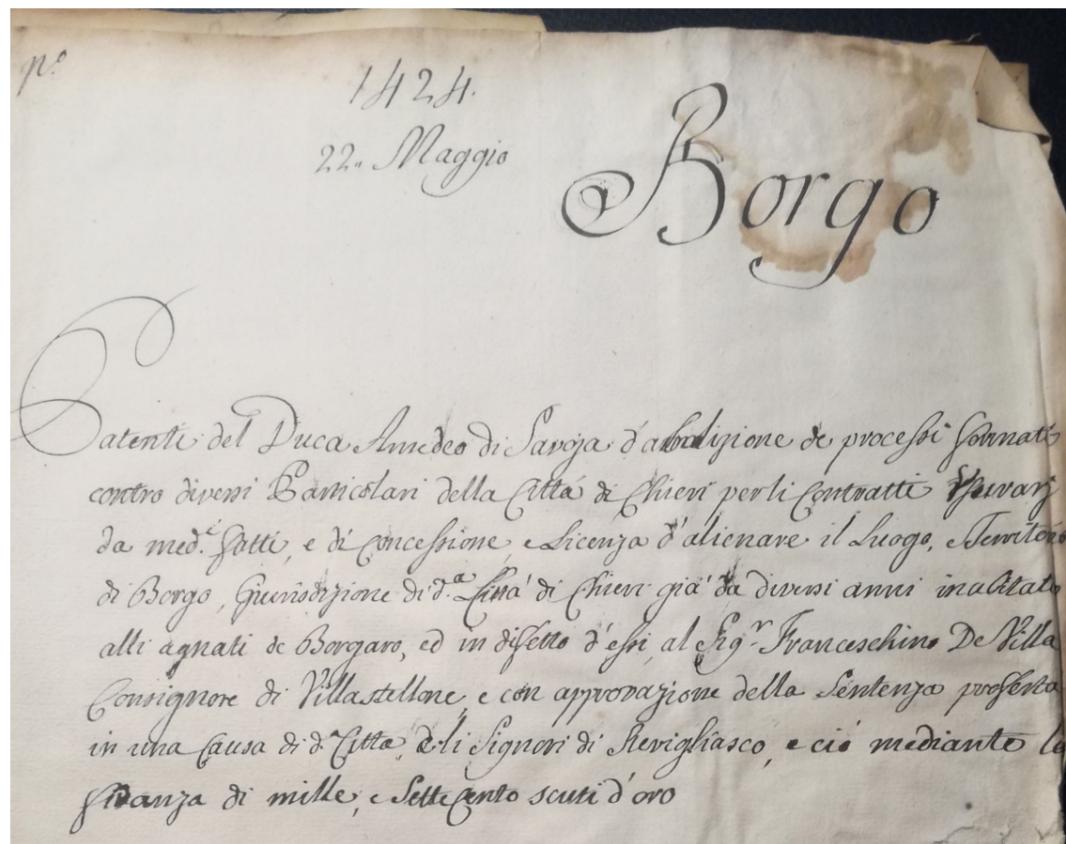


Figura 6: Foto da Archivio, ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 27, 1424

di Famiglia dei Costa di Polonghera, possessori del Feudo di Borgo Cornalese per un periodo, vi è proprio un fascicolo con la dicitura "Borgo":

"Patenti del Duca Amedeo di Savoia d'ambizione (annessione/abolizione) di processi formati contro diversi particolari della città di Chieri per li contratti feudali da med. i fatti, e di concessione, e licenza di alienare il luogo, e territorio di Borgo, giurisdizione di detta città di Chieri già da diversi anni inabitato agli agnati di Borgaro, ed in difetto d'essi, al Seg. R. Franceschino de Villa Consignore di Villastellone, e con approvazione della sentenza proferita in una causa di d. Città a li signori di Revigliasco, e ciò mediante la finanza di mille, e settecento scudi d'oro...omissis"<sup>i</sup>.

#### Sempre parlando della Famiglia Costa

i ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Costa di Polonghera, stralcio di testo, mazzo 27

di Polonghera, vi è un documento datato 10 luglio 1492 che attesta il momento in cui iniziano il loro dominio sugli alvei abbandonati del Po, mentre prima appartenevano alla comunità di Carmagnola, transazione che avvenne tramite il pagamento di 209 fiorini:

"Transazioni fattasi tra la Comunità di Carignano da una parte e Bongiovanni Costa di Polonghera, Fortepasso dall'altra, nella questione tra loro insorta circa la proprietà di certi alvei abbandonati del Po, in forza della quale transazione la prima cede al secondo tutti i suoi diritti su detti alvei mediante 290 fiorini...omissis..."<sup>ii</sup>.

ii ASTo, Sezioni Corte, Paesi per A e B, Carignano, mazzo 14, fascicolo 3

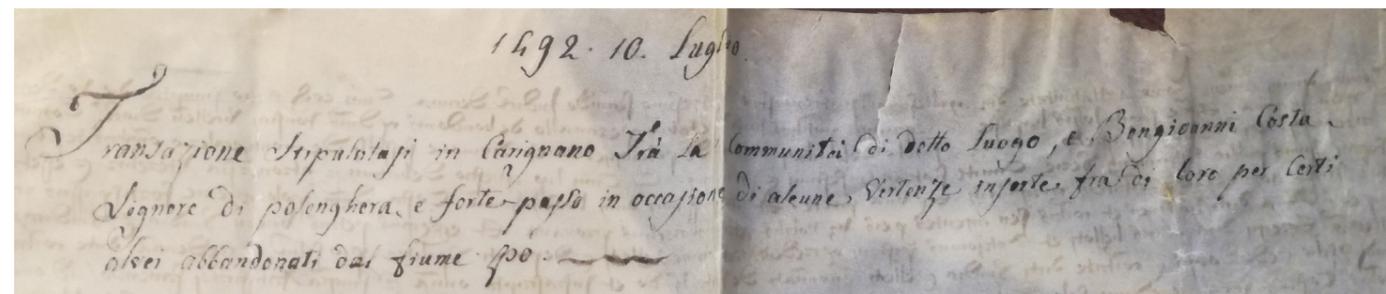


Figura 7: Foto da archivio, ASTo, Sezioni Riunite, mazzo 14, 1492

All'interno del medesimo fascicolo vi è un libricino dei Bandi di politica e pulizia della città di Carignano, datato **1787**, che parla delle sanzioni in cui possono incorrere i cittadini se non si presta attenzione al regolamento, interessante risultano essere le multe in cui potevano incorrere i panettieri, i fornai e i mugnai, così dice il testo: "...omissis...i Mugnaj qualora non abbiano dovuta attenzione in macinar le granaglie a tal effetto portategli, talmente che non si trovi la farina in sua perfezione, oltre il pagamento della granaglia macinata, e risarcimento de' danni, pagheranno la penale di lire sette, soldi dieci per cadauna volta, che contravverranno...omissis..."<sup>i</sup> a sottolineare quanto è importante ciò che concerne il pane e la sua produzione poiché fu sempre considerato un alimento di prima necessità, a costi contenuti e facilmente reperibile.

Continuando la ricerca tramite i possessori susseguitesì nel territorio di Borgo Cornalese, nell'archivio della famiglia dei Signori Costa di Polonghera si conservano numerose transazioni e investiture, nel 1560 i signori Costa, signori del Borgo Arignano, stringono relazioni con Emanuele Filiberto, Duca di Savoia, che concede a questi Polonghera ampliando così il contado.

Il **14 maggio 1564** registra: "Investitura concessa dal duca Emanuele Filiberto a favore del signor Francesco Costa,

i Bandi di politica e pulizia della città di Carignano, Carmagnola, Stampato presso P. Barbiè, 1787, ASTo, Sezioni Corte, Paesi per A e B, mazzo 14

Governatore del ducato d'Aosta e d'Ivrea delle parti e porzioni spettanti, dei castelli e luoghi di Polonghera, Avignano, Fortepasso, orgo, Malpertusio, Valdi Fosso, pervenuti in successione del signor Gerolamo di lui fratello, per esso, suoi eredi successori, ed alla forma delle precedenti...omissis..."<sup>ii</sup>.

La successiva dicitura risulta del **20 agosto 1568**: "Patenti del duca Emanuele Filiberto d'invenzione del titolo di contado dei luoghi e terre di Polonghera, Avignano, Fortepasso, Borgo Cornalese, a favore del suo consigliere, ciambellano Bongiovanni Costa Cav. Dell'ordine di S. M. Cristianissima e del Cav. Del supremo ordine e consigliere di stato ciambellano, Governatore del Ducato d'Aosta, e Città d'Ivrea Conte Gio Francesco Costa d'Avignano, in considerazione della servitù resali dal signor Feriollo Costa Padre, ed Luigi fratello del Signor Bongiovanni al Duca Carlo suo Padre essendo monti al suo servizio coll'Internazione camerale delli 9 xmbre 1569...omissis..."<sup>iii</sup>.

Il **22 agosto 1576** venne sottoscritta l'investitura: "Investitura concessa dalla camera ducale a favore della dama Caterina vedova del signor conte Gio Francesco Costa... spettanti dei castelli e luoghi di Polonghera, Fortepasso, Borgo, Malpertusio Valdicosso, per essi, loro eredi successori alla forma delle precedenti..."

ii ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Famiglia Costa di Polonghera, mazzo 29

iii Ibidem, stesso mazzo, fascicoli successivi

omissis...”<sup>i</sup>.

**Il primo settembre 1576:**

“Investitura concessa dal duca Emanuele Filiberto a favore Renato, Carlo e Adriano, e Ludovico Amedeo e figliuli del signor Bongiovanni Costa delle parti e porzioni spettanti, dei castelli e luoghi di Polonghera, Avignano, Fortepasso, Borgo, Malpertusio, Valdi Fosso, per essi, loro eredi e successori, e si è come dei qui Signor Bongiovanni Costa loro Padre n'era investito...omissis...”<sup>ii</sup>.

**8 Luglio 1581:**

“Investitura concessa dal duca Carlo Emanuele a favore del signor Ludovico Emanuele Filiberto, fratelli Costa in persona della Dama Caterina, loro madre, tutrice delle parti e porzioni spettanti, dei castelli e luoghi di Polonghera, Avignano, Fortepasso, Borgo, Malpertusio, Valdi Fosso, per essi, loro eredi e successori relativamente alle precedenti...omissis...”<sup>iii</sup>.

**9 novembre 1591:**

“Investitura concessa dal duca Carlo Emanuele a favore del signor Conte Bongiovanni, figlio del signor conte Filiberto Renato Costa di Polonghera, delle parti e porzioni spettanti, dei castelli e luoghi di Polonghera, Avignano, Fortepasso, Borgo, Malpertusio, Valdi Fosso, col titolo o dignità comitale, Beni, Redditi, da med. dipendenti relativamente alle precedenti...omissis...”<sup>iv</sup>.

**30 settembre 1595:**

“Investitura concessa dal duca Carlo Emanuele a favore del signor Conte Gio Francesco Costa delle parti e porzioni spettanti, dei castelli e luoghi di Polonghera, Avignano, Fortepasso,

i Ibidem, stesso mazzo, fascicoli successivi

ii Ibidem, stesso mazzo, fascicoli successivi

iii ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Famiglia Costa di Polonghera, mazzo 29

iv Ibidem

Borgo, Malpertusio, Valdi Fosso, pervenuti in successione del signor gerolamo di lui fratello, per esso, suoi eredi successori, ed alla forma delle precedenti...omissis...”<sup>v</sup>.

**26 maggio 1600:**

“Investitura concessa dal duca Carlo Emanuele di Savoia a favore del signor Conte Ludovico Costa de castelli e feudi d'Avignano, Polonghera, Fortepasso, Borgo, Malpertusio, Valdi Fosso e dei castelli, superiori e inferiori pervenuti in successione del signor gerolamo di lui fratello, per esso, suoi eredi successori, ed alla forma delle precedenti...omissis...”<sup>vi</sup>.

Tutte queste investiture parlano di passaggi ereditari, che dovevano essere raccolti e documentati per essere validi. All'interno di questa rassegna di investiture e passaggi di proprietà vi è anche un'investitura “...omissis...concessa dal Re Vittorio Amedeo al Vassallo Vittorio Amadeo Giuseppe Filiberto Maria Costa... accettante per lui, suoi eredi e successori delli suddetti feudi di Polonghera, e quarta parte del territorio di Borgaro, Fortepasso, Malpertusio, e Valle di Cozzo, come anche di detti luoghi, Feudi, e dipendenze di Trinità, e Carrù...omissis...”<sup>vii</sup>.

La dicitura “La quarta parte di Borgaro” sottolinea una scissione territoriale interna.

Una data degna di nota all'interno della storia del mulino è sicuramente il **1597**, in un documento di quell'anno si parla di una transazione che cita le seguenti parole: “...omissis...Transazione seguita tra Carlo e Ludovico Amedeo fratelli Gianna Margherita vedova del fu Filiberto Renato Costa, e Francesca vedova di Emanuele Costa Madre e tutrice di Pio Fran. Co Conti d'Avignano da una parte e Anto Vagnone de Sig.ri di Castelvecchio, e di Truffarello dall'altra, fauva, le differenze tra di essi insorte, e vertenti avanti il Senato

v Ibidem

vi Ibidem

vii ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Famiglia Costa di Polonghera, mazzo 29, fascicolo 19



Figura 8: Foto da archivio, ASTo Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Famiglia Costa di Polonghera, mazzo 29, fascicolo 19, 26 maggio 1600

a la diversione da essi Sig. di Polonghera fatta dell'acqua, qual scorre dalle fini di Carmagnola a un alveo vecchio, alli molini dei Sig.ri di Villastellone, e di Gallè, questi propri del Sig.re Vagnone a condurla in un alveo nuovo ad uso di un Molino nuovam.e fatto costruire presso il Castello di Borgaro, per cui è stato dichiarato che d.i Conti di Polonghera possano servirsi dell'Acqua della d.a Bealera per uso di d.i loro molini di Borgaro, sotto però le Condizioni, e patti ivi espressi...omissis...”<sup>vi</sup>

Questa frase ci porta a pensare che la costruzione del mulino, che in precedenza era sicuramente lignea, sia stata sostituita da edifici murari, e che questo mulino costruito nuovamente fosse dislocato sui resti del precedente.

Vi è una data incisa su un prospetto interno del complesso molitorio,

i ASTo, Sezioni Corte, Paesi, Inventario delle Scritture della Città e Provincia di Torino, Città e Provincia di Torino, Borgaro Torinese, Fascicolo 2

“1592”, la quale non coincide di pochi anni con i documenti, ma è il periodo storico al quale sono riconducibili le tipologie architettoniche di maggior pregio presenti, e giunte sino a noi: gli orizzontamenti voltati in pietra. Questi locali con la costruzione della villa padronale retrostante al mulino vennero adibiti a stalle, determinando un cambio di funzione.

Nello stesso anno, **17 maggio 1597**, risale una transazione: “...omissis... tra li signori Carlo Ludovico Amedeo fratelli Costa vedova Renato Costa tutrice, ed il signor Antonio Vagnone per fatto della Bealera di Borgaro, con facoltà di valersi del passaggio delle acque per servizio del Molino senza impedire quelle che provengano dal vecchio alveo, con obbligo di ottenere da S.A. quelle della Moletta, e manutenzioni dei ponti e ripe, e ficca della Bardola, e Malpertusio...”

omissis...”<sup>i</sup>.

All'interno di questo documento il nostro oggetto di studio viene chiamato “Castello di Borgaro”, il che fa riflettere ancora una volta su quanto questo loco in epoche passate fosse rinomato e di particolare importanza per gli abitati circostanti.

In questa transazione si assiste a un passaggio di proprietà inerente alla Bealera di Borgaro, per usufruire del passaggio delle acque per permettere il funzionamento del mulino senza ostacolare le acque che provengono dal vecchio alveo.

“...omissis...l'acqua qual discorre dalle fini di Carmagnola per un alveo vecchio alli Molini delli signori di Villastellone, indi a quelli di Gallè del detto signor Vagnone per condurre essa acqua per un nuovo alveo ad un Molino nuovo d'essi signori Conti fatto presso il Castello di Borgaro, e pretendesse detto signor Vagnone tal diversione non essersi potuta fare sì perché l'acqua, e l'alveo siano suoi

<sup>i</sup> ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, mazzo 11



Figura 9: Foto scattata durante un sopralluogo in loco, Novembre 2019

come che detta diversione non essersi potuta fare sì perché l'acqua e l'alveo siano suoi come che detta diversione li causa danno per la diminuzione dell'acqua, e rigurgitazione e spargimento che causa sopra la ficca chiamata della Bordola...omissis...”<sup>ii</sup>.

Modificare o creare una nuova canalizzazione artificiale richiede numerosi ragionamenti poiché come si può constatare dal precedente estratto poteva arrecare danno alle altre opere presenti sul territorio, deviando i flussi d'acqua esistenti, impedendo il normale approvvigionamento di altri canali che servono altri mulini. Ed ecco che insorgono liti tra proprietari di mulini contigui, nel XVI secolo a Villastellone se ne contavano più di uno, mentre sul territorio di Borgo Cornalese vi sono scritti che parlavano di tre mulini.

“...omissis...E primo che tra loro s'ha buona pace, e concordia...più che debbano rinunciare, come rinunciano alla predetta lite, causa, ed istanza; più hanno convenuto che, l'acqua predetta, quale discorre dalle fini di Carmagnola verso Villastellone, e Gallè servi parimenti, e servi alli Molini di Borgaro, ad utile delli detti signori Conti di Polonghera, ed Arignano...omissis...”.

In una scrittura settecentesca ritroviamo come data esatta di costruzione del mulino sotto i signori di Polonghera e Avignano il 1593.

In un altro archivio un documento datato nel medesimo periodo, il 17 maggio 1597, tratta della stessa discussione avvenuta tra i signori Conti di Polonghera, i signori Costa e il Conte d'Avignano.

Poiché il Signor Conte d'Avignano si

<sup>ii</sup> ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, Concessioni e transazioni, sentenze primordiali del Molino di Gallè, mazzo 11

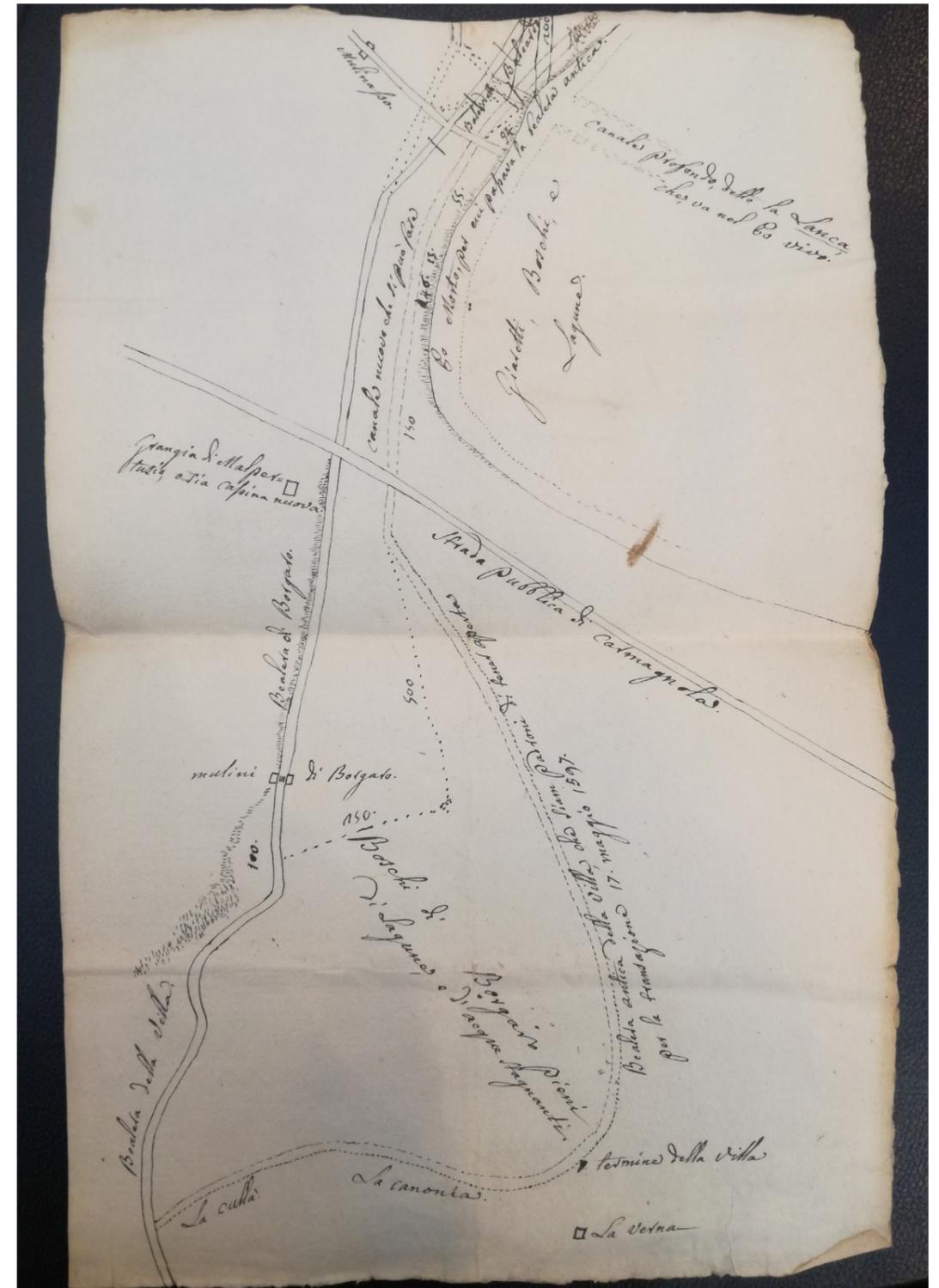


Figura 10: Foto da archivio, in cui vi è il corso dell'antica bealera tratteggiata datata 1597, ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, mazzo 11, disegno, s.d.

lamentava che la deviazione dell'alveo causasse alle sue proprietà una serie di problematiche:

"...omissis...pretendesse detto sig.e Vagnone tal diversione non essersi potuta fare si perché l'acqua e l'alveo siano suoi, come che detta diversione li causa danno per la diminuzione dell'acqua, e vegetazione, e spargimento che causa sopra la ficca chiamata della Bordola, ossia Naviglio al di sotto delli molini di Molinasso delli RR PP di Casanova...omissis...".

i ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, Concessioni e transazioni, sentenze primordiali del Molino di Gallè, mazzo 11

1597. 17. Maggio

Transazione tra li Sig. Costa  
ed  
Il Sig. Antonio Vagnone

Per la vendita del Molino di Borgaro Casanova stata venduta dal Sig. Antonio Vagnone, con varie condizioni

Figura 11: Foto da archivio, ASTo, Sezioni Riunite, Economato dell'Abbazia di S. Maria di Casanova, mazzo 9, fascicolo 5, 1597

Ma dato che tali acque sono necessarie sia ai Conti di Polonghera e ai signori Costa, per il funzionamento delle loro proprietà, si è giunti a un compromesso che prevedeva il pagamento di una somma in denaro per riparare il danno:

"...omissis...per il danno qual dica detto Sig.e di Castelvechchio aver patito per la diversione dell'acqua al predetto nuovo Molino di Borgaro, e per le molte spese fatte, debbano li predetti signori Conti dare e realmente pagare, come ivi hanno realmente pagato, e numerato al predetto

signor Castelvechchio presente, ed accettante Ducatoni Settecento, cioè detto signor Carlo per la porzione a lui suo sig.e fratello e Sig.a Giovanna Margherita... realmente numerati e contanti in tanti Ducatoni d'oro, doppie, ed altre buone monete per detto Sig.e Di Castelvechchio come sovra ritirate, presenti, e videnti testimoni e noi sottoscritti Nodari, di quali Ducatoni Settecento come sopra sborzati per la causa sopra narrata...omissis...".

L'inizio del XVII secolo segna la fine del Marchesato di Saluzzo che dopo alcuni scontri viene annesso ai Savoia nel 1601, mentre il contado di Borgo Cornalese, Fortepasso, Torre Madama e Malpertusio continuano ad appartenere ai Costa della Trinità. Risalente al 1633-1655 sono dei "Testimoniali di attestazione relativi ad una bealera che si estende dal Molinasso sino ai mulini di Borgo Cornalese ed ai danni provocati al molinasso da una chiusa costruita in quella bealera a beneficio dei detti mulini...omissis...".

Il 3 luglio 1694 il Duca Vittorio Amedeo II cede a favore del Signor Conte Gerolamo Maria Costa alcuni castelli e terre nei luoghi di Trinità, Carrù, della quarta parte di Fortepasso, Borgo, Malpertusio ed altresì del feudo di Polonghera, comprendendo giurisdizioni, beni e redditi.

"...omissis...investiamo esso Conte GIROLAMO MARIA COSTA supplicante per lui, suoi heredi, e successori, benchè assente, in persona però del predetto, Pietro Antonio Canaparo, suo procuratore qua presente, stipulante ed umilmente accettante, dei feudi di Polonghera, e quarta parte di Borgaro, Fortepasso, Malpertusio, e Valle di Cozzo, ...omissis...".

i ASTo, Sezioni Riunite, ABBAZIA DI CASANOVA ACQUE DEL MOLINASSO 1424-1779, mazzo 9, fascicolo 5

ii ASTo, Sezioni Riunite, Abbazia di Casanova acque del Molinasso, mazzo 9

iii ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 31, fascicolo 3



Figura 12: Foto da archivio, ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 31, fascicolo 3, 3 luglio 1694

In un catalogo delle scritture, nell'archivio di sezioni Riunite, datato 2 aprile 1704, si parla di un divieto per gli abitanti di "...omissis...Carmagnola, Borghi e ficcaggio d'andar a macinare e pestare le loro masse ad altri molini...omissis..." indi per cui era sponsorizzato l'utilizzo e l'attività del mulino del proprio comune ed era bene che gli abitanti ne facessero impiego, sfruttando al meglio le risorse offerte dal proprio territorio comunale, favorendo alla distribuzione delle ricchezze sul territorio.

Le vicende del mulino di Borgo Cornalese sono spesso collegate al mulino di Gallè e al mulino del Molinasso, infatti in moltissima documentazione pervenuta sono nominati all'interno degli stessi fascicoli, anche nei pochi disegni ritrovati le vicende di questi mulini sono spesso interconnesse,

i ASTo, Sezioni Riunite, Economato dell'Abbazia di Santa Maria di Casanova, mazzo 9, fascicolo 8

a causa della fitta rete di canali artificiali che valicava la zona in questione, per cui le acque che alimentavano il molino del molinasso passavano poi ad alimentare il molino di Borgo e poi il molino di Gallè, e nel momento in cui si verificava qualche intralcio, ad ostacolare il normale andamento del canale artificiale ecco che sorgevano problematiche simili in tutti e tre questi contesti.

A testimonianza di quanto appena detto, un documento di archivio elenca le ragioni per cui non si poteva innalzare il regime di un fiume più dell'ordinario, per i mulini di Borgo e Gallè perché questa operazione avrebbe danneggiato il molino del Molinasso.

Anche una supplica<sup>ii</sup> del 1695 parla proprio delle medesime problematiche,

ii ASTo, Sezioni Riunite, Abbazia di Casanova acque del Molinasso, mazzo 9, fascicolo 8

la duchessa proprietaria del molino del Molinasso pregava i signori di Borgo affinché non alzassero la sua ficca dato che tale operazione avrebbe cagionato rigurgito al suo molino.

Anche nel secolo precedente abbiamo testimonianze di tale concatenazione, si segnala nel 1595, una serie di ricorsi presentati dal monastero di Casanova al Nunzio Pontificio ed alla duchessa reggente, Caterina d'Austria, contro i conti di Polonghera e Borgaro che con la costruzione di una chiusa sulla bealera che alimenta un loro mulino, impediscono l'afflusso regolare delle acque al mulino del Molinasso, di proprietà del monastero.

Venne redatto un progetto univoco che comprendeva i fabbricati del molino del Molinasso del molino di Gallè e del molino di Borgaro di Villastellone.

Seguono numerose successioni, come quella del 16 giugno 1688 e del 30 giugno 1733, che vedono traslare di erede in erede le medesime proprietà, tra cui la quarta parte di Borgaro, appunto.

Un documento del 12 ottobre 1714 presenta un atto di vendita tra i monaci di Casanova e i signori di Borgaro e Villastellone, nella regione Isordalla "...

*omissis...per la formazione di un nuovo tronco di Bealera di molini di proprietà dei consignori suddetti e dei Cistercensi di Testona. ...omissis..."*.

Nel mese di novembre 1716, vengono registrate delle problematiche connesse ad escrescenze del fiume Po, e per cui è stata fatta una convenzione, il 26 agosto 1756, tra "...omissis...sua eccellenza il signor Conte Villa, Sua Eccellenza il Signor Conte della Trinità, signori Marchesi Parella, Signor Conte Pastoris Montà, Padri di Testona, e Padri di Casanova ed in oggi il sig. Conte Grana...omissis..."

Le problematiche sorte hanno corroso una parte di bealera che portava le acque ai mulini di Borgo, Villastellone, e non solo, di conseguenza i signori proprietari di questi territori pretendevano di avere un nuovo alveo per rendere utilizzabili i mulini presenti.

Nella documentazione ritrovata in archivio, e successivamente riscritta, si parla di architetti e ingegneri che visitarono la zona per determinare la migliore collocazione del suddetto alveo, e venne scelta come miglior collocazione "...omissis...dopo il ponte di legno sul fiume Naviglio e che passasse nelle vicinanze dell'abbazia di

i ASTo, Sezioni Riunite, Economato dei benefici vacanti, Abbazia di Santa Maria di Casanova

ii ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, marzo 11

1595.  
Ricorsi dei Monaci di Casanova al Nunzio Pontificio  
et alla Duchessa Reggente, in lettere citatorie ed inhibitione  
ai Sig. di Borgo Tornatense, di danneggiare con una ficca  
il Molinasso.

Figura 13: Foto da archivio, ASTo, Sezioni Riunite, Economato dell'Abbazia di Santa Maria di Casanova, marzo 9, fascicolo 4, 1595

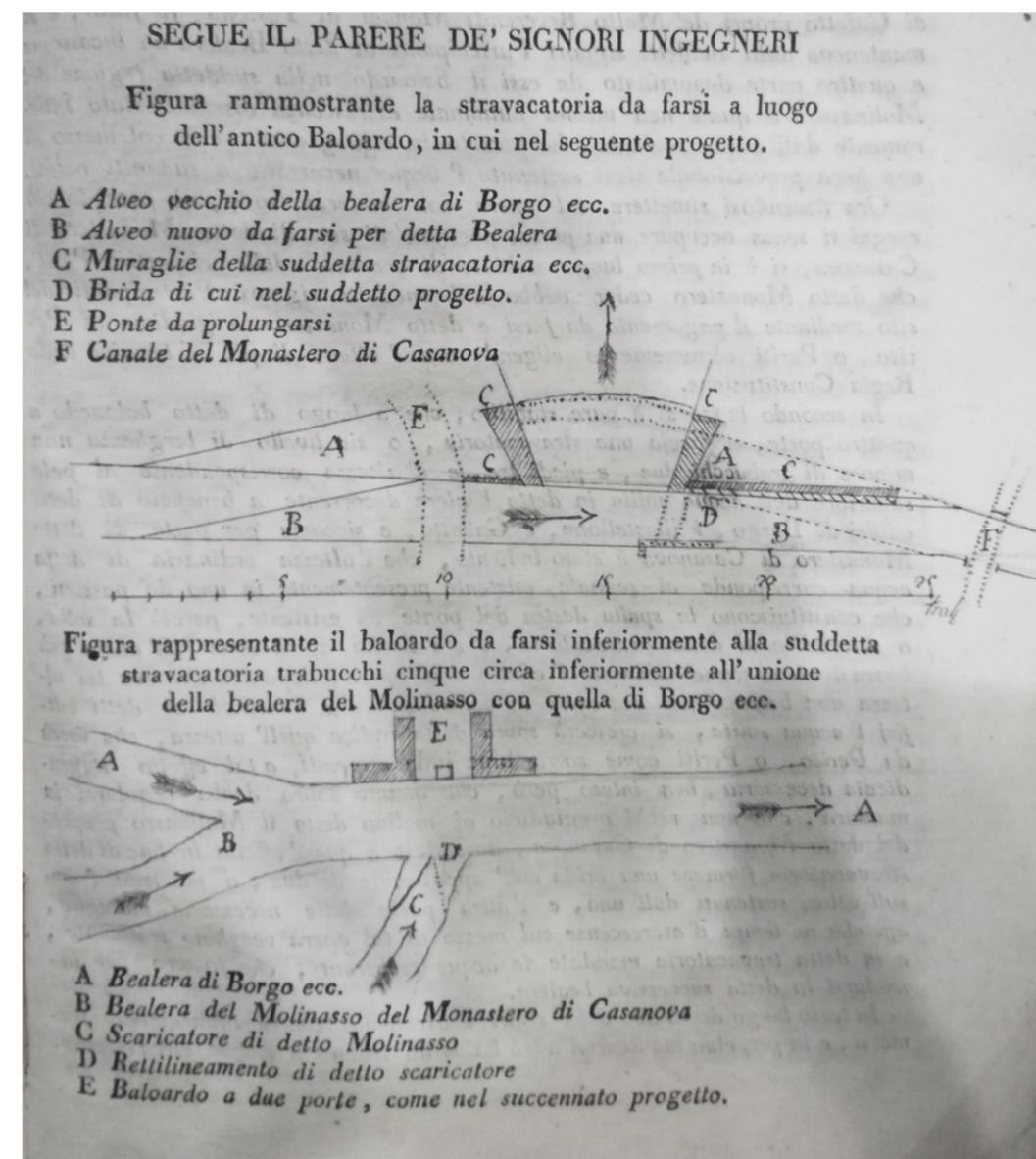


Figura 14: Foto da archivio, particolare del disegno rappresentante la nuova proposta del nuovo alveo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, marzo 11, 1756

Casanova...omissis..."

All'interno del medesimo scritto si parla poi della costruzione di Baluardi, fortificazioni costituiti da terrapieni a scopo difensivo, la cui costruzione "...omissis...dovrà essere a spese dei signori di Borgo, signor Conte di Villastellone, e molto reverendi monaci di Testona per la prima volta, e la

i ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, Concessioni e Transazioni, marzo 11

manutenzione di quello vicino a Borgo a carico dei signori di Borgo...omissis..."

Un documento archivistico sul Mulino di Borgo appartiene all'archivio Costa di Polonghera, conservato in Archivio di Stato di Torino, datato 17 gennaio 1764, periodo in cui i Costa, famiglia di origine chierese, erano consignori del feudo di Borgo. Infatti si ritrova spesso all'interno

ii Ibidem



Figura 15: ASTO, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, Piano geometrico dell'alveo della bealera inserviente d'acquaggio all'edificio del mulino di Borgo di spellanza al Marchese signor Montmorenci Laval, indi ad altro mulino del signor Conte della Villa quale figura e beni laterali sono regolari per il corso della lettera A e B, fino a C e resta dimostrativo il corpo della bealera della lettera C sino a D mulino del prefetto Conte della Villa, ed il tutto come viene dimostrato dall'indice generale, Mulino di Villastellone, Anna Broglio, disegno senza data ma si suppone di inizio settecento

della documentazione consigliata la dicitura "della quarta parte di Borgaro", poiché la dominazione era scissa tra più possessori.

Il documento in questione ha come dicitura: "Copia dell'Estimo de Mollini e Peste da Canapa del Feudo di Borgo", il quale racconta e testimonia la presenza di tre mulini nell'area di Borgo, fornendo interessanti informazioni sulla struttura molitoria, ha come datazione il **17 gennaio 1764**, la cui copia originale si trova presso il Conte Pastoris.

Giacosa del fu Benedetto della città di Pinerolo si recò a Borgo per svolgere una visita dei mulini, in seguito ad una richiesta dei fratelli Auberti fittavoli del complesso di mulini a tre ruote e pesta da canapa a due ruote.

Il documento riporta l'analisi effettuata dall'estimatore in riferimento allo stato d'uso alla manutenzione da effettuare e alla qualità e valore della struttura.

Il mulino descritto era composto da tre corpi principali costituiti perlopiù da parti in legno in forte stato di degrado soprattutto in corrispondenza di tutte le aree in cui si trovavano a contatto con l'acqua.

Si riferisce della presenza di una balconera lignea sopraelevata che collegava i tre mulini. Viene infatti segnalata la presenza di scale a sei gradini per "...omissis... accedere e discendere da tetto a pavimento...omissis...".

Tale relazione, particolarmente dettagliata, ci permette di ipotizzare che i tre edifici fossero collocati ad una distanza ridotta fra loro, nonostante non vi siano informazioni certe in merito né tracce sul territorio a testimonianza della loro esistenza.

"...omissis...de mollini a tre ruote e pesta da canapa a due ruote, propri detti edifici dei... Signor Conte Pastoris, il signor Conte della Trinità, e la Marchesa Parella, esistenti tutti detti edifici nel Feudo detto

i ASTo, Sezioni Riunite, Estimo de Mollini e peste da Canapa del feudo di Borgo, archivio di famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 82, fascicolo 3

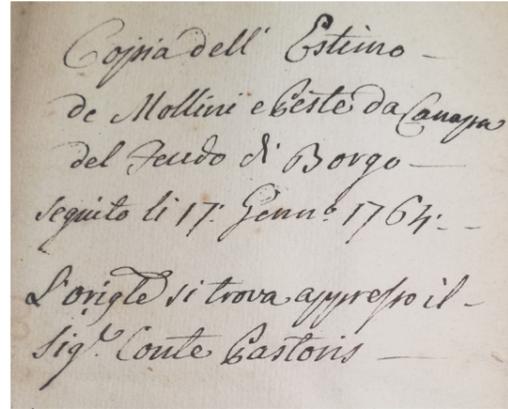


Figura 16: Foto da archivio, ASTo, Sezioni Riunite, archivio di famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 82, fascicolo 3, 1764

di Borgaro...omissis...".

Vi si trova la seguente descrizione:

"...omissis...Il pavimento della pesta da canapa è formato da cinque travi, quattro colonne e due mensole appoggiate tra detti travi, e undici tavoloni tra lunghi e corti, larghi e stretti, dette mensole in stato più ragionevole, il pavimento molto meno e molto usato e rappezzato il tutto in legno di rovere. Le quattro colonne sostenenti il Castello quale è formato da cinque travi incluso il castelletto che serve di sostegno all'infra descrivendo arboretto, due sono state sostituite, una quasi inabile perché marcia al piede l'altra alquanto mediocre. Al cartello si vedono due travi spaccate. La lanterna in stato molto meno ragionevole, presenta delle parti rotte ed è fatta parte di legno di rovere e parte in pietra. Le due pietre della pesta da canapa vengono dalla lomba di Susa, e sono di altezza in diametro misurato nella minore pari a ventiquattro ponti sei. Le pietre risultano essere scheggiate. La cambionata è formata da tre cambioni fatti di rovere. Il legno, la ruota e il ruotino della seconda pesta sono abbastanza in buono stato. La ruota è sostenuta da un cerchio in ferro e uno di detti poggia sopra la banchetta del pianta mento del Mulino. La seconda

ii Ibidem

pesta presenta uno stato simile alla prima. Segue l'estimo dei Molini.

Il ponte esistente avanti alla balconera prima scritta è formato da tre travi con pezzi di assi tra larghi e stretti inchiodati. I travi sono in salice.

Vi è un rastello che impedisce all'immondizia di arrivare alla ruota, detti travi sono molto marci, soprattutto quello verso la balconera, il tutto in bosco di rovere...omissis...".

Sempre dalla ricerca in archivio è emerso un documento datato 16 aprile 1816 in cui il Senato elegge dei campari, che altro non sono che guarda boschi, per i territori di Borgo e i territori limitrofi.

"...omissis...commettendo ai giudici dei mandamenti di Polonghera, di Carrù, della Trinità, di Arignano, di Caluso, e di quel mandamento in cui è compreso il luogo di Borgo per ricevere il giuramento dei sei campari che saranno dal signor conte ricorrente nominati. In cui fede dati in Torino li sedici aprile 1816...omissis..."

La supplica allegata:

"...omissis...la facoltà di nominare, e

i Op. citata

ritenere sei campari guarda boschi, e custodi alle infra espresse residenze, cioè uno a polonghera, nei tenimenti che esso possiede in detto territorio, ed in quello di marcello, un altro a Carrù per i beni del ricorrente possedenti ivi, e nel terrio di Lequio, un altro alla Trinità, per i beni che gli appartengono tanto in detto territorio tanto in quello di Saena(?), uno ad Arignano, uno a Borgo, ed uno a Caluso... per esercitare la loro funzione nei rispettivi tenimenti come sovra espressi, e senza pregiudizio dei campari già nominati... omissis...".

Troviamo l'atto di giuramento di Giuseppe Andre a Gallo Guardi, che viene nominato campare.

"...omissis...Giuseppe Andrea Gallo Guardi stato nominato camparo, ossia guardia campestre del feudo, del tenimento di Borgo presso Villastellone... lo Giuseppe Andrea Gallo giuro di fedelmente di eseguire il mio impiego di guardia campestre, e di attentamente insigliare acciò non insigne reato alcun

ii ASTo, La trinità ed altri feudi Investiture e concessioni, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Costa di Polonghera, Mazzo 31

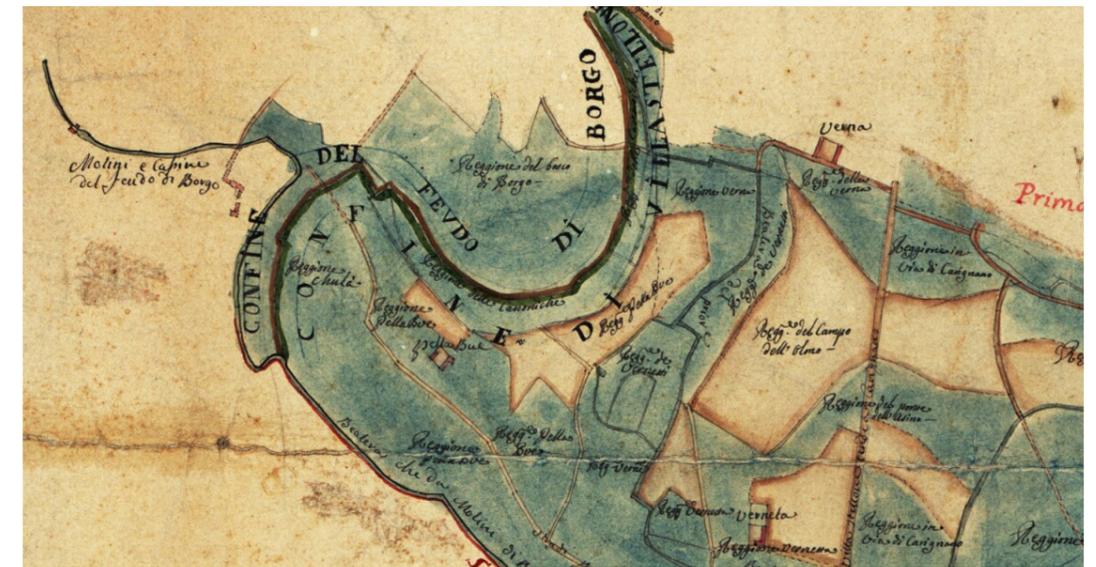


Figura 17: Ingrandimento di mappa sulla zona di interesse, Stralcio da Mappa de Tenimenti e regioni esistenti ne' Territori di Villastellone, Chieri, Moncaglieri, Carignano, Truffarello, Cambiano, Santena, Rivera e Borgo ...ASTo, Sezioni Riunite, Carte topografiche e disegni, Camerale Piemonte, Tipi articolo 663

danno a guastare beni di detto tenimento di Borgo...omissis...”<sup>i</sup>.

L'11 gennaio 1717 vi furono delle liti tra “...omissis...il monastero di casanova da una parte e il conte Pastoris Mura, il marchese S. Martino Parella, il Conte Costa della Trinità, il Conte della Villa e i monaci di Testona dall'altra, a causa dell'inadempienza di questi che, con strumento rogato 11 gennaio 1717, si sono impegnati a far costruire e a mantenere due baluardi presso il mulino del Molinasso...omissis...”<sup>ii</sup>.

Nel 1741 si registra un'altra discordia “...omissis...tra il monastero di Casanova e i signori Pastoris de mura, della Villa e i monaci di Testona a causa del tentativo di questi ultimi di impedire al monastero di Casanova di derivare l'acqua per l'irrigazione di un prato, dal naviglio di Carmagnola...omissis...”<sup>iii</sup>.

Moltissima documentazione riguardante il mulino di Borgo Cornalese rientra nelle vicende connesse al mulino del Molinasso, il cui controllo spettava ai monaci di Casanova. Sempre nelle Sezioni Riunite, all'interno dell'economato dell'Abbazia di Santa Maria di Casanova, si hanno testimoniali “...omissis...degli ordigni ed utensili servienti ai mulini del Molinasso, delle bealere, e porte esistenti dallo sbocco dal naviglio al Molinasso e tra questo e la bealera di Borgo cornalese...omissis...”<sup>iv</sup>.

Lo scritto dei testimoniali datato 1760 parla che la giurisdizione del mulino del Molinasso spettava ai monaci di Casanova che fecero sottoscrivere una relazione dove si dettagliavano la bealera e il loro mulino, questa relazione venne fatta fare durante una visita al mulino percorrendo il corso della bealera, durante il sopralluogo

i Ibidem

ii ASTo, Sezioni Riunite, Abbazia di Casanova acque del Molinasso, mazzo 9, fascicolo 20

iii ASTo, Sezioni Riunite, Abbazia di Casanova acque del Molinasso, mazzo 9, fascicolo 21

iv ASTo, Sezioni Riunite, Abbazia di Casanova acque del Molinasso, mazzo 9, fascicolo 23

non fu possibile misurare la balconata presente.

“...omissis...detta bealera nel suo principio, e superiormente al detto molino divisa in due alvei inserendo l'uno per il giro di tre ruote a detto molino per il macinamento delle granaglie, e l'altro per il giro di due ruote per la virtu di Canepa, il primo di quali alvei forma una bealera, la quale accomunata di lungo in lungo sino all'imboccatura in cui si congiunge alla bealera denominata di Borgo si è riconosciuta dalla larghezza di trabucchi uno, piedi due liprandi colle ripe laterali di essa bealera pure di lungo in lungo scarpate quasi a perpendicolo dello alveo, munite pure di lungo in lungo di una parte che dall'altra di diverse piante quasi tutti salici, molti dei quali dall'aspetto vecchi, ed antichissimi, ed alcuni di essi radicati parte sulla ripa, di detta bealera, e parte anche entro stanti nella bealera...omissis...”<sup>v</sup>.

“...omissis...Indi proseguendo pure il corso di detta bealera nella parte in cui si unisce colla Bealera di Borgo sull'istanza di cui sovra sia pure (?) ordinato al detto Sig. Misur. ed Esperto di riconoscere la larghezza della bealera unita suddetta cominciando dall'angolo costruito a mattoni di detta balconata, osii Baloardotto riguardante tal angolo verso mezzogiorno in punta ed attraversando detta bealera sino alla punta dell'angolo della ripa opposta siaci risultato col mezzo degli esperimenti fatti per detto esperto esservi la larghezza di trabucchi due, piedi cinque...omissis...”<sup>vi</sup>

“...omissis...quivi unendosi in un solo alveo con le altre bealere cioè quella di Borgo e quella del molinazzo suddetto...omissis...entra nella bealera denominata

v ASTo, Sezioni Riunite, Abbazia di Casanova acque del Molinasso, mazzo 9, fascicolo 23

vi Ibidem

di Borgaro...omissis...”<sup>i</sup>

I testi riportati vogliono testimoniare come la bealera del molinasso si unisse lungo il suo corso con la bealera di Borgaro e come queste si influissero reciprocamente.

Nel 1775 affianco ai Costa si segnalano come proprietari anche il Conte Pastoris Mura e il Marchese Parella di San Martino (che acquistano parte della borgata), come rimarcato all'interno del catasto Napoleonico.

Nel 1792 il Duca Eugenio Laval de Montmorency, già proprietario del mulino, diviene coproprietario del borgo prendendo le veci di Pastoris Mura.

Il Feudo di Borgo, come viene individuato nelle mappe, per molto tempo fa parte dei possedimenti dei Costa della Villa di Chieri per poi passare, in epoca napoleonica, ai Montmorency.

Grazie a questa casata si assisteranno a continue e profonde trasformazioni che conferiranno al borgo l'aspetto attuale, come anche la villa che divenne di loro

i Ibidem

proprietà a partire dal 1830, venne trasformata in una maestosa residenza.

Una relazione senza una data certa, ma sicuramente posteriore al 1834 venne scritta per opera dell'ingegner Rossi che venne incaricato di produrre una perizia:

“Indice del tipo dimostrativo del corso delle acque inservienti ai mulino di Borgo di Villastellone, Gallè, la Splua formato dall'ingegner Rossi...omissis...”<sup>ii</sup>

Questo testo risulta particolarmente significativo poiché si parla espressamente delle vicende che interessano il mulino di Borgo e non è un soggetto secondario nella documentazione come in molti altri testi consultati.

Il Meletta era un vero Rivo e non una bealera artificiale, un canale scolatore pubblico che serviva tutta la città, e parte del territorio di Carmagnola. Raramente registrava periodi di siccità dato che il suo corso era alimentato dagli scoli delle bealere del fiume Magra, che “...omissis...i proprietari dei mulini di Borgo Villa, e Gallè e i quali nella persona dei signori Conti Villa, Conte della Trinità,

ii ASTo, Sezioni Riunite, Economato dell'abbazia di Santa Maria di Casanova, mazzo 9, fascicolo 28

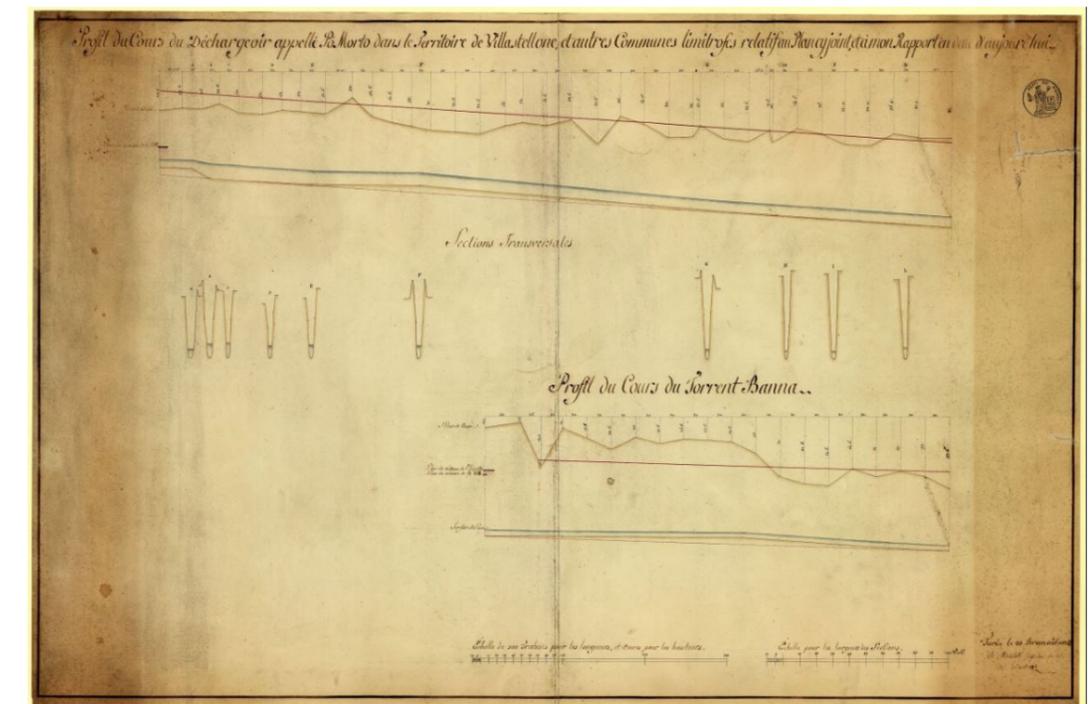


Figura 18: ASTo, Sezioni Riunite, Paesi per A e B, Sezione del corso del torrente Banna, s.d, mazzo 7, fascicolo 3

*Marchese di Isorella, Conte Pastoris e Montù, e Dadi di Tortona aquistarono colla scrittura nel gennaio 1717, e successivo invito 26 agosto 1786 rog. Perroglio dei monaci di casanova padroni delle terre laterali e del Molinasso, la facoltà di stabilirlo non più atti di oncie sei sopra il pelo dell'acqua ordinaria introdotta che sarà nel nuovo cavo...omissis...<sup>vi</sup>.*

I proprietari del mulino di Borgo dovevano provvedere alla manutenzione e riparazione annuale di questo beneficio, mentre se le spese superavano un costo prestabilito allora l'ammontare monetario doveva essere ripartito tra i proprietari del mulino di Borgo (per 9/28), Villa (per 11/28) e Splua (per 8/28).

*“...omissis...La conservazione della riva, e il suo corretto funzionamento in modo che il corso non diminuisca né ecceda, è accollata ai proprietari di borgo con lo scritto pervenuto...omissis...La chiavica, paratoria per regolare il flusso di uno scolo in un corso d'acqua, viene eretta e stabilita nel 1717 a spese dei proprietari dei molini di Borgo, Villa e Gallè. Il maneggio di questo scaricatore è interamente affidato al mugnaio del Molinasso, che ne teneva le chiavi, e lo alzava ogni volta che le condizioni lo richiedevano, questo fu distrutto dalle piene dell'autunno 1769...omissis...l'ultimo tronco della bealera che poi sbocca in quella detta di Borgo. Quest'alveo fu nel 1756 drizzato e portato a sboccare cinque trabucchi sopra l'edificio 181 con palificate proposte dagli ingegner Cirstelli e Prunotto ... si stabili dovessero eseguirsi e mantenersi a spese dei proprietari dei molini di Borgo, Villa e Gallè alveo scaricatore, che a termini*

i Ibidem

*dall'invito Perrolio suddetto, deve rimanere aperto per scaricare nel fiume Po le acque eccedenti; egli è quell'alveo per cui prima del 1717 scaricandosi tutte le acque della reggia...omissis...<sup>ii</sup>*

La manutenzione ordinaria di questo tronco d'alveo dallo scaricatore fino al mulino di Borgo fu accollata al proprietario del mulino di Borgo, decisione sancita da due scritture datate rispettivamente 17 maggio 1597 e 11 gennaio 1717.

Sempre dal medesimo documento: *“...omissis...Molino di Borgo appartenente al Sig. Marchese di Montmorency, costruito nel 1593 dalli Conte e Contessor Costa di Polonghera e Avignano, che sostennero una lite col Conte Vagnone di Castelvechio, proprietario dei molini di Gallè, la quale finì colla transazione del 17 maggio 1597 per cui i proprietari di borgo obbligandosi di ottenere da S. a la concessione di condurre dalla festa di Santa Croce di maggio sino a quella di settembre l'acqua della Mellea, e di scavare un alveo nuovo per uso comune, ebbero dal Conte Vagnone il permesso di condurre al loro molino anche l'acqua solita correre a Villastellone, e quindi a Gallè. In compenso poi dei danni a spese fatte, e non già dell'uso dell'acqua che compensarono colla aggiunta di quella di mellea, pagarono al detto Conte Vagnone 700 ducatonì d'oro...omissis...”.*

Nel mese di agosto 1834 il marchese di Montmorency si propose di ricostruire velocemente la balconera di questo molino.

*“...omissis...La balconera a servire di questo molino, discosta da quella del molinasso, di trabucchi<sup>iii</sup> 1320 era prima del mese di agosto 1834 in legno ad otto*

ii Ibidem

iii Antica misura di lunghezza, superficie (trabucco quadrato), volume (trabucco cubo), usata in Italia prima dell'adozione del sistema metrico decimale. Ad Asti, Cuneo, Biella, Vercelli, Torino, Ivrea, Pinerolo e Susa si adoperava il trabucco piemontese: come misura di lunghezza il trabucco di m. 3,086; come misura di superficie il trabucco quadrato di mq. 9,5259; come misura di volume il trabucco cubo di mc. 29,401 e il “trabucco camerale da muro” di mc. 4,083.

*parte forate sopra una sol radice e soglia elevata di oncie 30 dal fondo dei fugatori, delle quali quattro a destra servono altrettante macine, dove scaricano l'acqua soverchia, e due a sinistra servono due peste da canapa. Proponevasi il proprietario di approfittare dell'occasione in cui faceva riformare in pietra quella balconata, per dividere la soglia in tre pezzi e abbassare quella parte sottostante alle due porte servienti di scaricatore sino al piano dei sugatori per poi allagare a queste aperture della parte in due pezzi, e potere coll'abbassamento del pezzo inferiore, mantenere senz'altra spesa, curato il tronco di bealera superiore a quei molini, tramandando in quello inferiore tutte le macerie.*

*Essendo ciò stato verificato dannoso alle terre superiori alla bealera che dal mulino di Borgo tende a quello di Villa, perché rialzando il fondo di quella rendecrasi loro fini difficile lo scalo e più facile l'allagamento dannoso all'attivazione del molino di Villa e inferiori, poiché la massiva copia dei depositi avrebbe scemato l'acqua facendola disperdere nel pozzo e dannoso finalmente all'interesse del molino di Villa, perché aumentando i depositi aumentava l'ammassarsi della curatura. Il signor Conte di Villa fece inibire il proprietario di Borgo di nulla innovare, dopo di che intervenne scrittura di concivazione dal 23 agosto 1834, con cui fu impedito l'abbassamento della soglia di delle luci dello scaricatore suddetto.*

*Fosso aperto nella sponda sinistra per cui si disperde un corpo d'acqua dalla reggia tendente al molino di Villa, il quale è tanto maggiore quanto è maggiore la portata della bealera. ...omissis...*

*Confluenza della reggia di Borgo e villa nel preesistente alveo del torrente stellone, discosta trabucchi 96 dalla muraglia del molino di Villa e casi trabucchi 604 circa dal superiore molino di Borgo...omissis<sup>vi</sup>.*

La balconera venne costruita dal perito

i ASTo, Sezioni Riunite, Economato dell'abbazia di Santa Maria di Casanova, marzo 9, fascicolo 28

Meatley, realizzata per far sfociare il torrente Stellone nelle acque del Po Morto per evitare le inondazioni cui dava luogo la confluenza di questo torrente nella Banna. Il perito propose anche la realizzazione di un nuovo livello scolare, che non fu mai realizzato poiché fu prescritto solo per interesse del mulino dei Villa, e avrebbe arrecato danno ai mulini circostanti e richiedeva un'ingente somma in denaro. Un altro documento che testimonia le vicende dei beni di questi territori è un piccolo libricino intitolato *“Concessioni Transazioni, sentenze patrimoniali del molino di Gallè del molino di Villastellone”*, che come si evince dal titolo non ha come oggetto principale della descrizione il mulino del caso studio ma un altro mulino, che per vicinanza geografica lo coinvolge direttamente.

Una perizia rinvenuta in archivio del 10 febbraio 1875, scritta dall'Ingegnere Giovanni Curioni perito, che doveva determinare le quote per la tassazione sul macinato, per il mulino della Villa in Villastellone, esercito dal Signor Perlo Francesco.

Il perito deve costatare l'andamento delle bealere nei periodi di secca e nei periodi delle forti piogge.

La bealera moneta prende le sue acque dal torrente Magra e le immette nel canale superiormente al mulino di Borgo dopo di essere passata pei mulini demaniali di Carmagnola.

*“...omissis...l'Illustrissimo Signor Perito ha certamente avuto campo di persuadersi nella sua visita lungo il canale, l'acqua non può mai elevarsi più di 50 o 60 cm sopra il livello della soglia, sia per le grandi fughe che succedono attraverso le seragli e gli stipiti delle medesime, quanto pel considerevole richiamo che ha lungo dalla bealera detta di Borgo presso al mulino dello stesso nome, il cui fondo si può costatare, è allo stesso livello di quello del canale. Le dimensioni di questa bealera*

come risultano da un rilievo estratto dalla mappa Comunale formata fin dall'anno 1813, risultano di metri 2,30 di larghezza per 0,90 di profondità.

In nessun caso come in nessuna epoca dell'anno è possibile somministrare contemporaneamente ai motori la quantità d'acqua colla quale vennero eseguite le singole esperienze degli ingegneri della finanza nel giorno della perizia, senza limitare il lavoro di uno o tutt'al più di due palmenti. Ora ciò sarebbe contrario agli interessi dell'esercente ed alle esigenze del servizio, richiedendo il più delle volte la quantità e l'urgenza del lavoro di dover impiegare contemporaneamente 3 o anche 4 palmenti, ed alcune volte ancora di dover estrarre una discreta quantità d'acqua per uso della pesta da canapa. ... omissis...".

Ancora una volta siamo di fronte a materiale di archivio che attesta aspetti economici, perché come ogni famiglia o azienda produttrice odierna, ciò che viene registrato e successivamente conservato

presso le famiglie sono i conti, i cartari, i passaggi di proprietà, e le perizie come in questo caso, o qualsiasi documento che abbia una sfaccettatura economica, perché si tratta di architetture minori che non godono di lunghe descrizioni nei libri di storia, per cui avere datazioni esatte sui cambiamenti dell'edificato, demolizioni e nuove costruzioni, o cambi di materiale risulta particolarmente difficile.

Non che di queste argomentazioni se ne sia parlato poco, ma troviamo con più difficoltà il singolo edificio analizzato, mentre risulta decisamente più frequente una descrizione generica della tematica, una storia descritta che analizzi tutte le architetture della medesima tipologia senza scendere nel dettaglio dello specifico oggetto.

Considerare il mulino di Borgo Cornalese un'architettura minore, non significa né che si tratti di architettura di seconda serie né che riguardi soggetti piccoli ma è solo un modo per definire l'architettura dei

i ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, marzo 11



Figura 19: ASTo, Sezioni Corte, stralcio di "Departement du P6 / Arrondissement com[muna]l de Turin / PLAN GEOMETRIQUE De La COMMUNE De / VILLASTELLON", Carta in due parti del Territorio di Villastellone stata levata per Ordine del Governo dei 12. Brumajo anno XI dall'Ing. Geometra G.B. Sappa sulla Scala di 1/5000, 3 novembre 1802



Figura 20: ASTo, Sezioni Riunite, Catasti, stralcio da Catasto Rabbini, Circondario di Torino, Mappe, distribuzione dei fogli di mappa e linea territoriale, 1837

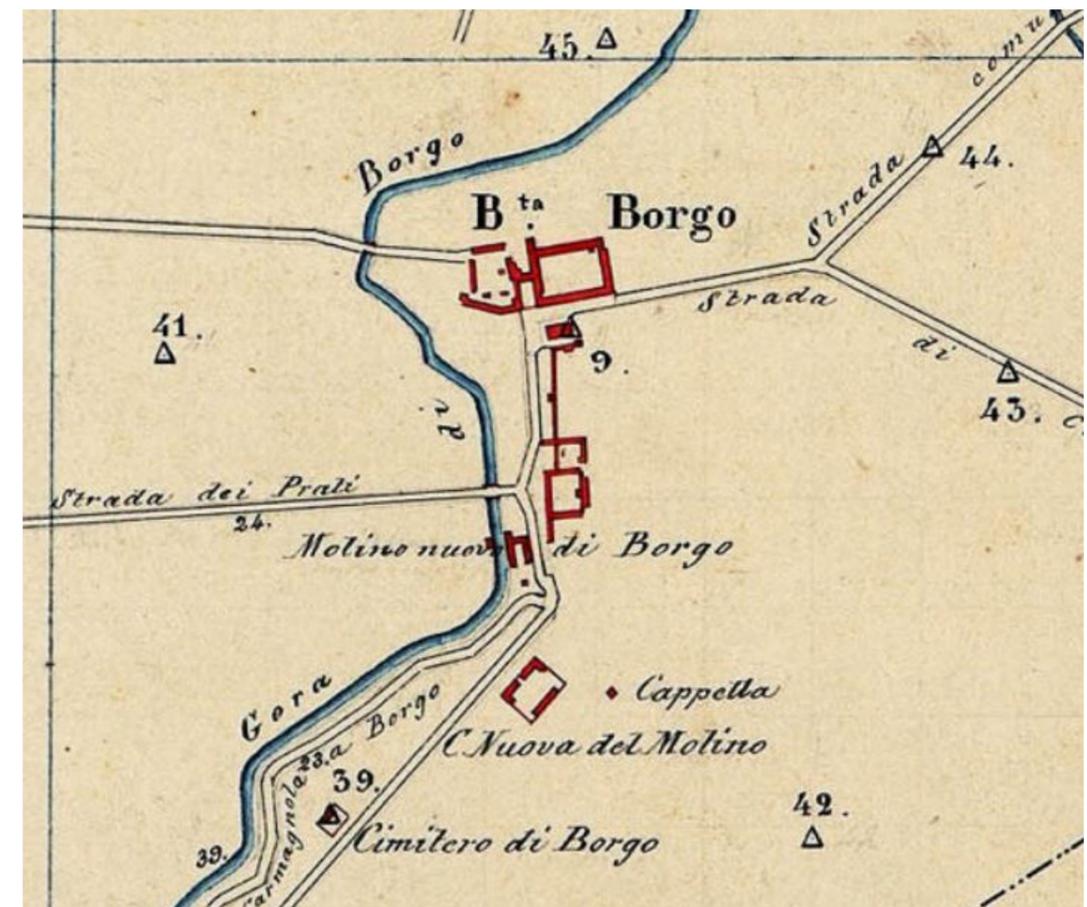


Figura 21: ASTo, Sezioni Riunite, Catasti, Catasto Rabbini, Circondario di Torino, Mappe, distribuzione dei fogli di mappa e linea territoriale, Villastellone, 1859-1860, marzo 217



Figura 22: ASTo, Riunite, Catasti, Catasto Rabbini, Circondario di Torino, Mappe, distribuzione dei fogli di mappa e linea territoriale, Villastellone, 1859-1860, mazzo 217, foglio 2

Centri Minori, a volte spontanea, a volte progettata, e spesso di estremo pregio e con valori da conservare e tutelare.

Oltre alla difficoltà riscontrata per il fatto che si tratta di architettura minore dobbiamo fare i conti con la fragilità del materiale di Archivio, che spesso non risulta nemmeno essere consultabile a causa dello stato di conservazione in cui sono sopraggiunti fino a noi i documenti recuperati dagli svariati archivi nella provincia torinese. Come nel caso dell'archivio storico del Comune di Villastellone che è stato riordinato per la prima volta nel 2014, e moltissima della documentazione presente in esso e connessa alla tematica conduttrice della ricerca è stata compromessa, a causa di un grave incendio che ha distrutto l'archivio parzialmente nel 30 novembre 1860, compromettendone l'integrità.

La ricerca archivistica si è concentrata, non solo sull'archivio di stato con le due sezioni che esso concerne, ma anche in

altri archivi, come quello di Villastellone, Carignano, Carmagnola.

All'interno dell'analisi storica si è dimostrato fondamentale confrontare mappe e carte catastali che vedevano raffigurato l'ambito di studio cercando in questo modo di ricostruire la storia dell'edificazione dei fabbricati e delle successive aggiunte.

Nel catasto francese risalente al 1804, si può notare l'edificato a forma di U che identifica il mulino, localizzato lungo il corso del canale dei mulini. La rappresentazione di questa particella catastale subisce una variazione nella sua raffigurazione qualche anno dopo, quando nel Catasto Rabbini del 1866 si nota il suo ampliamento e in quell'occasione venne aggiunta una macina. Si suppone che l'ampliamento dell'impianto molitorio del 1834 rientri nei lavori di restauro di tutti gli edifici di Borgo Cornalese, anno in cui venne sistemata la villa residenziale retrostante al mulino e anno in cui venne realizzata la Chiesa

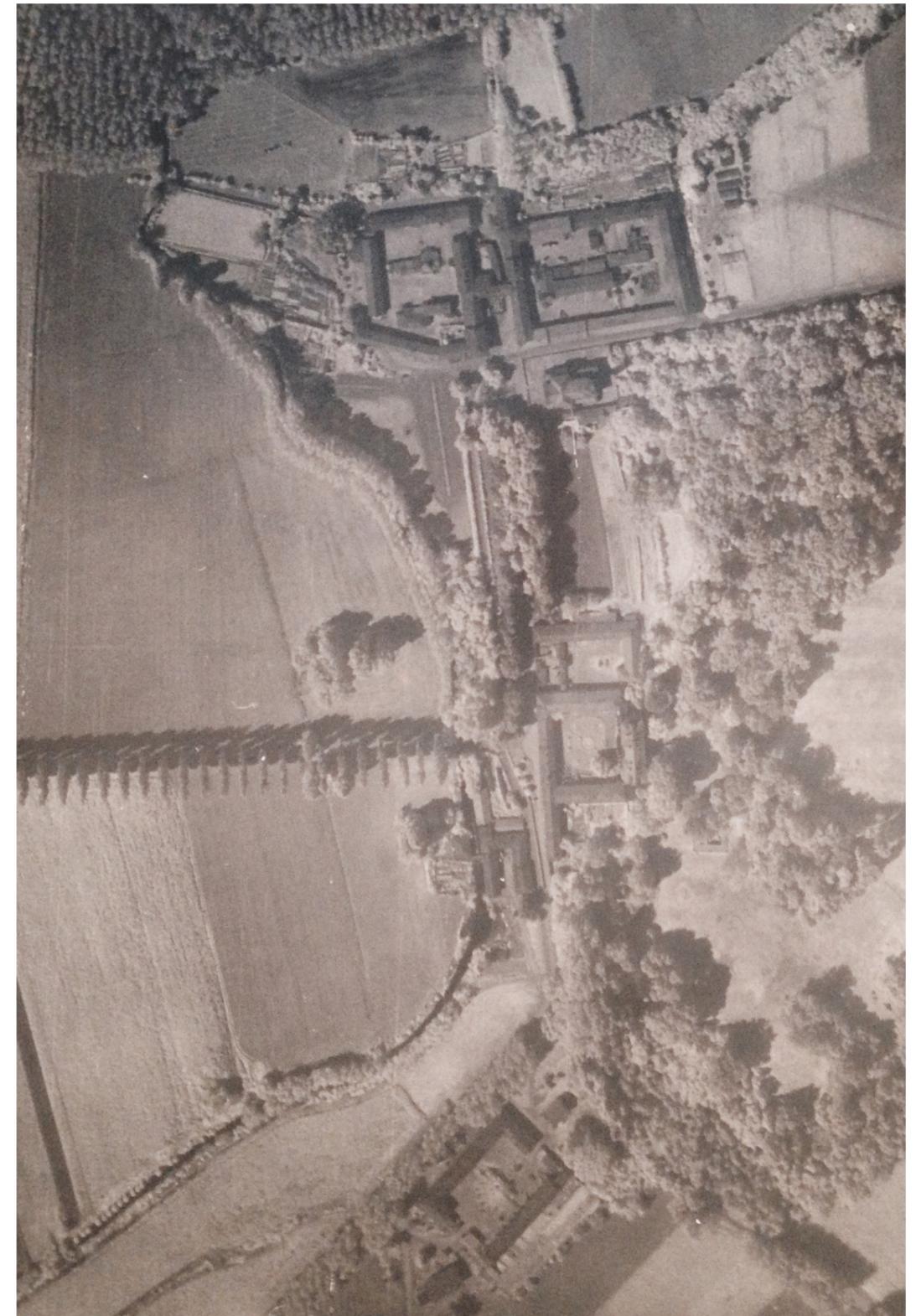


Figura 23: Archivio privato della famiglia De Maistre, foto aerea di metà Novecento

per opera dell'architetto Brunati, su commissione di Montmorency.

Sul finire del secolo il fabbricato in cui si svolgeva la lavorazione della canapa ormai in disuso venne adibito a centrale elettrica e in seguito smantellato.

Si hanno infatti notizie di come il mulino sia stato usato per la produzione di energia elettrica a servizio della residenza settecentesca dei Conti De Maistre, proprietari della tenuta comprendente il Mulino.

Nel 1950 era funzionante la ruota verticale utilizzata per la produzione di energia elettrica a 120 Volt per mezzo di una dinamo.

La volumetria attuale è il risultato delle trasformazioni risalenti ai primi anni del Novecento quando la struttura del mulino venne sopraelevata per inserirvi tre laminatori e cilindri della celebre ditta Blanc, il plansichter e il frangi tutto,

mentre vennero rimossi tre mole e il buratto. E vennero aggiunte due maniche d'edificio uno lungo la Gora di Borgo e l'altra in adiacenza alla manica corta perpendicolare al mulino, per insediare un'attività di falegnameria in cui venivano usate due seghe alimentate dal mulino.

Nelle due foto aeree si può notare come i due corpi retrostanti lo schema ad "U" del mulino siano visivamente differenti, il che indica che sono stati aggiunti successivamente come già sappiamo dai tanti disegni consultati in archivio. Le ultime volumetrie aggiunte al corpo di fabbrica preesistente però non sono tutt'ora presenti, infatti dietro alla segheria vi è una zona pilastrata lasciata a rudere. Durante la Seconda Guerra mondiale vennero pianificati dei bombardamenti, alcuni di importanza militare ovvero con lo scopo di mettere in difficoltà il nemico



Figura 24: Confronto tra due foto aeree, sopra: stralcio di una foto aerea della prima metà del Novecento, sotto: foto aerea risalente al Novembre del 2013.

durante il conflitto armato sul campo di battaglia e altri bombardamenti definiti strategici, ovvero con lo scopo di obbligare il nemico ad arrendersi non tanto durante le operazioni di lotta, ma colpendo la fonte della sua potenza militare.

E' in questo contesto che vennero bombardate quelle attività non inerenti prettamente ai contesti bellici ma che mettevano in difficoltà la popolazione, colpendo le attività di sostentamento di un popolo come le attività molitorie che offrono beni di prima necessità.

Quando l'Italia, fece la sua dichiarazione di guerra contro la Francia e la Gran Bretagna, venne fatta oggetto di alcuni bombardamenti da parte dell'aeronautica militare britannica, che colpì Torino e Genova, azioni che non vedevano nessun fine militare ben preciso ma serviva per terrorizzare i civili. Il 13 luglio 1943 la RAF, acronimo di Royal Air Force, con un bombardamento notturno provocò 813 morti a Torino.

Tra la fine del 1942 e l'estate del 1943 le città del triangolo Industriale<sup>i</sup> furono soggette a pesanti bombardamenti da parte degli aerei del "Bomber Command" provenienti dalle basi inglesi.

Si suppone che all'interno di questo scenario belligerante cadde una bomba sul mulino di Borgo Cornalese, non fu mai chiaro se fu un attacco intenzionale o se la bomba cadde per sbaglio, quel

i Triangolo industriale: area italiana di massima industrializzazione, compresa approssimativamente tra Torino, Milano e Genova. Le politiche protezionistiche (si inaugura l'età giolittiana della politica), gli aiuti statali e la grande disponibilità di manodopera portarono entro il primo decennio del 1900 ad un incremento nella produzione industriale senza precedenti in settori relativamente nuovi come la siderurgia o quello dell'energia.

Questa vera e propria rivoluzione si attuò nelle uniche zone che al tempo disponevano di infrastrutture adeguate: Lombardia, Piemonte e Liguria. La linea ferroviaria venne incrementata e divenne portavoce di questi nuovi sviluppi. Milano divenne il polo del secondario, Genova era il primo porto d'Italia e a Torino nel 1899 era nata la FIAT.

che è certo è che gli ultimi fabbricati aggiunti all'oggetto di studio vennero compromessi irrimediabilmente e mai più ricostruiti. Il sistema ad alta macinazione azionato dalla ruota idraulica ottocentesca è rimasto in attività fino al 2004: da allora non è più stato utilizzato mentre la coppia di palmenti giunta a noi ha continuato a produrre farina di granoturco fino al 2009.

## 2.3 Sviluppo del costruito

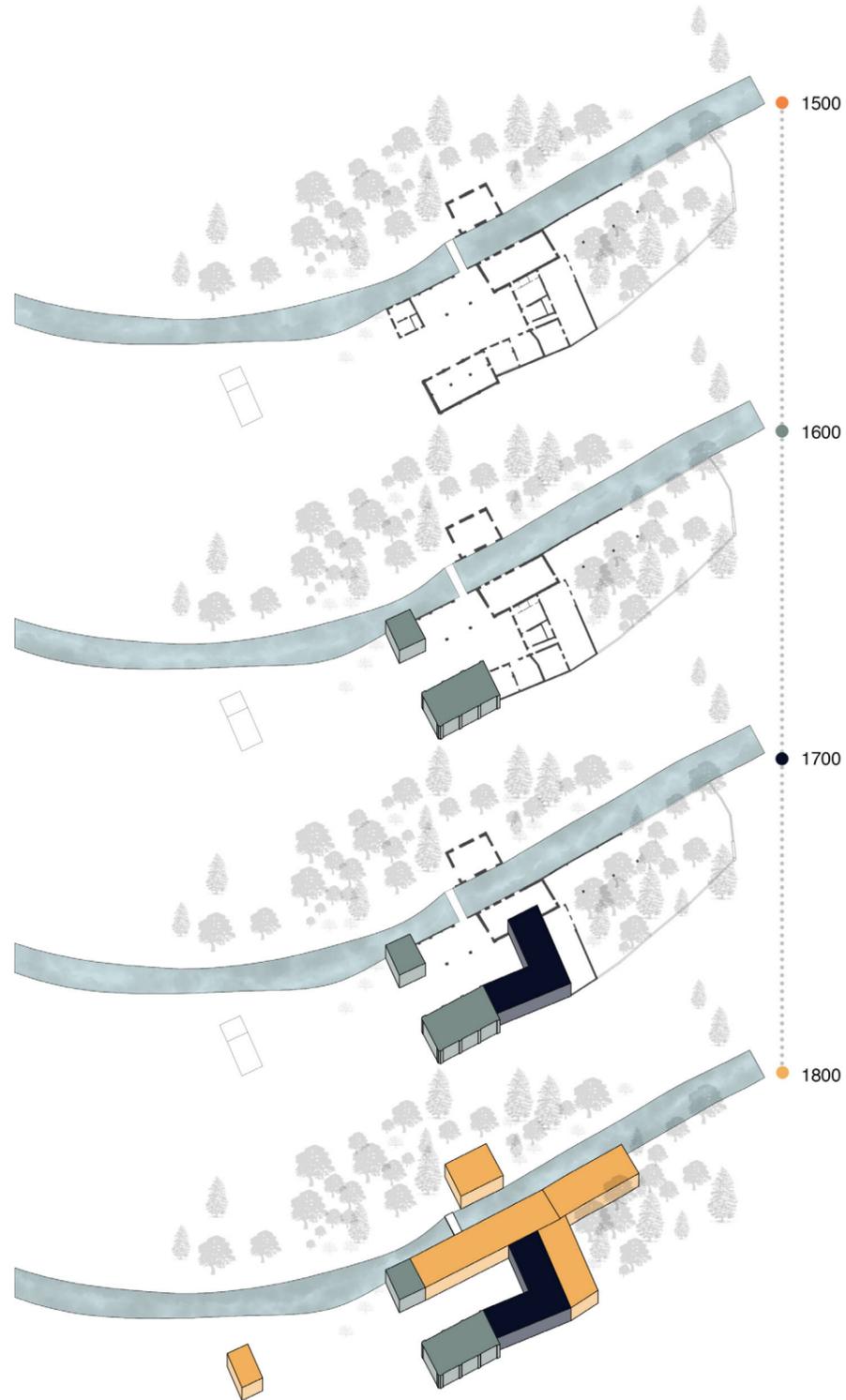


Figura 25: Schema rappresentante lo sviluppo del costruito, rielaborazione personale

Riassumendo la presenza del mulino è documentata a partire dal marzo 1281. Le prime volumetrie sono state ricostruite sul loco di un mulino antecedente, come testimonia il documento del 1597 dove si parla di un mulino fatto costruire nuovamente presso il Borgo e come supportano tutta la documentazione in cui viene citata questa data. Si suppone che il mulino precedente fosse in legno e che quell'anno venne fatto riedificare in muratura.

La struttura originaria è andata perduta e i fabbricati che vediamo oggi sono stati ricostruiti e rimaneggiati più volte, pur localizzandosi nel medesimo posto.

I corpi di fabbrica più longevi giunti fino a noi sono i due corpi aggiunti nel 1600 circa, essi presentano delle volte a vela nel loro interno che si sorreggono su pilastri in pietra. Questi rientrano nelle emergenze architettoniche da tutelare e conservare in fase di progetto per il loro pregio e per la loro messa in opera.

Il mulino descritto nella documentazione settecentesca e rappresentato nelle cartografie era composto da tre corpi principali costituiti perlopiù da parti in legno, come si legge nella perizia dell'Ingegnere Rossi sopracitata.

Le ultime aggiunte risalgono a epoche recenti, il che non assegna a questi fabbricati un particolare pregio architettonico.

L'ultimo passaggio che apporta variazioni sostanziali al costruito, fu la loro demolizione durante il periodo della guerra.

L'indagine storica spesso si incrocia con il rilievo, se questo viene eseguito in maniera meticolosa ci offre la possibilità di rivelarci diversità di fatture tra porzioni contigue innestando in noi il dubbio sulle fattezze della fabbrica.

La storia dovrebbe rivelare la ragione delle diversità nella fattura dell'edificato, *"fasi costruttive diverse possono comportare difetto di connessione; maestranze diverse possono introdurre non trascurabili varianti meccaniche nella natura materiale dell'opera"*<sup>1</sup>.

L'indagine storica è da considerarsi la fase iniziale per ogni progetto che deve metter mano a fabbricati preesistenti.

Inoltre la storia, e la sua districata analisi, è uno degli strumenti fondamentali per comprendere le fasi successive di passaggi che altrimenti non risulterebbero comprensibili: *"perché laddove riesce difficile cogliere il significato delle cose per come queste si presentano, riferirsi ai modi della loro evoluzione può consentire di districare immediatamente le ragioni del loro essere"*<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> A. Giuffrè, Leggendo il libro delle antiche architetture, aspetti statici del restauro, saggi 1985-1997, a cura di C. F. Carocci e C. Tocci, Roma, pp. 18-19

<sup>2</sup> Ibidem, pp. 6

### 3. Percorso storico dell'attività molitoria

#### 3.1 Le origini dell'attività molitoria

Rielaborare un prodotto della terra per poterne meglio usufruire, rendendolo commestibile e consentendo la realizzazione di un secondo prodotto, è stato motivo di interesse per la specie umana fin dall'antichità. L'arte della frantumazione dei cereali ha origini remote, come anche gli strumenti utilizzati per il loro trattamento.

Il vocabolo 'Mulino' proviene dalla radice del verbo latino 'molere' che significa macinare, dalla medesima radice deriva pure 'mola' che rappresenta la macina del mulino.

I mulini sono delle macchine molto antiche, che sul finire del III millennio a.C. si diffusero nella tipologia a palmenti<sup>i</sup>, costituita da una grossa macina in pietra cilindrica, che ruotava orizzontalmente e da una seconda macina fissa che attraverso lo sfregamento trasformava il grano in farina.

In età romana si utilizzava la 'mola versatilis' azionata manualmente dagli schiavi, tecnica che andò in disuso col progresso e lo sviluppo passando gradualmente a sfruttare altre tipologie di forza motrice, determinando il passaggio dallo sfruttamento della forza umana e animale a quella naturale.

Un passaggio determinante per questa tecnologia viene compiuto con l'adozione della forza idraulica come forza motrice. Le prime ruote idrauliche con la capacità di sfruttare il naturale scorrere del flusso d'acqua, trasformando quindi l'energia cinetica di un torrente o un corso d'acqua in energia motrice di un livello più alto appartengono alla Cina e all'Europa del I secolo a.C., a cui seguono il mulino greco e scandinavo, paesi in cui la ruota gira solamente orizzontalmente fino al XX secolo.

<sup>i</sup> Mulino a palmenti: è uno dei più antichi della storia e venne utilizzato nella maggior parte dei casi per la macinazione di granaglie, semi, pigmenti, colori, cosmetici e prodotti farmaceutici

L'abburattamento<sup>ii</sup>, tecnica di separazione della crusca dalla farina tramite il buratto, fu introdotto nel 1660 per opera di un francese che diede inizio alla alta macinazione.

Con alta macinazione si intende un procedimento in cui la riduzione del grano in farina avviene gradualmente, con diversi passaggi e con eliminazione della crusca in maniera graduale.

Il tutto venne poi perfezionato con l'introduzione di un'ulteriore innovazione, riguardante la pulitura della semola, avviato in Ungheria, dove venne anche applicato per la prima volta il laminatoio a cilindro che sostituì rapidamente le macine.

Con il termine 'rodon' dal dialetto piemontese si fa riferimento alla ruota idraulica verticale, questa denominazione derivava dalla denominazione della medesima nei più antichi documenti medievali che la vedevano citata come 'rovatus', nel Piemonte la grande maggioranza di mulini sono dotati di una ruota idraulica verticale che raggiunge un diametro superiore di 5 metri, e viene mossa da un salto d'acqua incanalata per rendere la forza idrica più potente. Ogni ruota presenta una propria pendenza in modo tale che sia evitata ogni tipologia di turbolenza.

Le ruote dotate di pale sagomate in ferro sono le ruote Poncelet, che hanno la funzione di trasformare l'energia cinetica del corso d'acqua in energia meccanica, queste vengono azionate mediante il sollevamento dell'apposita paratia, che una volta sollevata, permette la messa in moto del sistema.

Le acque assumono un ruolo economico fondamentale nel Piemonte medievale, infatti l'impianto molitorio è considerato un bene economico in grado di produrre un cospicuo ricavo economico, è per questa

<sup>ii</sup> L'estrazione della crusca e del cruschetto dalla farina per mezzo del buratto

motivazione che spesso si assistette a dispute per far passare corsi d'acqua in una posizione piuttosto che in un'altra per alimentare questa o quella attività molitoria.

#### 3.1.1 Le evoluzioni tecnologiche che hanno determinato lo sviluppo dell'energia idraulica

Parlare dei mulini e delle ruote significa ripercorrere le trasformazioni lavorative ed energetiche che hanno interessato lo sviluppo della storia delle città, e lo sviluppo dell'attività lavorativa dell'uomo.

Il Piemonte è una regione che ha largamente impostato il suo approvvigionamento energetico sulla risorsa idrica poiché nonostante l'avanzamento dell'industrializzazione e la diffusione della macchina a vapore non utilizzò i moderni tecnicismi dato che mancavano le materie prime come il carbone, così che il vapore toccò solo di sfuggita l'industria sabauda. L'acqua rimase fondamentale per le attività produttive piemontesi solo sul finire del XIX secolo la tendenza cambiò e l'energia elettrica prese ampiamente piede.

L'utilizzo della ruota ad acqua ha origini molto antiche, sono giunte fino a noi testimonianze certe di questo meccanismo per la produzione di energia almeno al primo secolo avanti Cristo, mentre la sua effettiva diffusione è medievale.

In base all'impiego che doveva svolgere il mulino e in base alla sua localizzazione geografica le forme e le strutture si diversificavano, si individuano due tipologie: i mulini galleggianti e mulini terragni.

I primi si posano su barche o chiatte, ancorate alle rive o sotto il livello di un ponte, in questo modo la ruota si adagia alle variazioni del livello delle acque che non è mai costante e in questo modo la ruota riesce a seguire le variazioni dell'acqua evitando le problematiche

connesse ai periodi di secca.

La seconda tipologia, i mulini terragni, hanno bisogno di un corso d'acqua mediamente costante che li alimenti, in questa struttura è importante l'opera di canalizzazione in quanto i mulini che hanno una caduta naturale sono abbastanza rari, e risulta quindi necessario predisporre un nuovo canale al di sopra della ruota, il tutto richiede delle operazioni complesse e costose. Nel corso del fiume deve essere creato uno sbarramento, con una diga a tracimazione in modo che si formi una zona in cui l'acqua si mantenga pressoché costante, da qui si dipana un canale che porta l'acqua alle ruote, è necessario infine prevedere un ulteriore canale che collega il primo tratto con il fiume, quest'ultimo è il canale scaricatore, che permette la regolazione del flusso delle acque e di ridistribuire le quantità in eccesso.

Le differenze nelle tipologie di mulini sono numerose e possono variare sia nella struttura che a seconda della localizzazione geografica in cui il manufatto si trova.

I mulini ad asse verticale sono i più antichi, poiché non richiedevano l'impiego di ruote dentate. Le macine dei mulini sono ordinariamente poste con asse orizzontale, con la pietra inferiore fissa, poggiata su di un castello e più precisamente sull'arreschio, un foro presente al centro permette all'albero di attraversarla e di impegnarsi nella mola che ruota.

Un mulino con ruota ad asse orizzontale presenta un sistema più complesso. L'albero della ruota è appoggiato su due fusi in metallo infissi nelle estremità, che

si appoggiano in due cunette ricavate appositamente nel legno, che più avanti verranno sostituite dal metallo, tali supporti devono essere forti a sufficienza da sorreggere il peso dell'albero, ma anche la spinta dell'acqua. Uno dei due supporti è posto sull'altra sponda di ubicazione del mulino. Sull'albero si trova pure una ruota dentata che trasmette il moto a una ruota a lanterna o pignone, costituita da una coppia di dischi assai più piccoli, collegati da una serie di pioli, ha la forma di una gabbia cilindrica, questi pioli si incastrano in quelli del pignone.

Questa struttura è più complessa, e richiede infatti l'utilizzo di due ruote a denti, di due alberi e di almeno tre supporti a cuscinetto.

Il vantaggio principale è che si ottiene una completa e differente velocità, che permette di ottimizzare lo sfruttamento dell'energia idraulica. Con l'avvento del Rinascimento l'uomo cercherà di razionalizzare le tecniche apprese e fino ad allora utilizzate per impostare nuove migliorie.

Molti sono gli ingegneri militari del Rinascimento che hanno lasciato traccia dei loro studi, nella scuola italiana abbiamo numerosi esempi come Mariano di Jacopo detto il Tocco, Leon Battista Alberti, Filarete, Francesco di Giorgio Martini, Giuliano ed Antonio da Sangallo e Leonardo da Vinci, tutti questi illustri studiosi si sono preoccupati di studiare l'energia idraulica e la sua trasformazione in energia meccanica.

Nel XVI e nel XVII secolo non si registrano particolari innovazioni in ambito tecnologico, mentre si registra una vasta produzione di trattati che illustrano esattamente il funzionamento di ogni tecnicismo ma ripetono gli schemi tramandati sin dai primi anni del medioevo. Ancora agli inizi del secolo XIX le ruote ad asse verticale permettevano di ottenere una resa non superiore al 20%. Per quanto riguarda le ruote ad asse orizzontale si vedevano raggiunti ben altri livelli più proficui di rendimento. Lo

stesso Leonardo da Vinci si preoccupò di impostare il problema per ottimizzare la resa energetica arginando gli sprechi per una ruota idraulica, ma solamente più avanti si affronta il problema anche dal punto sperimentale, giungendo a pratiche applicazioni ingegneristiche solo nel XVIII secolo.

Con la seconda rivoluzione industriale vennero introdotte le turbine, e la scoperta di fonti di energia inanimata quali il carbone, il petrolio o il gas metano innescarono un rapido processo di urbanizzazione, che si trasformò in un continuo e massiccio trasferimento di forza lavoro dalle aree rurali ai centri urbani e industriali, è in questa fascia storica temporale che i mulini uscirono lentamente di scena, e gli studi ingegneristici si concentrarono sulle nuove fonti di produzione di energia.

### 3.1.2 La guerra dell'acqua (XII-XIII secolo)

Borgo Cornalese al giorno d'oggi rientra nel territorio comunale di Villastellone, ma le sue vicende storiche sono lunghe e travagliate e hanno affinità coi comuni limitrofi come ad esempio Chieri, Carmagnola, e il Marchesato del Monferrato.

Negli eventi storici narrati da Rinaldo Comba, storico e studioso, si narra di Chieri come un territorio fortemente sabbioso, dove le dinamiche di approvvigionamento idrico furono complesse fin dai tempi più remoti, le prime migliorie si registrano nel periodo romano quando venne introdotto l'acquedotto che sfruttava le sorgenti collinari. I territori pianeggianti compresi tra il Po, Moncalieri, Carmagnola e Santena erano decisamente più ricchi di corsi d'acqua, caratteristica territoriale testimoniata dal precoce insediamento di ordini monastici Cistercensi e Templari, che vedevano nella risorsa idrica un valido investimento economico.

Sono queste le zone che subirono maggiori modificazioni antropiche, con

l'iniziale creazione di due torrenti, il Banna e il Tepice, tra il XIV e XV secolo.

Il comune di Chieri, spinto dalla volontà di potere e controllo territoriale, si battè molti anni per ottenere la villa di Santena, e l'area delimitata dal Po, dalla Banna, Carmagnola e la stessa Santena per poter godere appieno del torrente, per poter crescere in termini demografici ed economici.

All'interno degli atti inerenti la disputa su Santena vengono nominati per la prima volta i mulini, anche se non è chiaro se fossero già esistenti o se si facesse riferimento alla possibilità di costruirne. Nell'atto di vendita, che assegnava Santena al Comune di Chieri, si stabilì che l'acquirente potesse costruire nel luogo in cui oggi si erge Villastellone, una villanova e che solamente a questa spettava l'utilizzo delle acque del torrente Stellone e del Po morto, i cui alvei delimitavano il futuro nucleo abitato.

Nel 1203 i Templari acquistano il terreno di Chieri, dovettero posticipare la creazione della "villanova" dello Stellone, ma non rinunciarono all'espansione del territorio, inglobando prima la curia di Cavanne a seguire un terzo di Gorra, Cavannelle, Ceresole, Ceresolette e Alba Speciosa.

Nel 1236 troviamo realizzata la villanova di San Martino dello Stellone, le testimonianze risalgono al 1245 anno in cui Chieri fu costretta a stipulare nuovi patti con i Templari e l'atto in causa riporta i passaggi della ridefinizione dei diritti d'uso delle acque e della successiva responsabilità della loro deviazione mediante lo scavo di nuovi canali, e chiuse senza dimenticare le nuove costruzioni di mulini e il loro sfruttamento, indice dei reali interessi economici.

Il rapporto del 1245 che si stabilì tra il Comune e i Templari vide Chieri accaparrarsi per due terzi il controllo degli 'artificia', e una clausola del contratto che prevedeva che tutti gli abitanti del capoluogo e del distretto ad effettuare la macinazione del grano presso i mulini di Villastellone cogliendo così totalmente il valore della nuova fondazione, divenendo

il polo a cui fare riferimento.

Villastellone è consciamente programmata per divenire un'area di produzione polivalente, che rimane da raccordo tra la città e il suo territorio, obiettivo raggiunto grazie anche ai monasteri che contribuirono ad arricchire ruote e macine il paesaggio urbano e rurale. Il loro operato fu estremamente significativo per Villastellone, in particolar modo il loro precettore Ronaldo Bergognino che sottoscrisse il primo accordo per la fondazione della villanova, sfavorendo i Templari.

I contributi economici sia dei Templari che dell'ordine monastico favorirono la concretizzazione dei progetti molitori ad acqua, che comportavano l'escavazione e la manutenzione di canali artificiali, spese ingenti che il solo Comune non avrebbe affrontato con successo.

Non si posseggono notizie dirette sull'effettiva realizzazione degli impianti in Villastellone e mancano pure i progetti di scavo dei canali artificiali regolamentati nei patti del 1945, per modificare il corso dello Stellone e del Po morto.

Il conflitto tra le antiche alleate Asti e Chieri nel 1260, vide vincitore Asti che chiese come pegno di vittoria metà Villastellone, situazione che gravò drasticamente sull'economia costringendo Chieri negli anni successivi a scendere a patti con il vicinato per non vedersi affondare.

La 'guerra dell'acqua' continuò nel corso di tutto il secolo con immutata densità.

Un'ulteriore testimonianza dell'effettiva realizzazione del 'polo industriale' della villanova dello stellone proviene dai patti del 1313 tra i Templari e il comune sui mulini di Villastellone, ciò testimonia l'effettiva realizzazione dei mulini adibiti alla macinazione dei grani della villanova di San Martino dello Stellone, che si andavano a sommare con quelli presenti sul territorio chierese.

Nel 1270 Chieri rientrò in possesso della totalità di Villastellone e solo quattordici anni dopo riuscì ad ottenere la completa giurisdizione sul vicino villaggio di

Bulgarium, oggetto del nostro studio e attuale Borgo Cornalese. La classe dirigente Chierese lungimirava da tempo la volontà di allargare il bacino di produzione, che doveva essere delimitato da Santena a est, a nord ovest da Villastellone e a sud ovest da Borgo Cornalese.

Nel 1284 Bulgarum pervenne integralmente nelle mani di Chieri, che espresse la volontà di espellere dal borgo tutte le persone dal sito legate ai primitivi signori, spopolando il loco e avendo di nuovo la possibilità di costruire una villanova.

Chieri durante tutto il corso del XIII secolo proseguì nella sua espansione e nel continuo controllo dei mulini presenti nel suo territorio, progetto che si scontrò con i proprietari privati come famiglie eminenti o ordini ecclesiastici che ostacolarono la nazionalizzazione delle attività.

Chieri non si presentava del tutto senza 'acque e mulini' anche se non offriva un intreccio articolato di corsi d'acqua, ma sfruttava al meglio la singolare presenza della 'via dell'acqua' utilizzata per tutti gli usi, da necessità alimentari all'irrigazione dei campi contigui, includendo la produzione di energia idraulica.

I canali artificiali aperti in età medievale sotto nei giorni nostri quasi tutti infossati nel suolo, ne abbiamo la loro antica traccia nei catasti, in particolar modo nel Catasto Rabbini, che segna il percorso del Rio Tepice, che crebbe di portata e importanza tale da divenire per il Comune Piemontese un vera e proprio 'via d'acqua'.

Le informazioni giunte fino a noi risalenti al XIV secolo in materia di mulini e corsi d'acqua sono scarse anche se nel 1313 i Comuni, travolti dalla crescita demografica si trovano a dover far fronte al problema idrico, vengono infatti costruiti nuovi pozzi. Gli statuti del comune di Chieri volgono la loro attenzione alla manutenzione dei corsi d'acqua e si fa in modo che nessuno si approfitti tramite deviazioni artificiali dello scorrere delle acque.

Insorgono delle rivalità tra Chieri e il comune di Riva per lo sfruttamento delle acque del torrente Banna e del Rio Ravetta

(antico Buirone), così Chieri costruì un nuovo mulino fortificato, per prevenire la sua distruzione in un'epoca di continui assalti e guerre per lo sfruttamento delle risorse territoriali.

Nel 1313 Chieri acquisisce l'usufrutto e il possesso dei due torrenti, rievocando la difficoltà di far conciliare le esigenze tassative del Comune con la scarsa presenza di torrenti del luogo e con le necessità dei privati di usufruirne liberamente per l'agricoltura e l'allevamento. L'inserimento della clausola a proposito dei mulini dei Villastellone, testimonia la continuità di ruolo svolta dalla villanova nel programma economico di Chieri, il quadro che emerge nella prima metà del XIV secolo ricalca quella del secolo precedente, infatti i mulini di Villastellone, Borgo Cornalese e Santena sono ancora efficienti.

Nel 1347 il comune di Chieri venne definitivamente sottomesso dai Savoia, e di conseguenza Villastellone venne spopolata a causa della sua posizione periferica e del suo non esistente apparato difensivo che la resero particolarmente vulnerabile. Il comune di Chieri tentò di ripopolare il Comune di Villastellone senza successo, così anni dopo venne affidato a una potente famiglia locale che aveva lo scopo di fortificarlo e ripopolarlo, in questo periodo Chieri dovette rinunciare ai diritti sulla molitura di Villastellone.

Agli inizi del Quattrocento, la popolazione sottostante il Comune di Chieri si trovò obbligata a ricostruire i mulini di Villastellone e il comune si impegnò in grandi opere di canalizzazione delle acque, definendo il quadro completo delle acque.

Il cosiddetto Canale dei mulini che scorre accanto agli abitati di Borgo Cornalese e Villastellone 'bealera de molandino' doveva esistere, come testimoniano gli estimi, fin dal Duecento, ma il tracciato non ricalca quello quattrocentesco.

Venne edificato un nuovo mulino a Chieri all'uscita del Merdero dalle mura cittadine, costruito nel 1415 e nel 1424 ci fu una più



#### LEGENDA

- Centro di produzione
- Centro di commercializzazione
- Centro acquirente

Figura 1: Rielaborazione personale, schema degli scambi tra produttori e acquirenti delle mole in pietra dei mulini, da Comba, R., *Mulini da grano nel Piemonte Medievale, secoli XII – XV*, Cuneo, Società per gli studi storici, archeologici ed artistici della Provincia di Cuneo, 1993

elaborata operazione di deviazione delle acque del Rio Tepice, il quale venne fatto confluire nella Banna per aumentarne la portata, conducendo il canale dei mulini nella direzione della Banna.

Non contento il comune di Chieri, ottenne dal marchese di Saluzzo, il permesso di poter deviare il corso del torrente Mellea per andare meglio ad alimentare la portata dei canali dei mulini di Villastellone per alimentare gli impianti di Gallè e della Splua.

Queste profonde modificazioni da parte del comune di Chieri, ebbero un riscontro negativo, infatti il torrente Banna divenuto collettore delle acque di tutto il bacino collinare, divenne incapace di gestire la propria portata nei periodi di grande pioggia causando a più riprese allagamenti su tutto il terreno circostante di Santena, Villastellone, Moncalieri e Cambiano.

Lo sviluppo dell'industrializzazione del settore tessile portò ad una nuova sistemazione idrica nel territorio costruendo impianti idraulici di una certa consistenza poiché quel settore divenne il pilastro trainante dell'economia.

Un elemento sempre riscontrato nei tecnicismi necessari al funzionamento dei mulini è la gora, bealeria, il cui alveo è scavato nella terra, o più raramente nella roccia. In alcune località è attestata la presenza di una ficca, ovvero di uno sbarramento costituito da ramaglie, pali, assi, e terriccio, con il solo scopo di assicurare la costanza del flusso d'acqua del torrente.

Queste realizzazioni, come si può notare dalla loro costruzione sono abbastanza precarie e dunque facilmente soggette a degrado, per cui richiedevano una costante manutenzione, la cui esistenza è continuità temporale è testimoniata nel tempo dalle spese, non ingenti, sostenute annualmente per permettere il massimo rendimento della produzione.

La manutenzione prevedeva la cura del canale tramite scavatori, e il riposizionamento dei materiali rimossi e trasportati dalle acque.

I conti sono la testimonianza della fragilità delle opere di canalizzazione, messe continuamente in discussione dalle piene susseguitesesi nel corso dei secoli.

Tutte le componenti e la loro manutenzione sono pervenuti a noi grazie ai conti registrati, l'acquisto frequente di alcune parti mette in mostra la loro fragilità e la loro necessaria sostituzione fondamentale ai fini di funzionamento del complesso.

### 3.2 Varie tipologie di mulino

I mulini sono potenti macchine che utilizzano le forze naturali dell'acqua e del vento per produrre lavoro. Queste potenti macchine hanno permesso di risolvere alcuni importanti quesiti della civiltà umana come ad esempio la lavorazione dei prodotti agricoli, il sollevamento di ingenti quantità d'acqua, l'irrigazione dei campi coltivati e il funzionamento di macchine.

I mulini possono essere di due tipologie, ad acqua o a vento, che utilizzando questa o quella forza si mette in moto gli ingranaggi, collegati tra loro in maniera complessa per produrre energia meccanica. Le prime testimonianze dell'attività molitoria appartengono all'area mesopotamica, dove secondo alcune leggende il re babilonese Hammurabi fece irrigare la pianura tra il Tigri e l'Eufrate muovendo acqua grazie ai primi mulini a vento.

#### 3.2.1 Mulino ad acqua

Questa è la tipologia in cui rientra il nostro caso studio, si tratta infatti di un mulino ad acqua, che sfrutta la forza del torrente Gora di Borgo.

L'idea di utilizzare lo spostamento di masse d'acqua per far funzionare utensili e macchinari utili a semplificare la vita dell'uomo risale a tempi antichi, che

hanno visto nel mulino l'applicazione pratica di quell'idea, utilizzata per almeno 2000 anni, fino all'era industriale, quando l'avvento dei motori a combustione e la nuova energia elettrica soppiantarono quasi completamente questa tipologia di produzione.

I mulini ad acqua si diffusero per ovvi motivi di messa in opera, in quelle aree ricche di corsi d'acqua regolari e con una buona portata torrentizia che potevano permettere un utilizzo proficuo della macchina, come l'area alpina e del nord Europa.

La prima tipologia in questo ambito che prese piede fu la **ruota orizzontale** a palette o semicucchiaie, dove la trasmissione del moto e quindi della rotazione delle pale attraverso l'albero verticale avveniva in maniera diretta e avveniva dalla ruota alla macina. Un giro della ruota motrice corrisponde ad un giro della mola superiore.

Il mulino a **ruota verticale** sostituì la tecnologia a ruota orizzontale poiché fu subito più efficiente, e si azionava per mezzo di un ingranaggio detto **ruota dentata** o **lanterna** che permetteva la moltiplicazione dei giri ed anche il passaggio del movimento di rotazione da verticale nella ruota ad orizzontale nella mola.

Il De Architectura<sup>i</sup> è tra i primi trattati che descrivono il funzionamento dei mulini.

Il proliferare di questa attività subì dei ritardi o rallentamenti laddove le invasioni barbariche furono maggiormente presenti nei secoli V e IX.

Quando si raggiunse stabilità politica, i confini territoriali erano vagamente definiti assieme alla crescita demografica e alla stabilità economica si ebbe il vero e proprio impulso a queste attività artigianali che portarono l'aumento dell'attività produttiva.

Durante il feudalesimo<sup>ii</sup> vigeva la regola

<sup>i</sup> Vitruvio Pollione, M., De Architectura, trattato, Roma, 1486-1487

<sup>ii</sup> Insieme di legami personali e politici e poi sistema

che il proprietario del terreno era automaticamente proprietario di tutto ciò che vi giaceva sopra, ivi compresi i manufatti, gli animali, gli uomini e l'utilizzo di tutte le risorse naturali che esso poteva offrire, come i corsi d'acqua o i campi.

Con la successiva economia comunale venne introdotto il concetto di bene pubblico delle risorse di un territorio per giovare non solo al proprietario del terreno ma all'intera comunità, quindi venne introdotto un addetto, nel nostro caso il mugnaio, che svolgeva il suo lavoro di libero professionista non vincolato alla proprietà del feudo. Crebbe l'idea che l'acqua dovesse essere soggetta a tassazione poiché capace di generare lavoro, e di produrre guadagno. Tendenza che negli anni venne estremamente rafforzata, basti pensare al monopolio che ha tutt'ora lo Stato sulle acque per la produzione di energia idroelettrica e i vincoli che gravano sull'installazione di qualsivoglia struttura nelle prossimità delle acque.

I mulini si differenziavano da zona a zona, in montagna ad esempio vi era la possibilità di sfruttare il salto d'acqua naturale, utilizzando la velocità dell'impatto d'acqua, la ruota solitamente è piccola a corona e l'albero molto robusti e pesanti anche per conservare una maggiore inerzia, le palette innestate direttamente sulla corona per permettere una facile sostituzione.

La situazione cambiava in pianura, dove non disponendo di adeguati dislivelli per creare un salto d'acqua, si utilizzava la tecnologia 'per di sotto', che data la grande quantità d'acqua e la bassa pressione assieme alla bassa velocità la ruota doveva essere molto grande, a volte sino a raggiungere una decina di metri, con pale molto curate per catturare la maggior spinta possibile.

In pianura andavano quindi a delinearci

socioeconomico che caratterizzò l'Europa occidentale medievale. Le sue componenti fondamentali furono l'istituto del feudo e il vassallaggio

due tipologie, la prima prevedeva un edificio fisso in muratura o in legno con le ruote poggianti sulle fondamenta, la seconda invece si presentava flottante, con grandi barconi di legno ancorati alla terraferma.

Una soluzione più efficiente è senza dubbio quella che prevede l'alimentazione con "la ruota di sopra" che necessita di un dislivello che consenta il salto d'acqua di almeno il diametro della ruota, tipologia che venne utilizzata principalmente nelle aree pedemontane e collinari.

Nel XII secolo venne inventato l'albero a camme, si tratta sostanzialmente di grossi cunei innestati nell'albero rotante, consentendo l'utilizzo di macchinari a movimento discontinuo o alternato.

Vennero introdotti poi i magli, martelli di grandi dimensioni con la testa in ferro e

una trave di legno come manico, alzati dal cuneo della camma e lasciati cadere.

Le innovazioni maggiormente significative si ebbero con la prima rivoluzione industriale, come avvenne anche per le altre tipologie di mulini. Quando per la macinazione dei cereali venne inventata la mola a cilindri vennero anche inseriti degli accorgimenti tecnici che andarono a migliorare le strutture meccaniche come per esempio nuove ruote dentate e pale in ferro, cinghie per la trasmissione della forza, e turbine idrauliche ad alto rendimento connesse a generatori elettrici. Le ruote si distinguono tra loro sia per fattezze che per come esse vengono alimentate dal corso d'acqua.

Analizziamo ora i vari modelli di ruota:

La **ruota per di sotto**, detta anche ruota a palette, dove l'acqua muove spingendo le

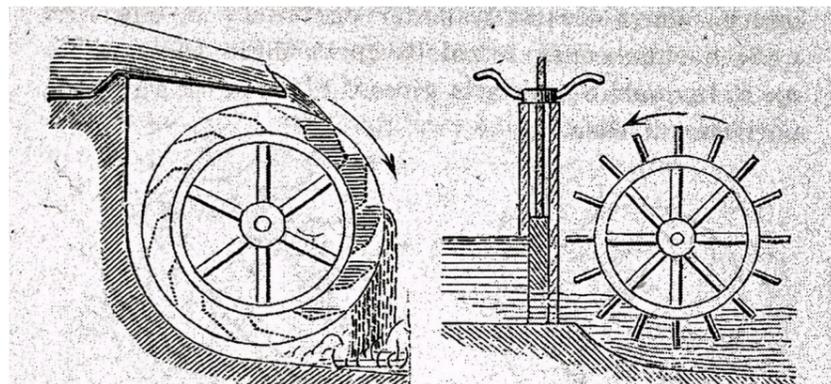


Figura 2: Schema dell'alimentazione delle ruote: a sinistra ruota idraulica a corrente superiore (a cassette), a destra ruota idraulica a corrente inferiore (a palette)

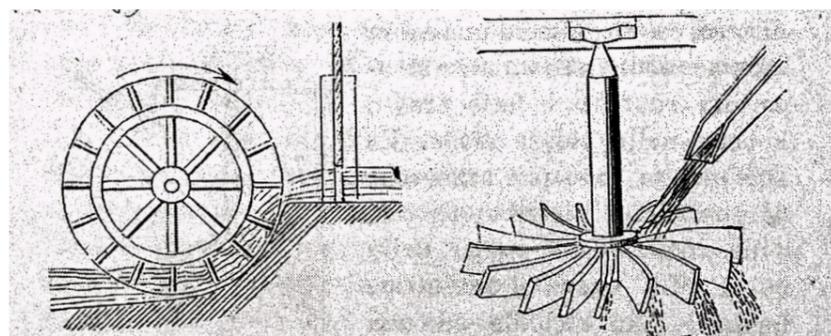


Figura 3: Schema dell'alimentazione delle ruote: a sinistra ruota idraulica di fianco, con palette, gli intervalli compresi tra queste palette sono convertiti in cassette, mobili entro un canale circolare di raggio e larghezza di pochissimo superiori di quelli della ruota; a destra altra tipologia di ruota, ad asse verticale, alimentata per di sopra

pale immerse nell'acqua. Questa tipologia è adatta a grandi volumi d'acqua, con bassa velocità.

La **ruota per di sopra**, viene anche chiamata ruota "a cassetta", dove viene utilizzata la massa dell'acqua e non la sua velocità. L'acqua viene immagazzinata in piccole cassette, localizzate sulla parte superiore della ruota, che vengono svuotate al compimento del semigiro inferiore. Questo sistema è maggiormente proficuo e non servono grandi volumi d'acqua ma necessita un dislivello alto poco più del diametro della ruota, questa tecnologia richiede una precisa regolazione del flusso d'acqua.

La **ruota a metà**, viene detta anche di petto, ha un rendimento medio rispetto ai precedenti, e viene utilizzato quando il flusso d'acqua non è sufficiente per alimentare la ruota per di sopra. Si sfruttava la velocità della piccola quantità d'acqua, dovuta al salto di quota, che veniva coperto negli ultimi salti prima di raggiungere le pale. Qui vi era un sofisticato sistema di canalette che colpivano con precisione le pale, parzialmente strutturate a cassetta.

Analizziamo ora gli elementi costitutivi delle ruote e degli assi.

L'**albero** è l'asse di rotazione orizzontale, chiamato anche albero a motore, in quanto, oltre a fare da perno per la ruota di forza, trasmette il movimento agli ingranaggi oppure nelle tipologie meno complesse è dotato di camme per trasformare il movimento rotatorio in discontinuo.

Con **razze**, o i bracci della ruota, si intendono gli assi di collegamento e quindi trasmissione del movimento dalle corone delle pale all'albero, fulcro della ruota.

Le **corone**, sono innestate nelle razze, che sono la base di appoggio e sostegno alle pale. Si trovano quattro assi di base, tagliate a quarto di cerchio a formare un cerchio intero, ma più spesso si tratta di una serie di tavolette a formare il cerchio tramite un sofisticato sistema di incastri ed innesti.

Quando si parla di **pale** si intende le assicelle trasversali innestate sulle corone

adatte a sopportare la spinta dell'acqua.

Le **cassette** si trovano solamente nelle ruote alimentate dal di sopra sono delle assicelle opportunamente sagomate e a tenuta d'acqua, atte a raccogliere l'acqua dall'alimentazione superiore della ruota per scaricare poi nella parte inferiore.

Per deviare o regolare il flusso d'acqua esistono differenti sistemi, poiché per azionare questo o quel mulino servono portate d'acqua differenti.

La **presa** è una diga di sassi, costituita da muri di piccolo spessore a secco, o tronchi lignei, edificata allo scopo di aumentare il livello dell'acqua e di trattenere la corretta quantità d'acqua e il più possibile costante e allo stesso tempo di scolare la quantità in eccesso.

Quest'opera muraria si trova a monte di tutti i manufatti costruiti per azionare il mulino, e serve ad innestare e ad alimentare la canaletta artificiale di trasporto dell'acqua verso le ruote.

Con **paratoia** o saracinesca si intende quella valvola, inizialmente in legno e più tardi in ferro, che attraverso un meccanismo a leva o a vite, permette di regolare l'acqua che successivamente veniva convogliata nella **canaletta**. Quest'ultima, viene definita anche roggia, un canale artificiale che trasporta acqua dalle prese al sistema di distribuzione. La canaletta poteva essere una trincea scavata nel terreno, di mattoni o legno.

Con **serranda**, si intende invece un'altra tipologia di valvola, che ha lo scopo di regolare l'acqua, ma in questo caso è posta al di sopra della doccia finale di alimentazione della singola ruota e azionata da un meccanismo a leva manovrabile direttamente all'interno. L'acqua in eccesso viene scaricata direttamente nel canale di scarico, oltrepassando la doccia di alimentazione.

Con il termine **doccia**, si intende il tratto finale di canaletta, indirizzato a colpire con la corretta forza le pale o ad alimentare le cassette. Il **canale di scarico** è il proseguo della roggia, che consente lo sfogo dell'acqua dalle pale al torrente o alle

acque di alimentazione, chiudendo così il ciclo, restituendogli l'acqua prelevata in precedenza. I meccanismi interni al mulino sono o nei magli sono altresì complessi.

Il **castello**, nei mulini di macina per granaglie, è l'impalcatura della struttura interna, costituita prevalentemente in legno, con lo scopo di sorreggere i meccanismi rotanti. Nella parte inferiore si trovano gli ingranaggi e le ruote dentate, spesso si tratta di una struttura chiusa a protezione dei lavoratori. La parte superiore costituisce un vero e proprio pavimento rialzato, che viene utilizzato come deposito per la raccolta delle farine o per sostenere gli strumenti di alimentazione della macina.

Le **ruote dentate**, definite anche lanterne o lubecchio, sono dei meccanismi a ruota, disposte sotto al palco, che consente la variazione del moto da verticale della ruota a pale ad orizzontale sugli assi delle macine. Serve anche, a seconda del diametro e del numero di denti, alla variazione di velocità tra gli elementi.

Il disco della ruota si presenta dentellato, questi denti furono, come le ruote, prima lignee e successivamente in ferro con una forma particolare e sezione adatti ad innestarsi alla ruota che riceve il moto.

Con il termine **lanterna**, o rochetto, si fa



Figura 4: Particolare dei denti di legno della "ruota dentata" del mulino comunale lungo il torrente Piova a Pelos di Cadore

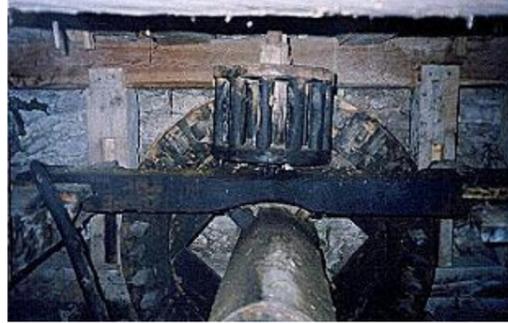


Figura 5: Particolare della parte finale dell'albero di trasmissione, della ruota dentata e dell'ingranaggio a lanterna all'interno del mulino comunale lungo il torrente Piova a Pelos di Cadore

riferimento al tipo di meccanismo per il passaggio del moto da un albero rotante ad un altro. Questa non presenta denti, ma con dimensioni assai ridotte ricorda una ruota a pale. Sulla corona della ruota sono innestate delle traversine cilindriche, i fusoli, in legno che ricevono l'innesto dei denti della ruota accoppiata. Questo accoppiamento consente di variare in maniera prefissata la velocità di rotazione dei due alberi.

La **nottola** è una lastra di ferro sagomata a farfalla, che va ad incastrarsi sull'asse dell'albero proveniente dalla lanterna.



Figura 6: Particolare del meccanismo "lubecchio-rocchetto" all'interno di un vecchio mulino veneto, oggi in disuso. L'ingranaggio è costituito da due dischi lignei paralleli, che presentano lungo il bordo alcuni fori entro cui hanno sede altrettanti bastoni cilindrici di legno detti "fusoli" e nel mezzo passa un asse di ferro, "palo". Il contatto tra i "fusoli" e i denti del "lubecchio" fanno girare il "palo", la cui estremità inferiore gira dentro il foro di una bronzina collocata su una trave mobile del "castello", mentre l'estremità superiore fuoriesce dal piano del palco, oltrepassa la mola fissa e poco sopra questa presenta un pezzo di ferro ("nottola"), che regge e fa girare il palmento mobile



Figura 7: Particolare della "nottola", pezzo di ferro molto robusto sagomato a farfalla

Era localizzata sul pavimento del castello e la sua funzione era quella di sostenere il grosso peso delle mole evitando gli attriti tra le parti di legno. La **temperatoria** è una strumentazione che consente la variazione della distanza tra una macina e l'altra, andando a modificare la grossezza e quindi il tipo di macinato.



Figura 8: Particolare di una temperatoia, sistema a leva attraverso il quale si modifica la posizione dell'ingranaggio a lanterna e di conseguenza quella del palmento superiore, alzandolo od abbassandolo



Figura 9: Macine in pietra arenaria, abbandonate nelle vicinanze di un vecchio mulino sito in Abruzzo

Le **macine** sono costituite da due mole, chiamate anche palmenti fatte di grosse pietre, talvolta monolitiche, di forma circolare, di grande diametro e peso. La mola inferiore era fissa e poggiava sulla nottola del pavimento, quella superiore girava azionata dall'albero di forza, aveva inoltre un foro centrale attraverso il quale veniva fatto scendere il grano, regolato dalla tramoggia. Le macine sono incise con canalette dall'interno verso l'esterno, e a seconda di vari parametri tra cui la profondità, la forma, il numero delle razze e la finezza del taglio, si ottenevano vari tipi di granaglia e alla grossezza delle farine che si volevano ottenere. La **tramoggia** è una cassetta quadrangolare in legno, che si restringe ad imbuto verso il basso, e accogliere il grano destinato alla macinazione. Si trova sopra alla mola in asse con il foro



Figura 10: Particolare della tramoggia posta al di sopra del palmento mobile all'interno del mulino



Figura 11: Particolare della "tafferia", elemento attraverso cui viene fatto cadere il frumento da macinare e del paletto di legno che ne regola la caduta

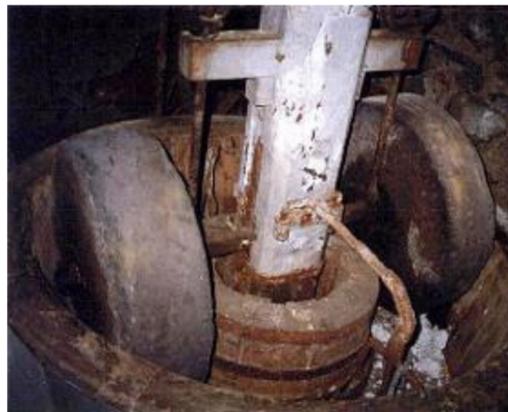


Figura 12: Pilaorzo all'interno del mulino Del Favero a Lozzo di Cadore. Particolare dell'albero di trasmissione, dell'asse orizzontale regolabile che sostiene le due mole e del "raschiatoio"

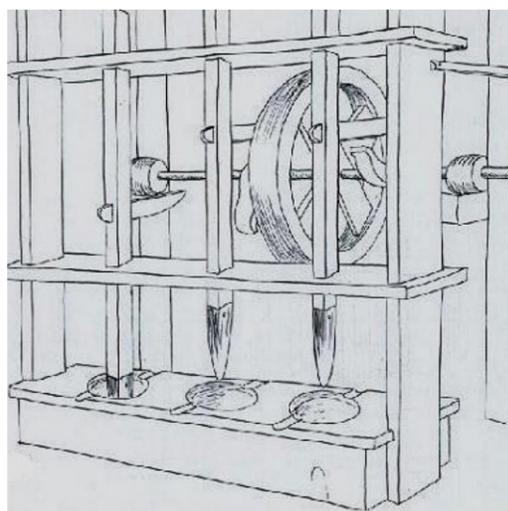


Figura 13: Schema di un mulino con il funzionamento "a pestello"

di alimentazione, utilizza una valvola per regolare il flusso.

Il **pilaorzo** è una mola in porfido o in granito con una forma particolare, che presenta innestato un raschiatoio in ferro, che attraverso l'attrito tra le due superfici e il rimescolamento del raschiatoio lo rende adatto alla sbucciatura dell'orzo, del miglio e del riso. Il **pestello** lavora per moto alterno, non circolare, sfruttando il peso delle mole per schiacciare i chicchi, pestando il materiale posto sulla coppa della macina, attraverso la testa ferrea cilindrica del pestello, che si può regolare in altezza a seconda delle necessità. Consentendo la sbucciatura dei cereali che lo necessitano. Il **maglio** è un grosso martello, il cui manico è costituito da una trave in legno e una testa in ferro, sollevato dalla camma dell'albero motore ed era usato nelle officine dove si lavorava il ferro battuto. Il **mantice**, serviva ad arroventare il ferro da battere, e soffiava sul fuoco. È costituito da un grosso otre, solitamente a soffietto in pelle, e da una boccola di uscita di aria puntata sul fuoco. L'ingresso e l'uscita dell'aria era regolato da valvole in pelle. L'**arganello**, paranco, si presenta con il sistema tipico a vite, agganciato al soffitto dell'officina adatto a sollevare il sistema superiore delle macine. Il mugnaio aveva lo scopo di revisionare periodicamente ogni parte costituente il mulino ed intervenire laddove l'usura svolgeva il suo corso. La tipologia dei mulini ad acqua rimane di gran lunga la più diffusa sul territorio nazionale, poiché la conformazione del territorio consente principalmente questa tipologia, mentre per le altre sono richiesti requisiti specifici, come per esempio una portata di vento costante che alimenti le pale di un mulino a vento.

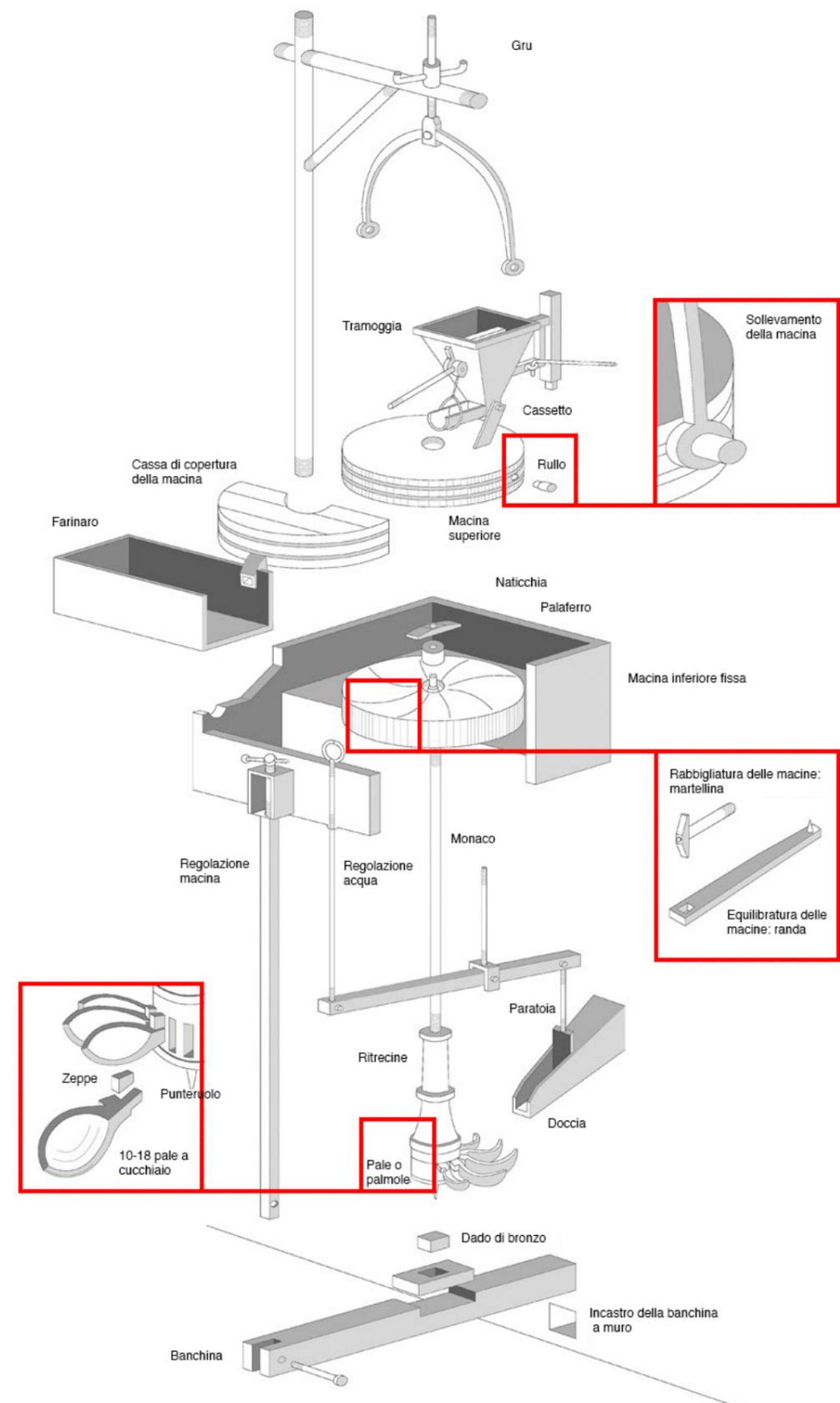


Figura 14: Meccanismi ed incastri di un mulino a ruota orizzontale, rielaborazione personale

### 3.2.2 Mulino a vento

Questa tipologia di mulino sfrutta come forza motrice, a differenza di quella precedentemente descritta che utilizzava la corrente d'acqua, la forza motrice del vento.

Questa tipologia molitoria ha origine persiana, numerosi studiosi e storici sono concordi nell'affermare che i primi esemplari vennero costruiti nel VII secolo d.C. nei territori che attualmente ricoprono l'attuale Iran.

Vennero utilizzati per macinare granaglie e per azionare pompe per irrigare i terreni. I mulini persiani erano dotati di pale di stuoia intrecciate che azionate dal vento mettevano in moto una ruota alla quale queste erano fissate.

La diffusione di questa tecnologia non si divulgò immediatamente ma giunsero in altre aree molto più tardi, arrivò prima in Egitto, successivamente in Cina e per ultimo in Occidente, infatti abbiamo le prime testimonianze di questa attività solo dal XII secolo in poi.

Fin dal principio i mulini europei si distinguevano per fattezze e dimensioni. I mulini a vento avevano la necessità di essere edificati in aree con determinate necessità, infatti doveva essere scelta in maniera molto accurata la posizione affinché potesse utilizzare al meglio la forza del vento.

I primi manufatti funzionavano solamente quando il vento soffiava, problema alleviato negli anni successivi introducendo la struttura dei mulini a palo, strutture lignee, appoggiate su un palo verticale girevole, cui si attaccavano le pale rotanti.

La struttura era mossa, a terra tramite forza animale o umana, per opera degli schiavi condannati ai lavori forzati.

Verso la fine dell'epoca medievale venne introdotto il mulino in pietra, sulla cui sommità vi era una struttura fissa, una sorta di camera rotante che seguiva la corrente del vento.

La diffusione del mulino a vento fu ancora più lenta di quella del mulino ad acqua tant'è vero che per molti secoli rimase

solamente nei territori mediorientali. Solo con l'espansione dei regni islamici l'invenzione del mulino a vento raggiunse l'Occidente mediterraneo.

Il ritardo iniziale venne rapidamente recuperato, e il mulino divenne in breve tempo un sinonimo di potere, poiché erano ingenti i ricavi economici che portava tale attività.

Costruire o utilizzare un mulino non era un'attività lasciata alla libera iniziativa ma fu fin da subito motivo di dispute economiche, come abbiamo potuto analizzare nello studio storico archivistico, infatti fu oggetto di interesse per il potere feudale, a seguire per i liberi comuni ed infine per le signorie che compresa la potenzialità del suo aspetto economico venne fin da subito reso oggetto di controllo e tassazione da parte delle autorità di potere.

I ricavi che si ottenevano mediante questa attività erano proficui, e tutti i mulini divennero monopolio del potere costituito, che attraverso la tassa sulla macinazione che ogni utilizzatore doveva versare e le decime, ovvero le cessioni di parte del macinato al proprietario del mulino, il quale lo rivendeva con ulteriori profitti.

Il mulino si diffuse in tutta Europa nel corso del medioevo e nell'età moderna, ne abbiamo testimonianze in Spagna, in Grecia, in Italia meridionale. Si segnala in particolar modo l'Olanda, che grazie alla costante presenza delle correnti del vento proveniente dal Mare del Nord, ma l'apice si ebbe nel 1500 quando tutto il suo terreno venne ricoperto di mulini, torri a cupola rotante, il cui scopo principale era quello di prosciugare ampie aree di terreno colme di acqua per adibirle a terreni coltivabili.

I mulini azionavano i complessi meccanismi che permettevano il sollevamento dell'acqua, indirizzandola verso canali artificiali per finire in bacini controllati.

Con il perfezionarsi delle tecnologie, i mulini non venivano utilizzati solamente per la macinatura dei cereali, o delle olive nel Mediterraneo, ma anche per

il funzionamento di magli, di segherie e carpenterie.

Con l'avanzare degli sviluppi tecnici e tecnologici e il progresso in ambito metodologico e scientifico che caratterizzerò tutto il diciannovesimo secolo portarono ad un ulteriore sviluppo nell'ambito, e molti mulini vennero riconvertiti per la produzione di energia elettrica, tramite convertitori di energia ai meccanismi messi in movimento dalla rotazione delle pale. Le macchine azionate dall'energia a vapore e da quella elettrica andarono rapidamente a sostituire, ne giro di pochi decenni, la maggior parte di queste strutture.

Nell'ultimo mezzo secolo è ricaduto nuovamente l'interesse sui mulini, al fine di poterli sfruttare per produrre energia rinnovabile, spingendo la riscoperta dell'energia eolica attraverso i mulini a vento tecnologicamente avanzati per produrre energia elettrica da distribuire poi a tutto il territorio.

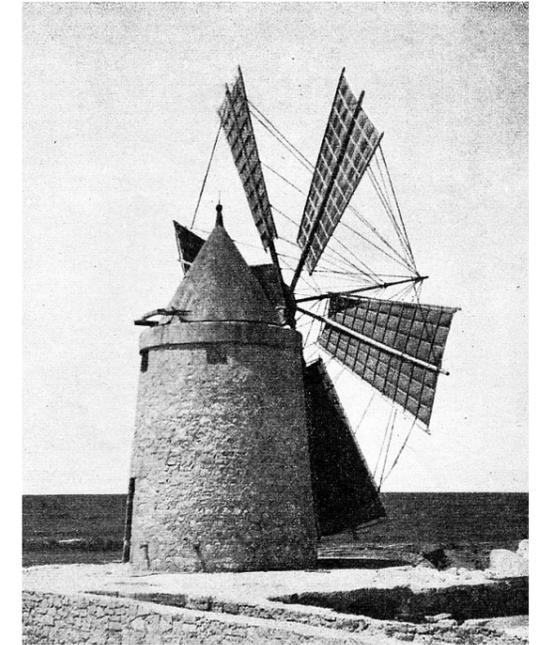


Figura 15: Mulino a vento per l'estrazione del sale, 1961

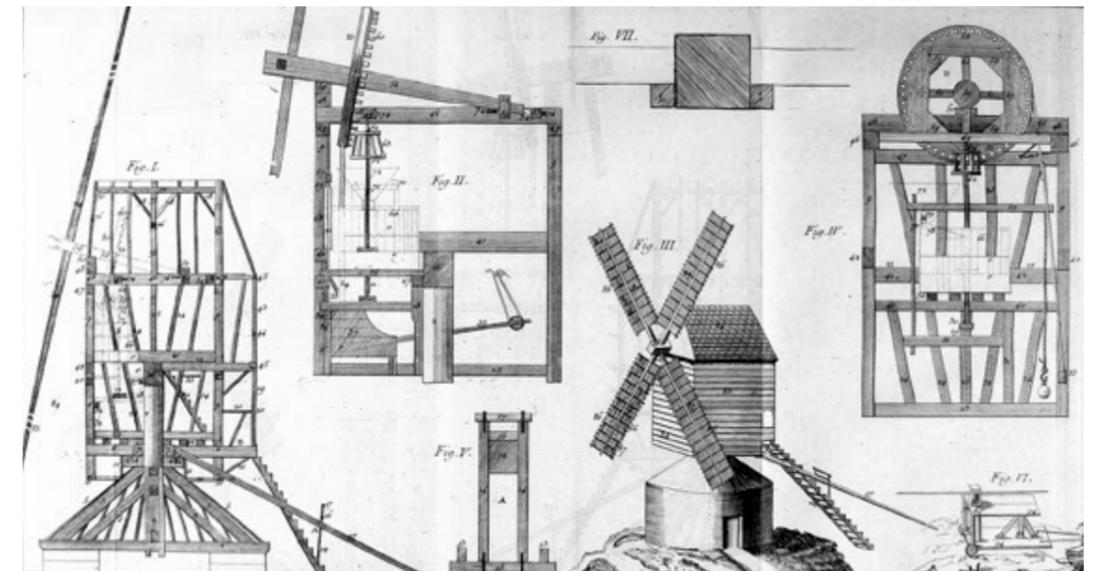


Figura 16: Mulini a vento, sezioni, dettagli e funzionamento

### 3.2.3 Mulino galleggiante



Figura 17: Corso del fiume Po tra Cogozzo e Cicognara, mappa della prima metà del XVIII secolo, Archivio di Stato di Mantova, Archivio Gonzaga, mappa 90-23

I mulini galleggianti vengono definiti anche **mulini natanti** o **mulini fluviali**, si tratta di un impianto ad alta macinazione che a differenza dei tradizionali mulini ad acqua, presenta l'intera struttura completamente galleggiante. Struttura tipica, ampiamente diffusa sui corsi d'acqua della pianura italiana come il Po, l'Adige, l'Oglio, il Mincio, il Brenta e sui maggiori fiumi europei.

Sono strutture tipiche diffuse all'interno della pianura padana, sono mulini che hanno origini molto antiche, di cui abbiamo notizie dai tempi più remoti.

Erano barche fluviali, che potevano essere a uno scafo<sup>i</sup> o a doppio scafo, trainate o mosse da remi, sulle quali era alloggiato un mulino ad acqua con una o più macine in pietra che erano azionate dalla corrente del fiume sul quale galleggiava il mulino, la ruota a diretto contatto con l'acqua che azionava quelle all'interno dello scafo è chiamata Pendente. Spesso all'interno di queste imbarcazioni vi era anche un vano adibito a residenza del mugnaio, che di fatto era costretto a passare gran parte delle sue giornate sul mulino natante.

Una caratteristica essenziale di questa tipologia è che aveva la fortunata possibilità

<sup>i</sup> Insieme di tutte le strutture che costituiscono il corpo di un galleggiante, qualunque ne sia il materiale (legno, acciaio, leghe leggere, materie plastiche, cemento armato) e qualunque ne sia la grandezza e il disegno

di spostarsi per trovare la corrente maggiore per poter mettere in moto gli ingranaggi ed iniziare il suo lavoro. Una volta trovato il punto all'interno del fiume più idoneo per poter meglio macinare il frumento, il granoturco, ci si ormeggiava alla riva del fiume, lasciando libero il passaggio per consentire la normale navigazione.

Esistono solo due esemplari di mulini natanti lungo le sponde del Po restaurati e correttamente conservati, uno a Ro e uno a Revere.

La concezione del mulino natante è data dal riadattamento della struttura dei mulini tradizionali ma le ruote furono rese più ampie al fine di poter meglio usufruire della corrente e di sfruttare al meglio la forza motrice delle correnti e vennero introdotti diversi moltiplicatori dei giri dell'albero a motore.

La locazione del suddetto strumento era estremamente fondamentale, poiché fondamentale sia per trovare il punto in cui la corrente del fiume avesse la potenza indicata per alimentare le pale, sia per trovare la corretta altezza all'interno del corso fiume per potersi ancorare alla riva nella posizione più indicata, dove

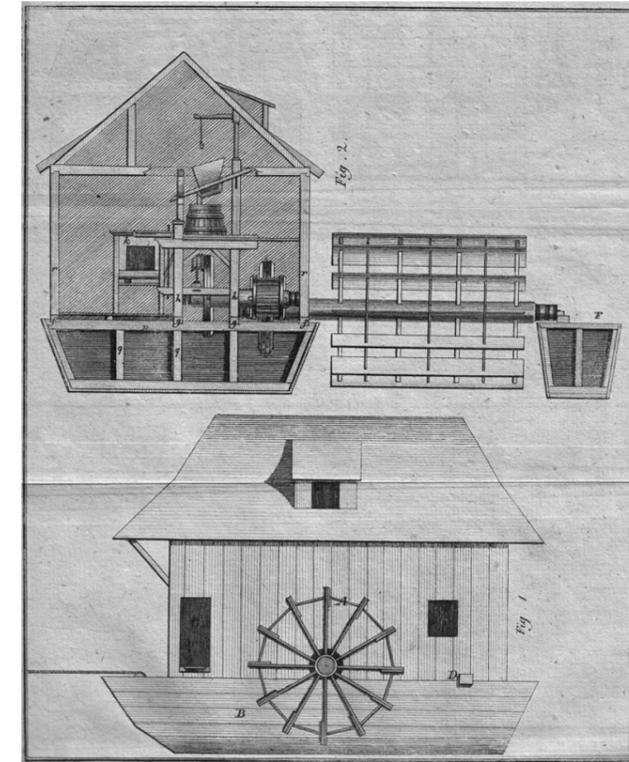


Figura 18: Sezione di un mulino fluviale, disegno di H.Ernst, 1805

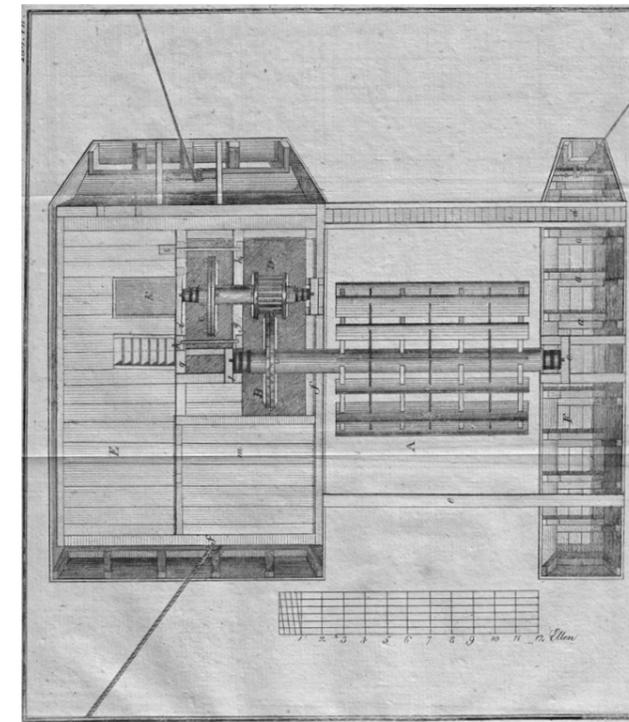


Figura 19: Pianta di un mulino fluviale, disegno di H.Ernst, 1805



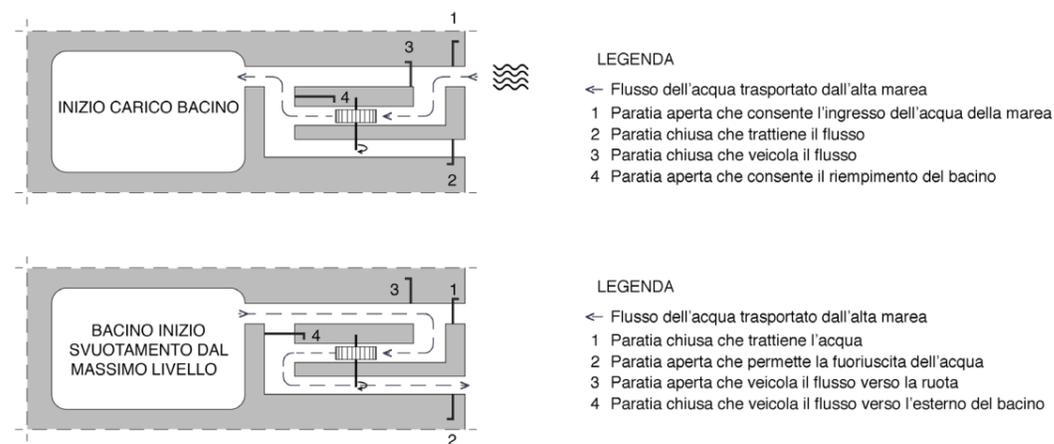


Figura 22: Schema del funzionamento di un mulino a marea, rielaborazione personale

### 3.3 Opere di canalizzazione artificiale

L'intera area piemontese è stata caratterizzata dalla realizzazione in epoche antecedenti alla nostra di numerosi canali artificiali, pensati per un duplice scopo: l'irrigazione dei campi coltivabili e per alimentare i mulini.

Nello specifico le opere di canalizzazione artificiale e di deviazione degli alvei naturali, tra i comuni di Carmagnola, Villastellone, Santena e Trofarello ebbero come oggetto della trasformazione canali medio piccoli come il rio Stellone, il rio Banna e il rio Tepice prima della loro confluenza nel fiume Po.

I numerosi canali artificiali, creano un fitto reticolo di percorsi comunicanti tra loro in un equilibrio idrogeologico particolarmente insicuro, influenzando negativamente sulle capacità dei diversi torrenti coinvolti di far defluire liberamente le loro acque, aggravando le situazioni nei periodi estremi di piena, consentendo una maggiore facilità nella rottura degli argini. Questi interventi si ritiene abbiano snaturato l'originale corso dei rii, creando situazioni anomale che nel corso della storia si sono rivelate tra i motivi di rischio alluvionale.

Per questo motivo è stata fatta una ricerca dal I secolo a.C. alla metà del XIX secolo per vedere le conseguenze di determinate scelte nell'esecuzione di opere sugli alvei.

L'allevamento del bestiame è una pratica antica, che sopravvisse anche con la caduta dell'impero romano, ed ebbe un suo sviluppo tra il XVII e il XVIII secolo, affiancando la tradizionale coltivazione del grano.

Nel tardo medioevo l'irrigazione veniva effettuata derivando acqua dai rii e questa usanza non incontrò ostacoli sino al XIII secolo, quando vennero introdotti i mulini a ruote. Vennero istituiti numerosi divieti per permettere all'autorità centrale di avere un maggior controllo poiché divenne un problema di pubblica amministrazione e divenne necessario impedire gli abusi e le opere di canalizzazione incontrollate.

In un territorio come quello chierese, caratterizzato dalla sola presenza di corsi d'acqua ad andamento torrentizio, la costruzione di un mulino dall'XI sino a tutto il XVIII secolo, prevede, per necessità, la creazione di strutture di sostegno (artificia) che modificarono, anche in modo significativo, l'ambiente naturale

i Vanetti, G., I rii, le bealere e i mulini nella storia di Chieri, Comune di Chieri, ottobre 1996

originario. Per mettere in moto la ruota o tutt'al più le due ruote dell'impianto molitorio, fu necessario, quasi sempre, creare artificialmente un salto d'acqua, e contemporaneamente, regolare la portata dei rii per renderla, per quanto possibile, costante e sufficiente. Da qui hanno origine i canali dei mulini o bealere (bealeria, bealleria, bialeria) e dei bacini di raccolta delle acque (lacus, pescheria, peschiera).

*“Le bealere sono letti artificiali derivati da un rio a monte del sito del mulino e ricollegati con il corso d'acqua principale a valle dello stesso. La loro funzione è duplice: far affluire una quantità d'acqua regolabile alla ruota del mulino e creare un “salto” sufficiente per imprimere il movimento alle pale.”<sup>1</sup>*

Nel caso in cui il torrente in questione sia di modesta portata, anche nella stagione dei temporali, la bealera può sostituire perennemente il rio generatore e renderlo inutilizzato (rio morto). Nella maggioranza dei casi, la bealera corre parallela e a breve distanza dal suo rio e nel caso in cui questa resti inutilizzata cade in stato di abbandono. Per svolgere la seconda delle funzioni, la bealera viene condotta lungo un percorso innaturale, mantenendosi, in quota sino a quando non raggiunge il mulino; dove scende bruscamente di livello, creando il salto d'acqua, seguendo le linee naturali del terreno per defluire nel corso principale, alcuni tratti di canale restano addirittura sospesi scorrendo alcuni metri sopra il piano della campagna. Queste operazioni richiedevano un ingente investimento economico, che portava conseguentemente allo sfruttamento di uno stesso canale da parte di più mulini oppure da un mulino principale a due ruote o da una Molinetta ad una sola ruota. La bealera che alimenta il mulino di Borgo Cornalese è sfruttata anche da altri mulini, sin da tempi più remoti, come mostrano le carte, la bealera che alimenta il mulino di borgo cornalese oggetto della tesi è la medesima che permetteva il funzionamento dei mulini presenti a Villastellone come si può notare da questo

i Ibidem

stralcio di mappa in cui si può ben notare il canale alimentatore del mulino che serviva anche ad altre attività molitorie come attesta la nota.

Tra un mulino e il successivo, il corso d'acqua principale, il rio, e il canale artificiale, la bealera, potevano esserne costruiti altri canali artificiali, detti scaricatori, la loro nascita è recente e connessa all'esigenza di creare chiuse per deviare l'acqua ora sulla bealera ora sul rio.

Questi manufatti non sono un'innovazione, poiché venivano precedentemente impiegati per l'irrigazione dei prati e quindi documentati all'interno degli archivi ma spesso citati con altre diciture, differenze sorte dai diversi modi di dire, come: chiusa (clausa, clusia, cluxia, exclusia), fica (ficha), balconata (balconera), ferrata, bochetto (bochet), acquarolia e schiantoira (schiansoyra).

Diversa funzione rivestono i “paratori” (parataor) che servono a favorire l'afflusso delle acque del canale, al termine del suo corso, nel rio. L'assenza di manutenzione di paratori o chiuse, provocò a più riprese, l'accumulo di detriti in corrispondenza delle pareti e, conseguentemente favori le esondazioni.

Decidere in che luogo edificare il mulino era una scelta che richiedeva criterio, come anche decidere in che zona far passare la bealera, ma ciò non si rivelò particolarmente efficace tant'è vero che spesso gli artifici per far girare le macine furono completati deviando il corso naturale di due o più rii per far convergere le loro acque sulle bealere, oppure formando dei piccoli bacini di raccolta, a monte del mulino, per sfruttare la riserva idrica nei periodi di siccità.

Tutti questi accorgimenti non impedirono totalmente periodi di siccità in cui la forza motrice venne a mancare e l'unico rimedio rimanente fu quello di dotare i mulini di buoi o cavalli da utilizzare in queste situazioni critiche.

I documenti di archivio non dicono in quale periodo storico Chieri e nel suo territorio furono costruiti i primi mulini ad acqua,

sebbene alcuni autori ipotizzino l'iniziativa del vescovo Landolfo, quando nella prima metà dell'XI secolo, fortificò il castrum e riedificò la chiesa di S. Maria.

Sulla Rocca di S. Giorgio venne eretto un mulino a vento il quale venne abbandonato con l'avvento dei mulini ad acqua. Un solo mulino non poteva far fronte alle esigenze della ridente cittadina di Chieri, in costante fermento e rapida espansione, per ciò verso la fine del XII secolo, Chieri avviò un'intensa attività diplomatica e di conquista finalizzata all'acquisizione del territorio di Santena (1191) e successivamente anche della Mansio di S. Martino della Gorra, già appartenente ai templari (1203), dove il Comune decise di fondare Villastellone con l'unico scopo di servirsi dei mulini ad acqua esistenti o di ergerne di nuovi.

Nel 1284 Chieri aveva il controllo del territorio poiché con le sue annessioni arrivò al Po morto e al rio Stellone, sottomettendo definitivamente anche il territorio di Borgo Cornalese (Bulgarum). I documenti di cessione e successione feudale non sono sufficienti per permetterci di comprendere se sul territorio di Borgo Cornalese esisteva un mulino per il grano o per la canapa.

L'acquisizione del territorio di Santena permise a Chieri di completare, all'inizio del XV secolo, il canale del Taglio, che congiunge il torrente Mellea con il rio Stellone e di conseguenza con il torrente Banna.

Il Tepice venne successivamente collegato con il Banna e nel 1449 ospitò l'edificazione di due mulini per la macinazione dei cereali, il mulino di Gallè e il mulino della Splua.

All'interno del Comune di Chieri vennero individuati una serie di motivi ricorrenti che hanno portato alla rottura degli argini. Tra le principali cause abbiamo che la centuriazione romana costrinse alcuni alvei ad un tracciato artificiale posto ad una quota superiore rispetto a quella del bacino naturale. In passato questa tecnica venne ampiamente approvata perché facilitava le deviazioni d'acqua per le

marcite, con il passare del tempo questa pratica agricola venne abbandonata, trascurando il rischio connesso.

Nella medesima situazione si trovano le rotture degli alvei artificialmente condotti, in età tardo medievale o moderna, su una quota superiore al paleoalveo per facilitare i mulini, per affiancare il rio alle mura cittadine o per allontanarlo dalle strade pubbliche.

Un'altra causa scatenante fu la formazione di ponti, prima in cotto e successivamente in cemento, in sostituzione degli antichi guadi o ponti in legno, limitando in diversi luoghi il libero deflusso delle acque, favorendo l'accumulo di detriti creando in questo modo una situazione favorevole alle esondazioni, in particolar modo nei tratti di fondovalle, dove lo scorrere delle acque collinari rallenta improvvisamente con l'inserimento dell'alveo nei terreni di pianura.

L'incuria con cui vennero trattate chiuse e paratorie, nel XVIII secolo aggravatesi nel corso dell'Ottocento e Novecento, generò delle strozzature negli alvei che generarono esondazioni. Altra causa che provoca la rottura degli argini è la deviazione del canale con un angolo retto, artificio messo in atto per deviare canali artificiali evitando ostacoli che il corso del canale riscontrava sul suo percorso, come ad esempio le mura urbane. Sempre all'interno della categoria degli errori di progettazione abbiamo la scelta di far confluire più rii all'interno del medesimo canale, per aumentare la portata per alimentare i mulini.

Altra causa di esondazione fu la sostituzione di un rio, con un canale parallelo artificiale, che nella stragrande maggioranza dei casi si rivelava insufficiente o non idoneo a contenere la portata prevista.

In sintesi, tutte le testimonianze relative a esondazioni riportano inequivocabilmente a tratti gli alvei principali significativamente modificati dall'intervento dell'uomo, o che nel loro corso sono stati interrotti da manufatti, anch'essi artificiali, come chiuse o ponti. Nel corso della seconda metà del 900 con l'avanzare degli studi nel

campo dell'urbanistica e l'occupazione di aree precedentemente adibite a funzione agricola con nuove destinazioni, mise in evidenza la necessità di comprendere queste problematiche.

Il precario equilibrio 'territorio-acque' fu già in passato reso problematico dal sopraggiungere di nuovi interessi economici dell'uomo, agricoltura, allevamento, che modificarono ora l'uno ora l'altro, quando non entrambi, gli elementi del binomio, cercando di creare nuovi equilibri; in tempi successivi ancora più conflittuale divenne diventò la situazione poiché nuovi interessi, come la viabilità e la molitura, determinarono un secondo intervento sull'ambiente già antropizzato. In tempi moderni le esigenze economiche e sociali, quali industria e urbanizzazione, che vorrebbero ulteriormente riplasmare il paesaggio, operazioni che richiedono la comprensione di quanto avvenuto in passato sul territorio e comprendere tutte le modificazioni che si sono susseguite per mettere nuovamente mano su questi terreni.

### 3.4 I mulini lungo il Po

La posizione del mulino rispetto al corso del fiume era una scelta molto importante poiché dipendeva direttamente dalle caratteristiche morfologiche del Po.

Le posizioni migliori erano le porzioni a valle delle anse, dove si andavano a creare strozzature naturali. Per consentire il corretto apporto idrico a tutti i mulini dislocati lungo il fiume e per dirigere e accelerare l'acqua a monte dei mulini per permettere il corretto movimento delle ruote erano necessarie opere idrauliche, che come abbiamo già discusso, prevedevano la realizzazione di corsi d'acqua artificiali, o consistevano in una o più file di pali conficcati nell'alveo del fiume, di traverso come rinforzo fatto tramite pietre, ramaglie o fascine di vimini.

#### 3.4.1 Il mulino Pellegro: Mulino ad acqua nell'alto Oltrepo Pavese

Il mulino Pellegro si trova all'interno del comune di S. Margherita Staffora, nell'alta Valle Staffora dell'Appennino pavese. Si tratta di uno degli ultimi mulini funzionanti all'interno dell'intera provincia di Pavia.

L'archivio del comune fa luce sulla sua storia, infatti vi si ritrovano documenti del 1821 che attestano questo luogo come un luogo d'osteria con mulino, e nel 1835 venne restaurato dal proprietario di allora da cui prese l'attuale nome il mulino.

In origine il mulino aveva una presa d'acqua principale dal torrente Staffora e altre prese secondarie collegate ai ruscelli vicini; oggi il mulino è alimentato da una roggia che viene dapprima convogliata in un piccolo bacino, a monte del mulino, dopo, verso il mulino si diparte una roggia all'interno della quale sono inseriti degli incastri di legno (tavole partitrici) che



Figura 23: Dettaglio della ruota metallica del mulino Pellegro, a cassette e ad alimentazione superiore, 2010

servono a regolare e a deviare il fusso dell'acqua.

La ruota del mulino è una ruota idraulica a cassette con alimentazione di corrente superiore, prima era di legno che con la ristrutturazione degli anni 30 venne sostituita con una ruota in ferro.

Il mulino è dotato di due palmenti: uno per il frumento ed uno per il granturco, e ciascun palmento è costituito da due macine di pietra quella inferiore è il dormiente poiché essa, quella superiore mobile è detta girante; fra le due esiste una fessura dove avviene la frantumazione dei cereali e la loro espulsione all'esterno che è causata dalla forza centrifuga.

La distanza fra le due macine viene regolata da una manovella: minore è la distanza, più la farina sarà di grana fine.

Le parti interne delle macine presentano



Figura 24: Mulino Pellegro, macchianri interni, tramoggia, da articolo: G. Guado, Mulino ad acqua nell'alto Oltrepo Pavese. Il Mulino Pellegro: dall'energia meccanica all'energia elettrica, articolo su Geologia dell'Ambiente Periodico trimestrale della SIGEA, Supplemento al n. 3/2011, 2010

solchi disposti a raggiera: dodici più profondi e molti altri più piccoli, questi ultimi per l'attrito e lo sfregamento si consumano, quindi devono essere ripristinati: l'operazione, che si chiama di rabbigliatura o martellatura, durante i periodi in cui il mulino lavorava a pieno ritmo veniva eseguita da squadre specializzate che, a rotazione con tanti altri mulini, prestavano la loro opera saltuaria; gli interventi venivano richiesti ogni qualvolta la farina uscendo dalla macina più calda del solito suggeriva questo ripristino con strumenti.

Altri componenti importanti del mulino sono la tramoggia, nella quale vengono immessi i cereali e il buratto: quest'ultimo è un setaccio che con quattro maglie di differente larghezza consente di separare le diverse qualità di farine (fiore, farinella, cruschetto, crusca).

Il mulino "Pellegro" e tanti altri mulini ad acqua ancora esistenti, benché non tutti funzionanti, sono stati utilizzati, oltre che per macinare cereali, anche come fonte di energia per pompe, filatoi, segherie per il legno, magli, per la lavorazione dei minerali e dei metalli; dovunque occorreva energia meccanica.

L'energia idrica che alimentava vecchi mulini, molti dei quali completamente abbandonati, anche dalla curiosità storica ed archeologica, può essere invece

di grande aiuto all'attuale economia energetica; può fornire, infatti, con piccole turbine, elettricità alle famiglie o alle comunità locali o può addirittura essere "venduta" alle reti elettriche nazionali, come avviene, per l'energia elettrica prodotta dalle centrali eoliche e da quelle fotovoltaiche.

L'energia idraulica è una delle più antiche forme di energia sfruttata dall'uomo, e tradizionalmente serviva per azionare le pale dei mulini, fornendo così energia meccanica, mentre oggi la forza dell'acqua viene utilizzata soprattutto per la produzione di energia elettrica.

Questo mulino presenta affinità con il caso studio in oggetto, come i restauri che hanno caratterizzato i mulini nel tempo, entrambi sono mulini ad acqua, la ruota principale era lignea e successivamente sostituita con una di ferro.

Sia questo mulino che quello di Borgo sono attualmente riconvertiti per la produzione di energia elettrica.

Non mancano sicuramente le divergenze, e la principale tra questi è che nel mulino Pellegro la ruota è azionata da un flusso d'acqua superiore, si tratta infatti di un'alimentazione superiore (vedi Figura 2, Capitolo 3), mentre il mulino di Borgo ha una ruota idraulica alimentata da sotto (come mostra la Figura 3, Capitolo 3).

### 3.4.2 Antica Riseria Mulino San Giovanni, Fontanetto Po

Il mulino preso come termine di paragone si trova in provincia di Vercelli, in Piemonte, si tratta di una testimonianza unica di una riseria azionata dalla forza motrice dell'acqua.

Conseguentemente alla bonifica delle paludi e al disboscamento della brughiera, opere avviate nel XIII secolo dall'epicentro a Lucedio, l'abazia dove i cistercensi si erano insediati dalla fine del XII, a metà del XV secolo cominciò a venire costruita la rete di canali che ancora oggi regolano la circolazione dell'acqua attinta dal Po e dai suoi affluenti per l'irrigazione della distesa di campi e risaie nelle terre d'acqua nel Piemonte Orientale.

Venne realizzato un enorme e complesso sistema per la distribuzione dell'acqua che in quest'area, allora compresa nel marchesato del Monferrato, che si presenta tuttora funzionante, gestito dall'Associazione di agricoltori riuniti nel consorzio privato di diritto pubblico fondato a Vercelli nel 1853.

Venne edificato nella seconda metà del quattrocento e nel 1617 venne ricostruito e chiamato Mulino Nuovo, come molti altri mulini della pianura risicola col passare dei secoli perse la sua funzione legata alla macinatura dei cereali e si collegò sempre più alla lavorazione del riso, e già dal 1699 nel catasto era indicato come "pista", cioè



Figura 25: Fotografia della sala dei macchinari del mulino San Giovanni a Fontanetto Po

un impianto con macina per la sbramatura<sup>i</sup> del riso azionata meccanicamente, con la forza idraulica ottenuta per mezzo di una ruota a pale mossa dall'acqua che scorre nella roggia, proveniente dalla Dora Baltea, e che muove tuttora i macchinari del mulino, che alla fine dell'Ottocento diventava proprietà della nobile casata Tournon.

Nel XIX secolo la sua struttura era stata ampliata, con un secondo edificio collegato al primo da una passerella a ponte sulla roggia, e alla "pista" in pietra vennero sostituiti macchinari azionati dall'energia motrice dell'acqua, ma non più trasmessa dalla ruota bensì dall'allora innovativa e avanguardistica turbina che ancora oggi alimenta l'impianto.

Nel 1911 il mulino veniva dismesso e alcune delle sue macchine furono impiantate nella nuova riseria, dove rimasero in funzione fino al 1992, mentre dal 1956 la proprietà dell'antico complesso passava alla famiglia Gardano, una "dinastia" di mugnai da cinque generazioni, che lo ha restaurato per renderlo un sito museale a disposizione degli studiosi, e del pubblico. Tutti i meccanismi sono azionati dalla sola forza dell'acqua, tramite una turbina idraulica risalente al 1902 che trasmette la forza motrice all'intero complesso attraverso un complesso sistema di cinghie. La turbina sviluppa una potenza di 36,5 KW sfruttando un dislivello, tra pelo libero dell'acqua e l'albero motore, di 2,10 m.

La turbina è costituita da due giranti che ruotano sullo stesso albero; il modello è un ibrido, studiato appositamente per le caratteristiche del canale, ovvero una

<sup>i</sup> Operazione di liberare il risone dalle glume (o lolla). Si esegue con lo sbramino (o bramino), apparecchio costituito da un recipiente cilindrico contenente due mole, di pietra arenaria o di speciale pasta smeriglio, di uguale diametro, coassiali, affacciate e dotate di moto rotatorio, tra le quali viene fatto passare il risone

Pelton<sup>i</sup>, in grado di sfruttare il dislivello, ed una Francis<sup>ii</sup>, che sfrutta la portata.

La regolazione degli alveoli (aperture dalle quali l'acqua entra in turbina) viene effettuata manualmente, tramite un volante posto all'interno della sala macchine, oppure in automatico, tramite un regolatore meccanico in grado di mantenere costante la velocità di rotazione della turbina.

Da un lato troviamo l'albero motore che poggia su due bronzine particolarmente resistenti all'azione dell'acqua. Dal lato opposto, l'albero, oltrepassato il muro del serbatoio di carico, è calettato sulla puleggia principale che, tramite una cinghia in cuoio spessa 1 cm e larga 50 cm, trasmette il moto all'albero principale. Da quest'ultimo, tramite una cinghia con le stesse caratteristiche della precedente, la forza motrice viene trasmessa ad una doppia puleggia la quale è collegata, per mezzo di 5 cinghie trapezoidali, ad un motore elettrico di fabbricazione tedesca del 1949, che ha una potenza di 50 CV e ovviamente, lo stesso numero di giri della turbina. Tale motore ha il compito di sostituire la turbina quando il canale viene messo in asciutta, nei mesi di novembre e marzo, per le opere di manutenzione e per mantenere costante il numero di giri della turbina stessa quando la portata del canale è ridotta.

<sup>i</sup> Turbina sviluppata dall'americano Lester Allan Pelton nel 1879, è una turbina idraulica ad azione impiegata per la produzione di energia elettrica, che sfrutta bacini idrici caratterizzati da grandi dislivelli (di solito tra i 300 e i 1400 m) e piccole portate (inferiori a 60 m<sup>3</sup>/s); solitamente infatti viene utilizzata per i bacini idroelettrici alpini

<sup>ii</sup> Turbina idraulica sviluppata da J. B. Francis nel 1848, dispositivo meccanico che trasforma l'energia cinetica e potenziale di un liquido in energia meccanica

### 3.5 Mulino di Borgo

Il mulino che abbiamo preso come oggetto di studio ha subito numerose trasformazioni con il passare degli anni, modifiche avvenute sia per far fronte alle novità in ambito tecnico che si sono susseguite, che risultano essere parecchie visto la longevità del manufatto, sia per far fronte all'aumentare della richiesta di produzione di farine.

La ruota che aziona il mulino è una ruota idraulica, alimentata per di sotto dal torrente Gora.

Essa è metallica ed è azionata tramite l'energia cinetica dell'acqua, la corrente preme dal basso sulle pale e le mette in movimento. Questa tipologia di ruota fu la prima ad essere costruita e rimase la più diffusa per molti secoli.

L'energia cinetica<sup>i</sup> viene trasformata in energia meccanica, in questo modo vengono azionati i macchinari della sala macchine.

La ruota metallica esterna imprime il suo movimento a un'altra ruota metallica a dentelli che azionava tutti i meccanismi che permettevano la frantumazione delle granaglie.

Il mulino di borgo presenta i tratti tradizionali di un mulino ad acqua, al suo interno troviamo la tramoggia lignea, il castello, le ruote e tutti gli strumenti tradizionali per il funzionamento del mulino e la produzione di farine, oltre a questa attività si affiancava l'essiccazione della canapa, a cui è dedicata la struttura dall'altro lato del torrente.

Nella sala dei macchinari prende importanza il castello, che nei mulini di macina per granaglie, è l'impalcatura della struttura interna, costituita prevalentemente in legno, con lo scopo di sorreggere i meccanismi rotanti, e celare gli ingranaggi di sotto.

Nella parte inferiore si trovano gli

<sup>i</sup> Energia che un corpo possiede a causa del proprio spostamento, nel nostro caso è l'acqua del torrente che imprime energia cinetica alle pale della ruota



Figura 26: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019



Figura 27: Foto scattata durante un sopralluogo, giugno 2020, alla monumentale che collega Borgo a Tetti Faule



Figura 28: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, particolare della canapaia

ingranaggi e le ruote dentate, si tratta di una struttura chiusa a protezione dei lavoratori.

La parte superiore costituisce un vero e proprio pavimento rialzato, che veniva utilizzato come deposito per la raccolta delle farine o per sostenere gli strumenti di alimentazione della macina.

Le ruote dentate sono un'altra componente principale dei meccanismi che si ritrovano nel mulino di borgo, alcune di queste sono disposte sotto al castello, che consentono la variazione del moto da verticale della ruota a pale ad orizzontale sugli assi delle macine. Le macine in pietra, ormai in disuso, sono addossate ai prospetti del cortile interno.

Nel mulino troviamo anche diverse saracinesche, o chiuse o paratoie, valvole in ferro, che attraverso un meccanismo a vite, permettono di regolare l'acqua che successivamente veniva convogliata nella canaletta, che costeggiava il mulino.

Il mulino, assieme alle due corti che costituiscono il complesso, sono stati oggetto di restauro, dove corte A e corte

B, divenivano nuove cellule abitative residenziali, creando un complesso immobiliare, con un importante componente di giardino naturale, inserito in una cornice ambientale unica in Italia, riconosciuta come riserva di biosfera dal MAB Unesco unica in Italia.

Le due ruote del mulino sono state restaurate e riconvertite per soddisfare l'esigenza energetica del Borgo.

Gli impianti geotermici che dovrebbero fornire acqua calda a tutti gli abitanti saranno alimentati direttamente dal mulino, contribuendo alla riduzione di combustibili e altre sostanze inquinanti.

La ditta EYE-Energia Ydro Elettrica S.r.l, incaricata della riconversione delle due ruote ha calcolato un risparmio annuo di 45,6 tonnellate di CO<sub>2</sub>, contribuendo a ridurre l'impatto ambientale.

La potenza nominale del mulino è di 15 kW, la portata massima di 1 m<sup>3</sup>/s. Il salto d'acqua si misura di 1,8 m, e la potenza massima che produce è di 11,4 kW. In termini annui la produzione massima che



Figura 29: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio paratoia, che regola il corso del torrente

può fornire il mulino è di 912000 kWh, un ottimo contributo per la produzione di energia pulita e l'autosostentamento. Il mulino in oggetto si fa portavoce di una categoria di manufatti rurali che fortemente presenti nelle campagne torinesi, si trova nel complesso ancora in buone condizioni anche se ormai l'attività molitoria viene utilizzata principalmente per la produzione di energia elettrica, abbandonando l'originale attività per cui



Figura 30: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio ruota a dentelli



Figura 31: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio macina in pietra, ormai in disuso e addossa al prospetto interno

fu concepito. Questo manufatto diviene simbolo, affiancato da tutti gli altri fabbricati di natura analoga, dei mestieri agricoli che hanno caratterizzato le generazioni antecedenti alla nostra.



Figura 32: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno sala macchinari, dettaglio "A. Blanche"

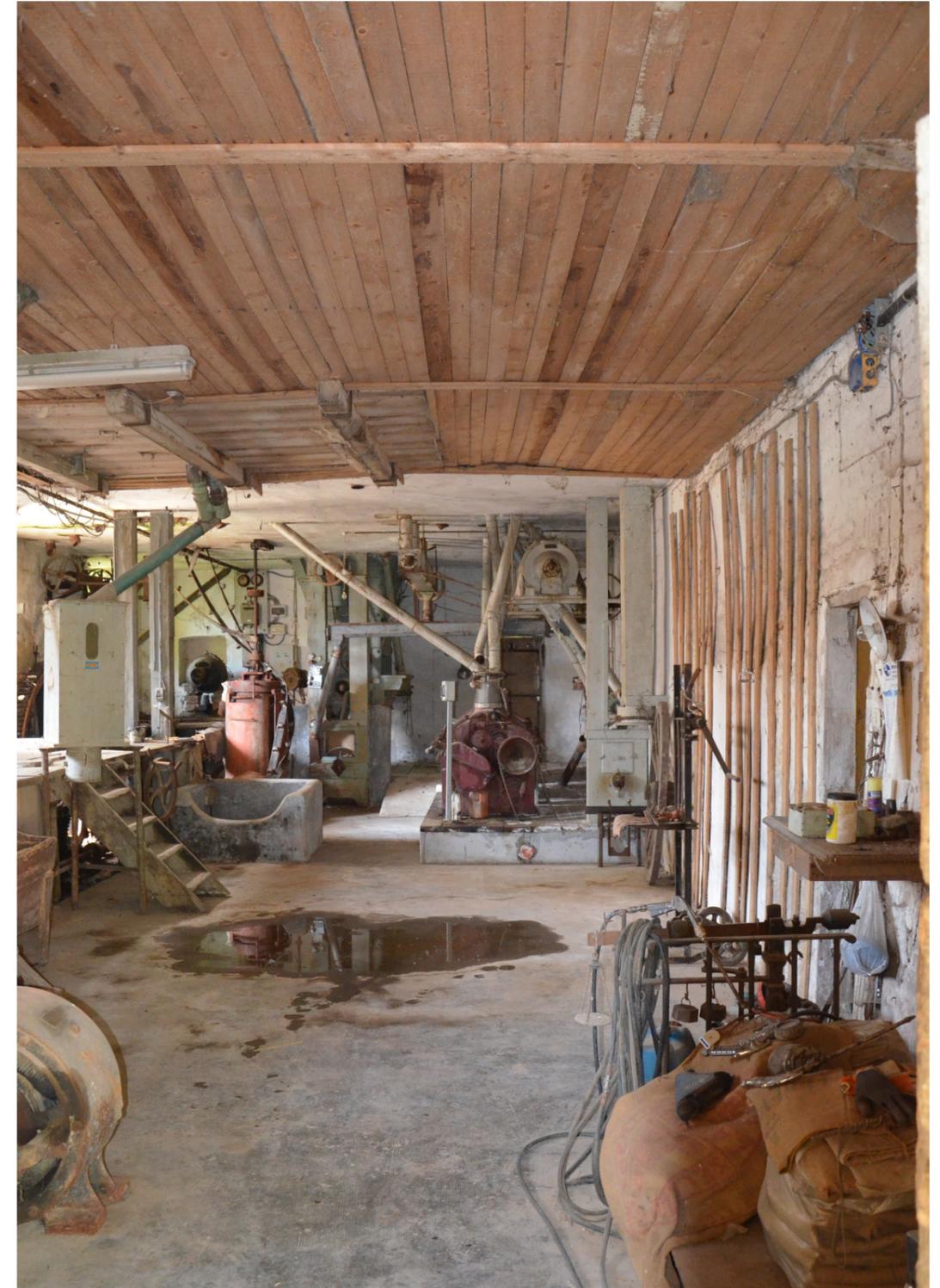


Figura 33: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno sala macchinari



Figura 34: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, sala macchinari



Figura 35: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista interna sala macchinari



36: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio cinghia di trasmissione



Figura 37: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio delle tre macchine "A. Blanche TORINO" ora non in funzione



Figura 38: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio del "castello" ligneo della sala dei macchinari



Figura 39: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio macina da farina e tramoggia lignea



Figura 40: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, scattata dal ponte di pietra, vista sulle due ruote metalliche



Figura 41: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio del corso d'acqua che alimenta le ruote, vista dal ponte sull'allea monumentale



Figura 42: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio di una delle due ruote metalliche esterne

## 4. Analisi dei materiali

### 4.1 Analisi materica

I materiali presenti all'interno dell'aggregato di Borgo Cornalese sono approssimativamente coerenti con i materiali utilizzati per le altre edificazioni che punteggiano l'intero territorio circostante, si ritrova quindi una certa coerenza con l'intorno data la reperibilità dei materiali dovuta alla vicinanza di siti estrattivi e minerali, che forniscono le materie prime necessarie.

Le architetture di queste zone sono prevalentemente di origine latina o romana, ecco perché primeggia il laterizio sulla pietra per le murature portanti e il legno per le coperture.

Le coperture sono interamente in laterizio, coppi alla piemontese per la maggioranza o tegole alla marsigliese. Nel mulino di borgo quasi tutte le coperture sono in coppi posati su listelli e capriate lignee alla piemontese, solo i due fabbricati aggiunti nel XIX secolo e parzialmente distrutti durante la seconda guerra mondiale presentavano come manto di copertura

le tegole marsigliesi, oggi ne rimane solo una porzione di questi, adibita a segheria. I laterizi presenti provengono ipoteticamente dalla fornace di Fortepasso, la scoperta di questa antica fornace venne fatta nel 1981, a seguito di uno sbancamento di un rilievo collinare.

Il legname utilizzato per la realizzazione delle travi, dei travetti, degli infissi proviene con certezza dai boschi che si snidano selvaggi affianco degli edificati. Sappiamo inoltre con certezza che le aree contigue a Borgo hanno sempre ospitato una ricca e folta componente arborea, lo si deduce con certezza dagli sporadici disegni di archivio o dalle rare mappe, il trasporto dei tronchi per le componenti lignee era sicuramente agevolata dalla stretta vicinanza con i corsi d'acqua che ne agevolavano il trasporto.

Per quanto riguarda le essenze utilizzate per le parti lignee abbiamo con certezza due possibili soluzioni, poiché all'interno della documentazione ritrovata in archivio



Figura 1: Foto scattata da un drone durante un sopralluogo, vista complessiva del mulino di Borgo

vengono espressamente citati il legno di rovere<sup>i</sup>, che si ricava dalle querce e il legno di salice<sup>ii</sup>.

Anche se non è da escludere l'impiego del pioppo poiché è molto presente nelle aree limitrofe, infatti tutto il viale che collega Borgo Cornalese a Tetti Faule è costeggiato da un'alleanza monumentale di pioppi cipressini.

Gli **intonaci**, come gli altri materiali, sono stati messi in opera con impasti a base di **calce**, **argilla** e **sabbie locali**, il tutto reperito per vicinanza. La sabbia venne quasi sicuramente reperita dalle sponde

<sup>i</sup> ASTo, Sezioni Riunite, *Estimo de Mollini e peste da Canapa del feudo di Borgo*, archivio di famiglia, Costa di Polonghera, marzo 82, fascicolo 3

<sup>ii</sup> Ibidem

del Po, l'argilla è di origine villafranchiana in tutto il territorio circostante ed è quella lavorata nella limitrofa fornace di Forte Passo per la produzione di laterizi. Per quanto riguarda la calce la sua provenienza rimane dubbia<sup>iii</sup>.

In tempi recenti la stragrande maggioranza dei materiali originali impiegati è stata sostituita, per ovvi motivi di degrado, quindi i materiali giunti sino a noi non sono sicuramente quelli originali, anche perché siamo a conoscenza dei rimaneggiamenti avvenuti sul fabbricato. Le colonne collocate al pian terreno del

<sup>iii</sup> Petiti, V., *Malte storiche di Borgo Cornalese: caratterizzazione dei materiali e prove di confezionamento di malte compatibili*, tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2014/2015, relatore P. Palmero, correlatore A. Doleatto



Figura 2: ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, Piano geometrico dell'alveo della bealera inserviente d'acquaggio all'edificio del mulino di Borgo di spellanza al Marchese signor Montmorenci Laval, indi ad altro mulino del signor Conte della Villa quale figura e beni laterali sono regolari per il corso della lettera A e B, fino a C e resta dimostrativo il corpo della bealera della lettera C sino a D molino del prefetto Conte della Villa, ed il tutto come viene dimostrato dall'indice generale, Mulino di Villastellone, Anna Broglia, disegno senza data ma si suppone di inizio settecento

#### 4.1.1 I laterizi e l'argilla



Figura 3: Foto scattata in loco, durante un sopralluogo, maggio 2019

mulino sono interamente in pietra ma non siamo a conoscenza della loro origine. Anche il ponte di collegamento tra il corpo principale del mulino e la canapaia che sormonta la Gora di Borgo è interamente in pietra e reca un'incisione con la data da cui si può partire per fare supposizioni circa la provenienza di questa.

Abbiamo dunque la certezza che di quello che esisteva in origine rimane sicuramente poco. I successivi rimaneggiamenti sono plurimi e non mancano parti costruite successivamente al completamento dell'edificio, che ne modificano l'assetto originario, deturpandone l'estetica del complesso, si pensi alla parte in calcestruzzo armato collocato al pian terreno del complesso o il tetto piano presente.

I muri portanti che costituiscono la parte strutturale del mulino si compongono di mattoni pieni per la maggior parte delle murature e solo in alcuni punti si trovano i blocchetti forati. Questa osservazione è di facile constatazione poiché in quasi tutti i punti dell'edificio sono presenti mattoni a vista a causa dello stato di degrado in cui verte il complesso, si possono notare infatti i blocchetti forati presenti nella muratura che si affaccia sulla Gora di Borgo nel fronte ovest.

Anche la stragrande maggioranza degli orizzontamenti sono in laterizio, le volte a vela presenti nelle emergenze architettoniche sono in piatto disposte a lisca di pesce nella manica a ovest, le altre sono a volta ribassata. Anche i solai piani sono costituiti da mattoni.

I comignoli sono interamente in laterizio, e come rilevato da un campionamento su un edificio delle corti del borgo sono risultate presenti polveri di cocchiopesto<sup>i</sup>, quindi tale caratteristica sarà sicuramente riscontrabile negli intonaci del mulino.

Il territorio della zona presa in considerazione è in prevalenza argilloso per cui non risultò particolarmente difficile recuperare questa materia prima, in qualsiasi periodo fosse necessario reperire tale materiale.

L'impiego di questo materiale è largamente diffuso in tutta la zona, grazie alle numerose cave presenti sul territorio, i cui principali giacimenti argillosi per la loro produzione si collocano all'interno della pianura del Po e dei suoi affluenti di sinistra, ovvero della zona dell'altopiano di Poirino e della Collina di Torino<sup>ii</sup>.

<sup>i</sup> Miscela di frammenti laterizi o lapidei, impastati con calce, usata come rivestimento di pareti o come pavimentazione, a scopo di protezione contro l'umidità o con funzione decorativa

<sup>ii</sup> PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, dicembre 2006, Torino



Figura 4: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, dettaglio prospetto esterno Sud manica Est



Figura 5: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, dettaglio interno delle stalle, volta con mattoni, manica Est



Figura 6: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, dettaglio della volta con mattoni di piatto posizionati a lisca di pesce, manica Ovest

#### 4.1.2 La sabbia

La sabbia risulta essere tra gli inerti fondamentali per il confezionamento di intonaci e malte che a loro volta possono fare parte come nel caso della malta di allettamento di una parte strutturale, divenendo parte fondamentale permettendo di ammorzare mattone e mattone, trasferendo efficacemente gli stress meccanici da un blocco all'altro, all'interno della struttura.

I materiali litici incoerenti sono ghiaie, sabbie o argille che devono la loro formazione alla sedimentazione di brandelli di svariate dimensioni e grana che derivano dalla frammentazione di rocce di dimensioni maggiori, rocce primarie. Questo sgretolamento è provocato dall'azione degli agenti atmosferici, che con il perpetuarsi delle loro azioni svolgono un'attività erosiva che conduce alla lenta disgregazione delle rocce con corpo maggiore dividendolo e permettono la formazione degli inerti. La sabbia è quindi un inerte con una granulometria molto fine. I frammenti incoerenti sono trasportati dal vento o dall'acqua seguendo un percorso non prestabilito che conduce verso il mare e la pianura. Proprio per la formazione dei materiali litici incoerenti che abbiamo appena descritto, sappiamo che le componenti degli inerti rispecchia la composizione mineralogica delle rocce localizzate nell'area.

La sabbia è un aggregato fine che ha dimensioni inferiori a 4 o 5 millimetri mentre la ghiaia o il ghiaione sono considerati degli aggregati grossolani.

In edilizia la sabbia è un aggregato fine che viene utilizzata per la produzione della malta e del calcestruzzo.

La sabbia utilizzata nel nostro caso specifico è di probabile origine fluviale prelevata dalle sponde del Po o dalle sponde dei canali dislocati nella zona.

#### 4.1.3 La calce

La calce rientra nella famiglia dei leganti. *“L'importanza che i differenti materiali hanno avuto nello sviluppo della civiltà trova conferma nella storia dei leganti da costruzione. I leganti, nel loro evolversi, hanno segnato il progresso compiuto dall'uomo nell'arte del costruire e di trovare riparo per sé e le sue cose. La calce, il cui impiego in architettura si è perpetuato per oltre 10.000 anni senza soluzione di continuità, ha contribuito più di ogni altro legante allo sviluppo del Patrimonio Culturale dell'Umanità.”*

I leganti sono un prodotto inorganico sotto forma di polvere fine che mescolato con acqua genera un impasto plastico in grado di perdere progressivamente la sua plasticità e di indurire, sviluppando proprietà meccaniche e di collante. Esistono due tipologie di leganti: i leganti aerei i quali induriscono solo se esposti all'aria o quelli idraulici, che induriscono anche sott'acqua.

Dentro al complesso in esame abbiamo riscontrato sia la presenza di calce aerea che di calce idraulica.

Supposizione fattibile prima di ogni analisi poiché la porzione di muratura del mulino direttamente a contatto con l'acqua fa presupporre, affinché fosse possibile il processo di presa e indurimento, l'utilizzo di calce idraulica.

La calce aerea è uno dei più antichi materiali da costruzione, viene impiegato per intonaci e malte d'allettamento e in epoca romana venne usato anche per il calcestruzzo (CALCIS STRUCTIO: struttura in calce).

*“Il più antico manufatto rinvenuto realizzato con la calce aerea a noi conosciuto è un calcestruzzo usato in una pavimentazione rinvenuta nel 1985 a Yiftah nella Galilea meridionale (Israele), datato al 7000 a.C.*

i Battaglia,A., Rattazzi,A., Kafetsis, V., Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE, pp. 23



Figura 7: Ciottoli di calcare. Fonte: Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE, pp. 39

Questa pavimentazione, che si presenta molto compatta e con una superficie dura e levigata, è stata realizzata con calce e pietra e collocata su un basamento uniforme di argilla sabbiosa.”<sup>1</sup>

La materia prima costituente la calce aerea è il calcare ( $\text{CaCO}_3$ ) che si ricava dalle rocce calcaree o dolomitiche.

Il ciclo della calce si compone di quattro momenti fondamentali, corrispondenti alla selezione del calcare, la cottura, lo spegnimento e la carbonatazione. Elenco semplificato di passaggi che racchiude in sé trasformazioni chimico fisiche complesse e articolate.

Le caratteristiche mineralogiche e chimiche dei calcari usati come materia prima per la produzione della calce sono molto importanti.

Per la calce aerea i calcari più idonei devono avere una struttura microcristallina con un alto contenuto di carbonati e contenere percentuali di impurità, di natura argillosa che non siano superiori al 5%.

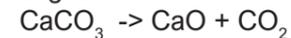
L'operazione successiva da effettuare sulla materia prima, è la cottura di calcari per la calce aerea, o di calcari silicei o argillosi per la calce idraulica; le temperature a cui viene sottoposta la materia prima sono estremamente elevate, e si differenziano tra la calce aerea che prevede una cottura a di circa  $900^\circ\text{C}$ , e la calce idraulica che deve raggiungere una temperatura di

<sup>1</sup> Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE, pp. 24-25

circa  $950\text{-}1250^\circ\text{C}$ .

In fase di cottura, per quanto riguarda la calce aerea, il calcare viene immesso nei forni e portato a una temperatura prossima a  $900^\circ\text{C}$ , in tali condizioni il carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), si decompone in ossido di calcio (calce viva) e anidride carbonica, la quale viene rilasciata nell'aria.

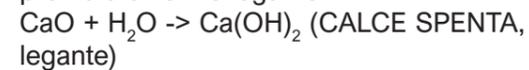
La reazione schematica del processo è la seguente:



Quello che si ottiene è la calce viva in zolle,  $\text{CaO}$ , liberando la restante parte del processo chimico in anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ).

La calce viva, viene messa a contatto con l'acqua, la reazione è un forte sviluppo di calore e si trasforma in polvere bianca, o in una pasta, la calce spenta, chimicamente definita come idrossido di calcio.

Questa fase del processo, è definita spegnimento, dove la calce viva viene miscelata con acqua, quindi idratata, e con una reazione esotermica ed espansiva, si ottiene il prodotto finito, la calce spenta, pronta a divenire legante.



Una volta in opera, sotto forma di malte, stucchi o pitture, interviene la carbonatazione, ultimo passaggio del ciclo della calce. Questo è reso possibile dalla presenza di anidride carbonica, e



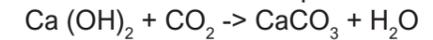
Figura 8: Esempio di fornace adibite alla cottura delle materie prime. Fonte: Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE, pp. 40



Figura 9: Spegnimento della calce. Fonte: Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE, pp. 41

acqua libera. La calce viva viene posta a contatto durevole con l'aria e con l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) in essa contenuta, innescando la trasformazione di idrossido di calcio in carbonato di calcio, solido e

duro con rilascio di acqua:



Trasformando la calce spenta in calcite, si conclude così il ciclo della calce, questa reazione è corretta dal punto di vista formale, anche se la reazione reale è più complessa, poiché il processo sembra avvenire tra un solido  $\text{Ca(OH)}_2$  e un gas  $\text{CO}_2$ , mentre in realtà la reazione avviene in fase acquosa grazie all'acqua di impasto della calce, in cui la  $\text{CO}_2$  diffonde.

Si conclude così un ciclo che parte dal carbonato di calcio, trasformato in ossido di calcio (calce viva), quindi in idrossido di calcio (calce idrata) e finisce, a contatto con l'anidride carbonica dell'aria (carbonatazione), di nuovo in carbonato di calcio.

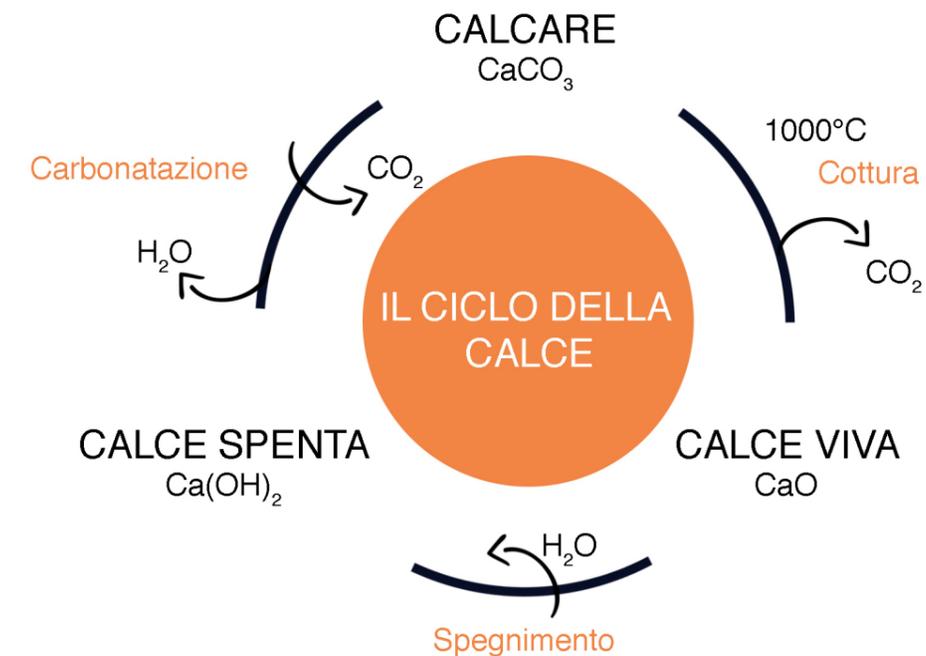


Figura 10: Rappresentazione grafica del ciclo della calce, rielaborazione personale, fonte: Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE, a cura di Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., 2011

#### 4.1.4 La calce aerea

La calce aerea è così denominata perché indurisce per assorbimento dell'anidride carbonica dall'aria, è il prodotto della cottura dei calcari più puri e rocce ad alto contenuto di carbonati di calcio.

Con il termine calce aerea si fa riferimento, nell'ambito delle calce da costruzione a due prodotti, la "calce viva", costituita prevalentemente da ossido di calcio; e la "calce idrata" o "spenta" costituita prevalentemente da idrossido di calcio.

Dalla cottura dei calcari che contengono anche carbonato di magnesio si ottiene ancora "calce viva" e successivamente "calce idrata", che conterrà insieme all'ossido/idrossido di calcio, l'ossido e l'idrossido di magnesio.

I termini di calce viva e calce spenta si usano, pertanto, indipendentemente dal contenuto o meno di magnesio, ma quando si vuole specificare la presenza del solo calcio, oppure del calcio e del magnesio insieme; si distinguono le "calce calciche" (CL) e le "calce dolomitiche" (DL).

La calce viva appena uscita dai forni non è utilizzabile in edilizia direttamente, e viene trasformata in calce idrata, facendola reagire con acqua; la calce spenta ha diverse denominazioni, quali idrossido di calcio, calce idrata, portlandite.

Dallo spegnimento della calce viva si possono ottenere diversi prodotti a seconda della quantità di acqua aggiunta creando una massa più o meno consistente, come la calce in polvere, la calce in pasta ed il grassello.

La calce idrata in polvere si ottiene facendo reagire la calce viva con acqua in condizioni controllate, utilizzando degli idratatori, utilizzando l'esatta quantità di acqua necessaria alla trasformazione in idrossido di calcio. Questo prodotto nasce come esigenza di commercializzare leganti secchi, da venderli in sacco in analogia

con il cemento. La calce idrata in polvere è reperibile in sacchi ed è apprezzata esclusivamente per la comodità del confezionamento.

La calce idrata in pasta si ottiene aggiungendo in fase di spegnimento una quantità d'acqua eccessiva rispetto a quella necessaria a trasformare tutta la calce viva ( $\text{CaO}$ ) in calce idrata ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), oppure stemperando la calce idrata in polvere fino ad ottenere un prodotto omogeneo. Commercialmente questo prodotto è disponibile anche sotto forma di pasta, ovvero una dispersione densa di calce (idrossido di calcio) in acqua.

Quando si parla di grassello, bisogna fare una distinzione tra questo e la calce idrata in pasta.

Durante la maturazione, passaggio che caratterizza e distingue il grassello dalla calce idrata in pasta, i cristalli di idrossido di calcio, subiscono trasformazioni morfologiche e dimensionali, aumentando la plasticità, la lavorabilità e la ritenzione d'acqua.

Le pitture formate utilizzando il grassello di calce hanno una minore tendenza a disgregarsi, senza la necessità di introdurre additivi organici.

Questo prodotto ha una maggiore rapidità di carbonatazione rispetto agli altri due e ha benefici in durabilità e resistenza, è meno soggetto a ritiro e a suzione da parte delle murature, ed è per questo è quindi preferibile sul piano tecnico ed estetico.

Le applicazioni per cui è impiegato questo legante sono molteplici: intonaci, basi per pitture, legante tra pietre e mattone per la malta di allettamento, malta con sabbia ed aggregati coccio pesto e pozzolana, malta bastarda, latte di calce per le finiture colorate con addizione pigmenti, acqua di calce per essere usata come consolidante. La principale differenza tra il grassello e la calce aerea idrata in pasta è che il grassello beneficia degli effetti del tempo che produce sulla struttura chimico fisica

del materiale, durante la fase additiva definita invecchiamento o maturazione.

I vantaggi di questo passaggio riservato solamente al grassello sono molteplici; con il grassello di calce si ottengono malte più "grasse", più plastiche e lavorabili, meno soggette a ritiro, e a suzione da parte delle murature e pertanto preferibili sul piano tecnico ed estetico; inoltre, le pitture formulate con grassello di calce, rispetto a quelle formulate con calce idrata in pasta (o in polvere), hanno una minor tendenza a segregare, non richiedono additivi organici, carbonatano, si fissano al supporto con maggior velocità e forza e, se ben applicate, non hanno tendenza a "spolverare"; il grassello di calce si carbonata con maggiore rapidità della calce aerea in pasta (o in polvere), con benefici rispetto alla durabilità e alle resistenze dell'opera che si andrà a realizzare, sia questa una malta, un intonaco o una pittura.

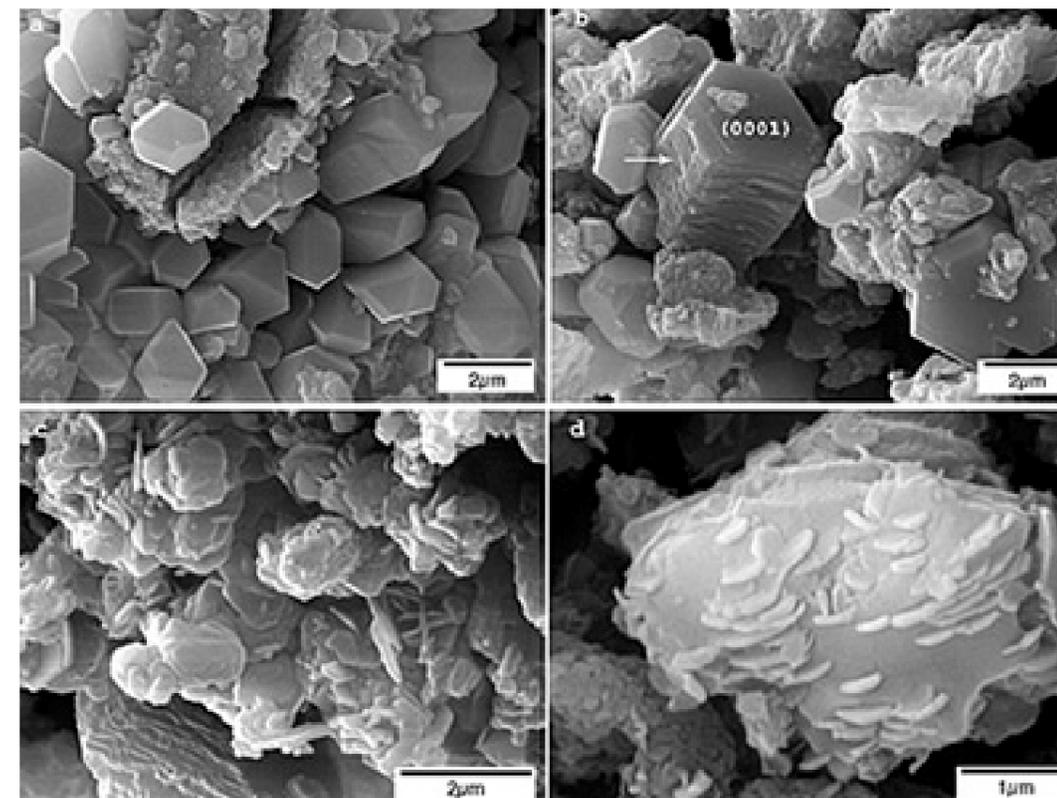


Figura 11: Confronto di morfologia dei cristalli di portlandite al microscopio elettronico. In alto a sinistra: pasta di calce idrata; in alto a destra: grassello invecchiato 2 mesi; in basso a sinistra: grassello invecchiato 6 mesi; in basso a destra: grassello invecchiato 24 mesi, foto di Navarro-Rodriguez, C.

### 4.1.5 La calce idraulica

“Esistono diversi tipi di leganti ognuno adatto ad un determinato tipo di utilizzo, per questo e altri motivi le calce aeree non vanno mai confuse con le calce idrauliche, leganti assolutamente diversi per origine, chimismo e processi di presa e indurimento.”<sup>i</sup>

La calce idraulica è un materiale da costruzione antico usato da Fenici Greci e Romani per elementi a contatto con l'acqua, e quindi da loro impiegata nelle opere idrauliche (dighe, porti, acquedotti), per la capacità di questo legante di indurire anche in presenza di acqua, questo materiale costituisce una tappa fondamentale della storia dei leganti impiegati in architettura prima dell'avvento del cemento portland.

I primi utilizzi di questo materiale da parte dei popoli sopracitati, prevedevano l'unione di una calce aerea a pozzolana<sup>ii</sup>, ottenendo un composto non assimilabile alle calce idrauliche così come noi le conosciamo, che sono prodotti decisamente più recenti.

La miscela di partenza si compone, quindi, di calce idrata e pozzolana e anche di cocchiopesto, malta impermeabile, ottenuta

<sup>i</sup> Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., *Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE*, pp. 47-48

<sup>ii</sup> Materiale piroclastico incoerente, emesso dal vulcano nella fase esplosiva e come tale costituito principalmente da piccolissimi granuli vetrosi, più o meno porosi, a cui si accompagnano piccoli cristalli di minerali diversi. La composizione mineralogica delle pozzolane è mal definita; molto varia è quella chimica: predominano la silice e l'allumina (60-90%); le pozzolane hanno fondamentalmente carattere acido; sono in grado di fissare calce formando composti di tipo idraulico.

Prodotto	Resistenza a compressione 7 giorni	Resistenza a compressione 28 giorni
NHL 2, HL 2		≥ 2 to ≤ 7
NHL 3.5, HL 3.5		≥ 3.5 to ≤ 10
NHL 5, HL 5	≥2	≥ 5 to ≤ 15

Tabella 1: Confronto delle proprietà meccaniche tra i materiali

da minuti frammenti di laterizio impastati con calce aerea.

“L'aggettivo “idraulico”, riferito a un legante, è stato introdotto dall'ingegnere francese Louis Vicat (1786 –1861), che per primo stabilì in maniera precisa le proporzioni tra calcare e argille necessaria a produrre materiali in grado di fare presa e indurire anche in assenza di aria, ovvero in presenza di acqua. Sempre il Vicat, propose la prima, e sotto molti aspetti ancora valida, classificazione delle calce idrauliche. Con calce idrauliche si intendono prodotti derivati dalla calcinazione di calcari marnosi o marne calcaree (miscele naturali che presentano un certo tenore - dal 6 al 22% - di argille o altri alluminosilicati idrati) sottoposti a cottura a temperature generalmente comprese tra 1100 e 1250°C.”<sup>iii</sup>

In queste condizioni l'ossido di calcio formatosi, CaO, successivamente si combina con la silice e l'allumina dell'argilla formando silicati e alluminati di calcio idraulici, composti cioè che reagendo

<sup>iii</sup> Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., *Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE*, pp. 50-51

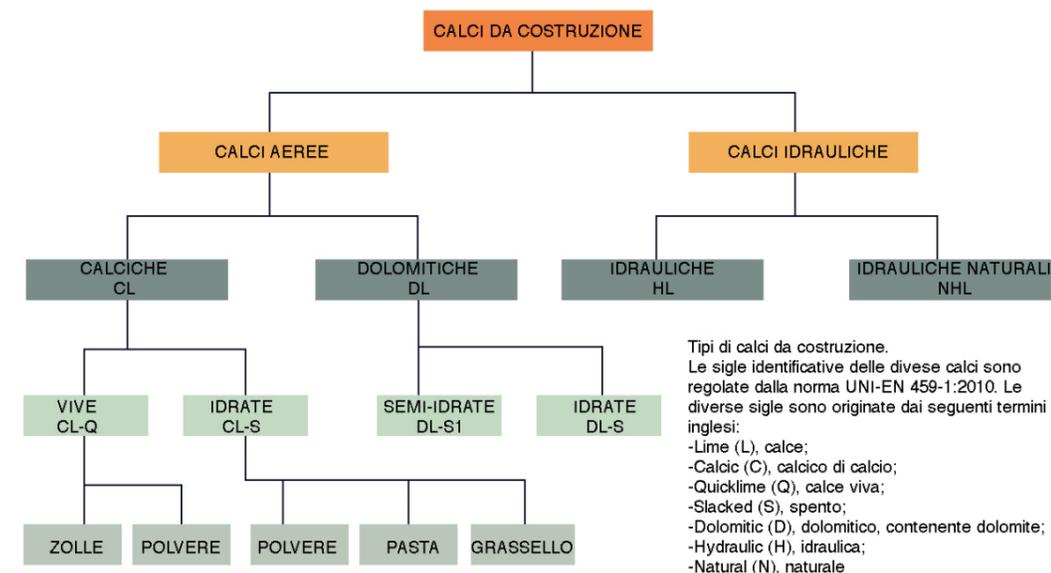


Figura 12: Calce da costruzione schema, rielaborazione personale

chimicamente con l'acqua formano idrati stabili ed insolubili che consentono al materiale di indurire e rimanere stabile anche sott'acqua.

Le ottime prestazioni e le eccellenti qualità idrauliche di queste antiche malte diedero spunto alla nascente chimica e alla tecnologia delle costruzioni ottocentesche per innovare profondamente il panorama dei leganti idraulici fino alla produzione dei moderni cementi.

Le attuali normative in materia, le norme UNI-EN, suddividono le calce idrauliche in un due gruppi: le calce idrauliche (HL) e le calce idrauliche naturali (NHL), queste ultime sono quelle non modificate con l'aggiunta di materiali pozzolanici o idraulici (clinker, cemento, ceneri ecc).

Le prime si ottengono dalla cottura di una miscela di calcari con argille, pozzolane, cementi e scorie di altoforno.

Le calce idrauliche naturali derivano unicamente dalla cottura di marne<sup>i</sup> naturali o calcari silicei. Secondo la normativa esse si distinguono in NHL 2.0, NHL 3.5, NHL 5.0 in base alla diversa resistenza meccanica.

Il numero che accompagna la sigla NHL indica la resistenza meccanica della

<sup>i</sup> Rocce sedimentarie composte da carbonato di calcio e argilla oppure da bicarbonato di magnesio e calcio (dolomite)

calce, riferita come minima resistenza alla compressione di un provino di malta dopo 28 gg. di stagionatura, espressa in Mega Pascal (MPa).

Non vanno confuse la calce idrata con la calce idraulica poiché la calce idrata è una calce aerea, in grado di indurire solo in presenza di aria mentre la calce idraulica indurisce anche in presenza di acqua.

La calce idraulica presenta una maggiore resistenza meccanica e durabilità della calce aerea.

Storicamente la cottura dei calcari avveniva in apposite fornaci, ma a livello locale e in piccoli centri abitati non accadeva di rado che per modeste quantità, le pietre da calce venissero cotte in fosse scavate direttamente nel terreno magari a ridosso dell'area in cui era destinata la nuova costruzione.

All'interno dell'area di interesse la calce, come il gesso e l'argilla, sono utilizzati come leganti nelle malte da intonaco e di allettamento tra i conci delle murature.

Durante le analisi svolte in laboratorio in sede della stesura di un'altra tesi con tematica “Malte storiche di Borgo Cornalese: caratterizzazione dei materiali

e prove di confezionamento di malte compatibili<sup>ii</sup> si è confermata la presenza in maniera abbondante di  $\text{CaCO}_3$ , confermando che si tratta di carbonato di calcio puro, calce calcica, un legante aereo, la cui formazione deriva dalla cottura di pietre calcaree. Si esclude che la calce fosse prodotta localmente, in quanto non si sono registrate cave di calce nelle vicinanze del nostro comune<sup>ii</sup>. La presenza di calce è giustificata dal fatto che sia giunta nel luogo della costruzione e quindi del suo effettivo impiego già a prodotto ultimato, grazie alla diffusione e alla commercializzazione del prodotto.

Dai quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte, sappiamo che durante lo scavo effettuato in concomitanza del ritrovamento della Fornace Romana localizzata a Fortepasso si sono ritrovate tracce di residui di calce:

*“in quanto si è riscontrato un consistente taglio obliquo, con tracce di combustione delle pareti e un residuo di calce sul fondo”<sup>iii</sup>*

Questo deposito di calce porta a pensare che sulla zona venne adibita una piccola attività per la produzione della calce.

L'idraulicità di una calce è legata alla sua percentuale di argilla: al di sotto del 5% è considerata non idraulica, dal 5% al 20% ci sono vari livelli di idraulicità.

i Petiti, V., *Malte storiche di Borgo Cornalese: caratterizzazione dei materiali e prove di confezionamento di malte compatibili*, tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2014/2015, relatore P. Palmero, correlatore A. Doleatto

ii PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, Comune di Torino, dicembre 2006, Torino

iii Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte, 10, 1991, pp. 187-190

#### 4.1.6 Il gesso

Il gesso rientra nella famiglia dei leganti, ed è uno dei più antichi materiali da costruzione, assieme alla calce e alla terra cotta, utilizzato ai tempi della piramide di Cheope (2800 a.C.), in epoca romana e durante il medioevo.

La materia prima da cui si parte per la generazione di questo prodotto artificiale è la pietra da gesso, che ne costituisce la sua materia prima ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  minerale). La produzione di questo materiale prevede come passaggio primario la cottura della pietra da gesso. In base alla temperatura di cottura si possono ottenere risultati differenti, se la temperatura è maggiore di  $120^\circ\text{C}$  si ottiene l'**emidrato** o **scagliola**, se la temperatura supera i  $180^\circ\text{C}$  si ottiene l'**anidrite solubile**, mentre se la temperatura è estremamente elevata quindi sopra i  $250^\circ\text{C}$  allora si ottiene l'**anidrite insolubile**.

Dopo aver effettuato la disidratazione della roccia sedimentaria si sottopone alla macinazione.

I tempi di presa sono molto rapidi, a contatto con aria prevede tempistiche che oscillano tra i 15 e i 60 minuti, mentre per l'indurimento è prevista una giornata intera. Tra i parametri che influenzano la qualità del gesso abbiamo la temperatura di cottura, la purezza della materia prima quindi della pietra da gesso, la finezza

della macinazione, il tempo di presa e gli additivi. Molteplici sono le applicazioni del gesso nell'edilizia, in base a che cosa viene addizionata se con sabbia o con colle proteiche o calce idraulica si possono ottenere stucchi, finiture, intonaci e pannelli prefabbricati. Il gesso è stato storicamente utilizzato, da solo o mescolato con calce, come legante all'interno di malte realizzate per intonaci particolari. Nelle zone in cui la pietra da gesso era particolarmente abbondante questa ha favorito un impiego maggiore del materiale da costruzione rispetto alla calce, privilegiandone l'impegno nelle malte comuni. Le caratteristiche tecniche che lo differenziano dalla calce è che presenta delle temperature di cottura molto basse e presenta notevoli difficoltà di lavorazione per colpa del tempo di presa menomato. Borgo Cornalese presenta il gesso all'interno del suo costruito utilizzato come per la realizzazione di intonaci di finitura in alcuni locali interni adibiti ad abitazione, in particolar modo nel mulino al piano primo nei locali destinati ad ospitare l'alloggio del mugnaio. La provenienza del gesso non è certa visto che cave di pietra da gesso nelle pertinenze dell'area di interesse non ce ne sono ma invece si registra una larga presenza in tutto il Piemonte e nella zona del Monferrato.

TEMPERATURA T (°C)	TRASFORMAZIONI Gesso biidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	TEMPO DI PRESA
120/180°C	Emidrato $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	1-4 min
180/250°C	Anidrite solubile $\text{CaSO}_4 (\alpha)$	Circa 20 min
250/600°C	Anidrite insolubile $\text{CaSO}_4$ ( $\beta$ )	In assenza di catalizzatori non fa presa

Tabella 2: Schema delle temperature di fusione

## 4.2 Il laterizio, caratteristiche generali

Il termine laterizio deriva dal latino “*later*” che tradotto significa mattone, questi due termini sono prettamente collegati, l'utilizzo del termine laterizio indica un vasto campo di prodotti edili che fanno uso dell'argilla come materia prima, che viene successivamente cotta.

Il laterizio è un materiale ceramico a pasta porosa ottenuto da materie prime inorganiche, non metalliche, mediante un processo di cottura della materia prima, previa preparazione, modellazione e essiccamento. È il materiale da costruzione più diffuso, vario per forma e dimensione. L'argilla è un fillosilicato, struttura a strati a simmetria tetraedrica, costituita



Figura 13: Microfotografia di un minerale di argilla ingrandita 15000 volte, si tratta della dickite, una varietà di caolino, che si presenta in lamelle esagonali ben formate, ciascuna delle quali è costituita da strati fogliettati. Foto di: Keller, W. D., Università del Missouri, Colombia

principalmente da caolini o montmorilloniti. L'argilla fa parte delle rocce sedimentarie e si raggruppa in depositi clastici, fluviali o lacustri, la cui origine è dettata dalla decomposizione di rocce composte in prevalenza di feldspati. Queste si compongono prevalentemente da una sostanza argillosa, il silicato idrato di alluminio  $\text{SiO}_2\text{AL}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , all'interno della quale sono disperse tracce di sabbia e altri minerali che determinano le varietà di argilla.

A seconda della composizione delle argille, si possono suddividere in: argille magre (con aspetto opaco, e poco assorbenti) e argille grasse (con scarso contenuto di sabbia ma con capacità di assorbire acqua fino al 70%).

Le argille grasse sottoposte a cottura hanno attitudine alla frattura maggiore delle argille magre. Le argille costituiscono la materia prima base per molti prodotti edili, dai laterizi alle maioliche.

I laterizi rientrano tra i materiali da costruzione artificiali più antichi, il cui impiego venne inizialmente sviluppato in aree fluviali, per l'origine del materiale, dove era possibile accedere a grandi quantitativi di argilla, che si presentava in banchi, ma questi luoghi che scarseggiavano di altri materiali da costruzione naturali come la pietra o il legno.

I mattoni nacquero per divenire i componenti elementari dell'architettura che con la loro forma modulare si possono comporre a piacimento per ambire a qualsivoglia struttura architettonica, e le cui dimensioni e peso sono stati correlati alle possibilità di ergonomia e movimentazione della mano dell'uomo delegata a posarlo in solide murature.

I materiali ceramici comprendono tutti

i materiali che sono composti da argilla plastica, modellati e successivamente sottoposti a un processo di cottura. L'arte della lavorazione dell'argilla ha origini remote e molto diffuse.

La composizione che meglio si adatta al suo impiego nell'ambito delle costruzioni è la seguente:

- silice  $\text{SiO}_2$  in quantità comprese dal 10 al 75%
- allumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in quantità comprese dal 18 al 40%
- acqua  $\text{H}_2\text{O}$  in quantità comprese dal 6 al 24%

Non sempre la composizione in cui si trova l'argilla corrisponde a questi standard, per cui vengono fatte delle modifiche composizionali per far rientrare il composto in questi parametri, vengono quindi fatte delle aggiunte con delle sostanze correttive, che si classificano in: -sostanze dimagranti: che riducono la contrazione in fase di essiccamento, sono sostanzialmente inerti; -sostanze fondenti: che riducono la temperatura di fusione permettendone una più rapida vetrificazione e quindi impermeabilità attraverso il riempimento delle porosità.

Dopo che il composto di argilla viene corretto nella sua composizione, si procede alla modellazione del composto, per conferirgli un aspetto modulare, affinché possa divenire parte del primo elemento strutturale dell'architettura muraria, il muro.

Dalla cottura dell'argilla si possono ottenere differenti materiali, raggruppabili in due categorie:

1. Materiali a pasta porosa: sono le terrecotte, i laterizi, le terraglie, i refrattari e le faenze, e sono caratterizzati da una superficie facilmente intaccabile dall'acciaio e richiedono temperature di cottura inferiori dell'ordine di 800°C;
2. Materiali a pasta compatta: come le porcellane e i gres, che invece

presentano superfici dure e compatte, impermeabili, dal comportamento vetroso, la cui superficie non risulta scalfibile da punte di acciaio e invece necessitano di cotture che partono dai 1000/1200°C per ottenere l'inizio della fusione, fase della greificazione, fino a raggiungere i 1600°C, con i quali si ottiene la vetrificazione.

I processi di cottura attuali, per quanto riguarda i laterizi, sono estremamente controllati, grazie alle odierne attrezzature, che consentono un continuo controllo della temperatura per ottimizzarne la cottura, senza indurre errori di preparazione, che venivano invece effettuati abbondantemente in passato, determinando la formazione di mattoni eccessivamente cotti, denominati ferrioli o poco cotti, conosciuti come albasì.

Le caratteristiche da cui dipendono le prestazioni di un qualsiasi materiale vengono determinate mediante prove di laboratorio, e sono le seguenti: **caratteristiche fisiche** (che comprendono massa volumica, imbibizione, impermeabilità, conduttività termica, uniformità), **caratteristiche meccaniche** (ovvero: resistenza a compressione, resistenza a flessione, resistenza a rottura, durezza e resistenza a fatica), e **caratteristiche tecniche** (comportamento al fuoco, resistenza al gelo, isolamento termico e isolamento acustico).

La conduttività termica dipende dalle altre caratteristiche fisiche e varia in funzione del peso specifico, della porosità, della composizione della miscela, della forma e del tenore di umidità.

Le caratteristiche meccaniche sono determinanti nei laterizi, in particolar modo quando questi rivestono funzioni portanti: i laterizi presentano un'ottima resistenza a compressione, mentre risultano scarse la resistenza a trazione e quella a flessione; variano a seconda che si tratti di elementi pieni o forati. Quando si tratta di laterizi da copertura o pavimentazione si devono considerare la resistenza all'urto, la resistenza all'usura e la durezza.

Per quanto riguarda le caratteristiche tecniche i laterizi presentano un ottimo

comportamento al fuoco, infatti si registrano alte prestazioni dei mattoni pieni che resistono fino a 1100°C, mentre quelli forati si presentano meno resistenti, a causa della presenza dei fori.

L'isolamento acustico varia da laterizio a laterizio, poiché questo aspetto è regolato dalla porosità dell'elemento, dall'alveolatura e dalla corretta messa in opera dei giunti di malta.

L'isolamento termico invece è determinato dalla conduttività termica dell'elemento e dalla corretta esecuzione dei giunti.

La produzione dei laterizi si scinde in quattro gruppi principali, relativi alle destinazioni d'uso caratterizzanti:

1. **Laterizi per murature:** mattoni pieni, mattoni semipieni, blocchi alleggeriti, mattoni forati;
2. **Laterizi per solai:** blocchi per solai, tavelle e tavelloni (ora maggiormente impiegati per le pareti divisorie);
3. **Laterizi per coperture:** coppi e tegole (embrici, marsigliesi, portoghesi, olandesi);
4. **Laterizi per pavimenti e rivestimenti:** piastrelle di ceramica utilizzate per rivestimenti esterni, facciate appese ventilate, ecc.

#### 4.2.1 Impiego del mattone nella storia, produzione ed evoluzione

I primi utilizzi di questo elemento di argilla non ne prevedevano la cottura, e le prime messe in opera risalgono al 14000 a.C. nella valle del Nilo, dove gli edifici in terra cruda testimoniano questo impiego.

Quando l'argilla non viene cotta è attaccabile dall'umidità, al variare del clima varia di consistenza, divenendo estremamente plastica quando il clima è umido e indurisce quando il clima è secco. Tra i primi impieghi del laterizio crudo abbiamo anche la Mesopotamia che attorno all'anno 4000 a.C. vede i suoi popoli impiegati nella produzione di mattoni crudi, dalla forma rettangolare, utilizzati assieme al bitume per creare le Ziqqurat.

Anche le piramidi vennero realizzate con mattoni crudi, e ne fecero grande impiego anche i romani nelle loro grandiose costruzioni.

Solo in un secondo momento si comprese che la resistenza di questi blocchetti modulari aumentava se sottoposti a un processo di cottura.

La storia dell'evoluzione costruttiva edilizia mantiene inalterati gli strumenti e le metodologie per un vastissimo arco temporale, per secoli, infatti i materiali impiegati furono fin dal principio sempre i medesimi: pietre, calce, legno, malte, mattoni in argilla crudi o cotti e via dicendo. La cottura del laterizio venne documentata solo intorno al I secolo a.C., e in Italia venne introdotta dalle colonizzazioni greche, ma la massima espressione venne raggiunta dalle maestranze romane. Questi producevano laterizi destinati alla cottura con argilla, acqua, sabbia, paglia o pozzolana fine in modeste quantità; successivamente si procedeva con il processo di modellazione, comprimendo il composto manualmente in apposite forme lignee che conferivano al composto la forma parallelepipedale, per poi venire essiccati, preferibilmente nei mesi

autunnali, affinché potessero seccare a una temperatura uniforme, ed essere successivamente cotti alla temperatura di 800 °C.

Il processo di cottura subì delle evoluzioni quando nel XVII secolo vennero introdotti strumenti come la trafilatrice, il forno ad anello e il forno a tunnel che permisero la produzione del mattone e dei prodotti ceramici a pasta porosa su larga scala, facilitando il proliferarsi di queste costruzioni.

Il vastissimo arco temporale sopracitato si compone di tremila anni, tutto rimase sostanzialmente immutato fino al giungere della rivoluzione industriale, periodo di stravolgimento economico, produttivo, che inserì nell'ambito delle costruzioni nuovi materiali, che sconvolsero le tradizionali tecniche fino ad allora conosciute.

Vennero con la rivoluzione industriale introdotti due grandi nuovi raggruppamenti di materiali, da una parte l'introduzione nel campo edile di leghe metalliche ferrose e dall'altro lato nuove famiglie di leganti, che a piccoli passi portarono all'introduzione del cemento e successivamente del calcestruzzo armato.

I passaggi del processo produttivo da seguire per la realizzazione del mattone per l'edilizia sono:

1. Preparazione dell'impasto di argilla
2. Modellazione o formatura dell'impasto
3. Essiccazione
4. Cottura

Come già citato, ci sono standard entro i quali i componenti dell'argilla devono rientrare, poiché come si presentano allo stato naturale necessitano di interventi volti alla rimozione delle impurità e all'aggiunta delle sostanze mancanti per rientrare nelle caratteristiche richieste per consentire fasi successive ottimali.

Le principali impurità presenti all'interno dell'argilla sono solitamente:

- il carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ): se presente per più del 20%, poiché

riscaldato tende ad eliminare anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) trasformandosi in ossido di calcio ( $\text{CaO}$ ), che altro non è che calce viva, che idratandosi sviluppa calore che potrebbe creare disagi alla muratura e distacchi degli strati di intonaco;

- i sali solubili: principale causa delle efflorescenze e subflorescenze, sono sodio e potassio;

- tutte le impurità presenti di origine organica, vegetale o animale che potrebbero arrecare danni al processo;

Oltre alla rimozione delle eventuali presenze inopportune si fanno delle aggiunte, dimagranti o fondenti, per rendere il composto più o meno plastico, più o meno grasso.

Il processo che segue una volta raggiunta la composizione ottimale prevede la stagionatura dello stesso al caldo, in questo caso si parla di estivazione, oppure al freddo, processo di ibernazione.

Il prodotto viene poi frantumato fino a raggiungere una granatura media, tramite apposite tagliatrici. Quando viene raggiunta la granatura desiderata si procede con l'impasto, dove il prodotto viene modellato e disposto in appositi stampi, o nel caso di produzioni industriali viene passato a trafila nelle apposite macchine a compressione, per la produzione di mattoni forati o pieni. All'uscita della trafila, nei processi industriali, il prodotto viene sezionato in maniera meccanica ad intervalli costanti. I pezzi generati vengono successivamente essiccati per rimuovere la restante acqua prima dell'ultima fase di cottura, ciò avviene in appositi stoccaggi. Questa fase è estremamente delicata, infatti i parametri di temperatura e umidità devono essere costantemente monitorati per mantenere il corretto grado igrometrico di essiccazione.

*“Si sono sperimentati con successo metodi di riscaldamento (specialmente nel caso di prodotti ceramici per i quali si rende necessario un controllo più efficiente delle condizioni di essiccazione) con campi elettrici ad alta frequenza mediante i quali il calore penetra direttamente nella massa in essiccazione senza gradualità*

Tipologia di mattone	Pieno
Dimensioni [cm]	12x25x5.5
Peso al m3 [Kg/m3]	1388
Resistenza a compressione in direzione dei carichi verticali (UNI EN 772) [MPa]	34.38
Resistenza a compressione in direzione ortogonale ai carichi verticali (UNI EN 772) [MPa]-sp muro 25 cm	10.47
Resistenza a compressione in direzione ortogonale ai carichi verticali (UNI EN 772) [MPa]-sp muro 25	6.57

Tabella 3: Caratteristiche meccaniche del mattone pieno

Tipologia di mattone	Forato 45% (percentuale foratura)
Dimensioni [cm]	12x25x5.5
Classificazione secondo norme UNI 8942/1	BSA 11-31
Resistenza a compressione in direzione dei carichi verticali [MPa]	12
Resistenza a compressione in direzione ortogonale ai carichi verticali [MPa]-sp muro 25 cm	2

Tabella 4: Caratteristiche meccaniche del mattone forato

dall'esterno all'interno, con evidente vantaggio nell'omogeneità del prodotto risultante finale<sup>71</sup>.

La cottura finale rimuove tutta l'acqua residua nell'impasto e trasforma i silicati idrati in silicati anidri, questo può avvenire in più modi, il migliore risulta essere quello a fornaci intermittenti o continue (Fornaci Hoffman) che assicurano manufatti di buona qualità. L'evoluzione del mattone e delle tecniche di fabbricazione dello stesso hanno portato a sperimentare nuove forme per creare nuovi prodotti per l'edilizia come: i mattoni forati, utilizzati per non appesantire eccessivamente la struttura per pareti interne o divisorie; le volterrane, per solai o tramezzi; i tavelloni, di vario tipo adatti alla costruzione di solai. Le tipologie di mattoni variano in base al grado di foratura e alle dimensioni, le dimensioni del mattone pieno sono solitamente di lunghezza 22.5-28 cm, di larghezza 10,6-14 cm con uno spessore compreso tra i 5-6 cm.

<sup>71</sup> Ricci, G., *Materiali da costruzione e progetto di architettura*, Cuen, pp.88-89, Napoli, 1996

## 4.2.2 Degrado dei laterizi

In presenza di alcuni fenomeni i laterizi sono soggetti a degrado: l'umidità ascendente presente nelle murature genera efflorescenze e distacco degli intonaci, l'umidità da condensazione interna invece è un fenomeno dovuto al raffreddamento del vapore acqueo all'interno dei materiali costituenti la chiusura esterna e l'umidità generata dalla pioggia e vento è un caso particolare di umidità da condensazione e si ha soprattutto quando i giunti sono degradati e le pareti sono particolarmente permeabili.

I degni dei laterizi sono i seguenti:

1. possibile formazione di **calcinelli**: residui di carbonato di calcio che possono provocare, in seguito alla cottura, espansioni e danneggiamenti;



Figura 14: Calcinello su laterizio

2. **Cuore nero**: si tratta di macchie nere presenti sulla superficie del mattone o al suo interno, la loro presenza è dovuta alla concentrazione di sostanze organiche presenti all'interno dell'argilla, intrappolate nel laterizio quando la vetrificazione superficiale del mattone avviene prima che le sostanze organiche imputate brucino del tutto. La loro colorazione nerastra è dovuta a carbone incombusto. Anche la bassa porosità del materiale e la velocità di cottura favoriscono la formazione di uno strato impermeabile all'aria ostacolando, conseguentemente, la completa combustione del carbone. Nei casi in cui si presenti questo degrado il

mattone va rivoltato, attraverso il metodo "scuci e cuci" oppure sostituito.



Figura 15: Degrado "cuore nero"

3. **Efflorescenze**: degni dovuti alla presenza di sali, sono depositi salini, di quantitativo e aspetto variabile. Sono individuabili cinque tipi di efflorescenze a seconda della loro localizzazione: sulla superficie del mattone, solo sul giunto di malta, nella zona di contatto tra mattone e malta, sotto forma di anello sulla superficie del mattone, sotto forma di rettangolo al centro del mattone.

L'entità del degrado può essere: nulla (quando non vi è nessun deposito apprezzabile di sostanze saline sulla superficie), leggera (quando si nota la presenza di una sottile patina bianca distribuita in maniera non omogenea), media (quando lo strato di sale è ben visibile e presenta una patina uniforme) e forte (quando appare uno strato di sale consistente, distribuito in maniera omogenea che si stacca facilmente dal substrato).

La rimozione della problematica viene affrontata spazzolando e lavando la superficie muraria. Questo fenomeno è favorito da climi in cui la piovosità autunnale e primaverile è alta con temperatura e ventilazione consistenti.

I sali più comuni rinvenuti nelle efflorescenze sono il solfato di sodio e il solfato di calcio, che sono quasi sempre presenti, seguono poi il solfato di potassio, il solfato di magnesio, il cloruro di potassio, cloruro di sodio, nitrato di potassio e nitrato



Figura 16: Efflorescenza solfatica su mattone a vista

di sodio. Sono più rari da trovare invece il carbonato di sodio, il carbonato di calcio e il solfato di ferro.

4. **Fenomeni gelivi**: sono dissesti dovuti alla variazione dello stato dell'acqua, quando dallo stato aeriforme passa allo stato solido, a causa dell'abbassarsi delle temperature nei periodi invernali, si creano delle pressioni sulle pareti dei pori capillari generati dall'aumento di volume dell'acqua. I mattoni albas sono maggiormente soggetti a questa tipologia di degrado. L'unico rimedio a questo problema consiste nell'eliminare l'umidità presente nelle murature.

5. **Scagliatura**: azione che si verifica con il distacco totale oppure parziale di porzioni, definite appunto scaglie, dello strato superficiale del laterizio. Le scaglie non hanno dimensioni omogenee, ma hanno spessore irregolare e consistente, sotto questo strato che viene rimosso possono essere presenti efflorescenze e patine biologiche. Le cause sono imputabili al gelo, all'umidità presente nella muratura e all'esposizione agli agenti atmosferici.

6. **Esfoliazione**: dissesto che si manifesta con il distacco di uno o più strati, sfoglie, superficiali paralleli. Le cause possono essere molteplici come il movimento dell'umidità all'interno del muro, l'azione dei microrganismi o l'impiego di prodotti pellicolanti non idonei al substrato.

7. **Polverizzazione**: consiste nella caduta materica sotto forma di polvere dal



Figura 17: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, alveolizzazione del laterizio

laterizio, causandone la sua decoesione, la causa principale sono i fenomeni gelivi ma anche la presenza di microrganismi può accentuarne la presenza.

8. **Alveolizzazione**: anche questo degrado è causato dai fenomeni gelivi, e si osserva sulla superficie del laterizio sotto forma di cavità dalla dimensione e forma variabile, queste sono spesso interconnesse tra loro e non presentano una distribuzione uniforme.

9. **Dilavamento**: consiste nella caduta di porzioni del substrato a causa della mancata efficacia della copertura.

Tutti i degni sopracitati sono normati dalla Norma UNI 11182-2006: "Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni" dove appunto vengono distinti i degni per tipologia di materiale e il testo ha lo scopo di indicare le differenti forme di alterazione e gli organismi visibili macroscopicamente, permettendo inoltre di individuare lo stato di alterazione delle superfici lapidee, lasciando alla diagnostica la definizione delle cause che determinano tali dissesti. Secondo queste normative e classificazioni sono stati individuati i degni nelle tavole di analisi materica e dei degni delle maniche storiche del mulino di borgo Cornalese.

## 5. Analisi dello stato di conservazione del Mulino

### 5.1 Analisi materica dei vani interni

Gli edifici principali di cui si compone il complesso sono il mulino, la canapaia, l'edificio pertinenziale al mulino, le scuderie, il portico, il forno e quello che rimane della falegnameria.

Si tratta di un complesso rurale che riflette le fattezze delle altre architetture molitorie che si dipanano sul territorio piemontese, sia per quanto riguarda l'organizzazione interna dei vani che per i materiali impiegati nella costruzione che per la tipologia di fabbricato.

Studiare i singoli ambienti ci permette di avere uno sguardo complessivo dell'insieme e dei rimaneggiamenti che si sono susseguiti al suo interno, permettendoci costatare al meglio le superfetazioni che da una veduta esterna non sono completamente percepibili.

Iniziamo ad analizzare i singoli vani partendo dal pian terreno.

#### 5.1.1 Sala voltata manica sud est

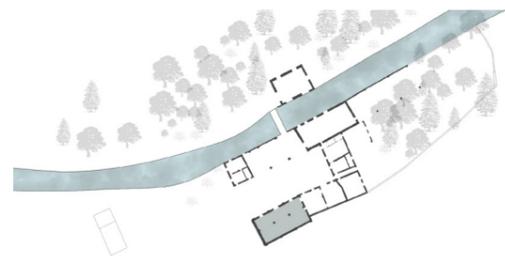


Figura 1: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Questa sala è la prima che si incontra all'interno del complesso, assieme all'altra sala voltata e alla canapaia si inserisce nelle emergenze architettoniche del fabbricato, viste le sue peculiarità strutturali e storiche. Si trova al pian terreno ed è caratterizzata da un'estensione di 114,45 m<sup>3</sup>.

La volumetria di questo vano si discosta dalla restante parte dell'edificato a causa delle diverse datazioni in cui venne

rimaneggiato il complesso, e presenta una tessitura muraria portante il laterizio pieno. La disposizione dei mattoni e la loro posa è visibile sia internamente che esternamente, operazione possibile grazie al distacco che caratterizza l'intonaco, permettendoci così di costatare come sono ammassati tra loro i mattoni e come sono legati grazie alla malta di allettamento a base di calce aerea<sup>1</sup>.

All'interno di questa stanza troviamo due colonne portanti in pietra che sorreggono il solaio di copertura costituito da volte a vela ribassate.

Qui come anche nel locale adiacente adibito a stalle, troviamo dei setti murari bassi a una testa, destinati a dividere il bestiame.

Storicamente la destinazione d'uso di questi vani prevedeva scuderie e lo stoccaggio delle sementi, attualmente è in disuso ma con l'attrezzatura per ospitare il bestiame ancora in loco.

Questo ambiente comunica con quello adiacente tramite una piccola porta, la cui pavimentazione è completamente costituita da un getto di calcestruzzo. L'altezza complessiva non è idonea, infatti il punto di altezza maggiore misura 2.44 m.

Le aperture di questo vano riguardano principalmente il cortile interno, dove infatti troviamo tre varchi, due finestre, dotate di inferriate metalliche e parzialmente tamponate, e un portone. Per quanto riguarda le finestre sul fronte sud e sul fronte est queste sono assenti poiché completamente tamponate, sul fronte est troviamo delle bocche di lupo tamponate con dei mattoni disposti di piatto dato che la quota esterna di calpestio originaria era differente; per quanto riguarda le finestre sul fronte sud la tamponatura è visibile sia internamente che esternamente.

<sup>1</sup> Si tratta di un'ipotesi poiché le analisi svolte in laboratorio effettuate vertono solo su porzioni di Corte B. Si suppone per tanto, vista la contiguità, il medesimo materiale



Figura 2: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, particolare della bocca di lupo tamponata, fronte est



Figura 3: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, particolare del passaggio di connessione tra i vani



Figura 4: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, interno delle stalle, volta con mattoni, manica Est



Figura 5: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, interno sala stalle



Figura 6: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, dettaglio colonna lapidea



Figura 7: Foto scattata durante il sopralluogo di marzo 2020, interno manica est

### 5.1.2 Sala stalle

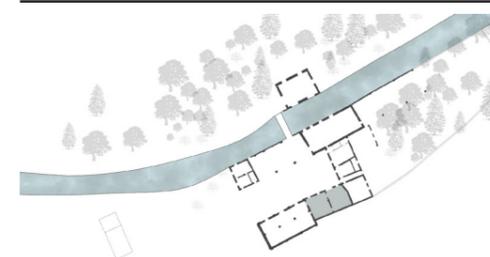


Figura 8: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Questa sala, adiacente alla precedente, si trova al pian terreno ed è costituita da due vani tra loro adiacenti con un'estensione rispettivamente di 38 m<sup>3</sup> e 37 m<sup>3</sup> comunicanti mediante due aperture.

La tessitura muraria portante è in laterizio e gli orizzontamenti sono costituiti da un'orditura primaria in travetti lignei, mentre l'orditura secondaria si compone di elementi metallici, del canniccato usato per la coibentazione funge da tamponamento. Si tratta di una soluzione

povera, rustica, attualmente pericolante e pensata esclusivamente per il confort dell'animale che nei lunghi inverni piemontesi necessitava di riparo.

Il locale era adibito a scuderie e stalle, infatti al suo interno troviamo bassi setti in laterizio per compartimentare il bestiame assieme ad altre strutture mobili metalliche per la suddivisione degli animali, vecchie mangiatoie e tutto il necessario all'organizzazione del bestiame.

L'attuale pavimentazione è costituita da un getto di calcestruzzo, e le quote del locale rimangono non idonee ad essere abitabili. Le uniche aperture presenti danno verso il cortile interno, dove troviamo tre finestre, con infissi metallici e un portone.

Non prende parte alle emergenze architettoniche del complesso poiché non presenta strutture di particolare rilievo o pregio.



Figura 9: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno stalla, dettaglio compartimentazione metallica per il bestiame



Figura 10: Foto scattata durante il sopralluogo del maggio 2019, dettaglio orizzontamento con coibentazione in canniccio



Figura 11: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio dissenso orizzontamento



Figura 12: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno stalla

### 5.1.3 La cantina

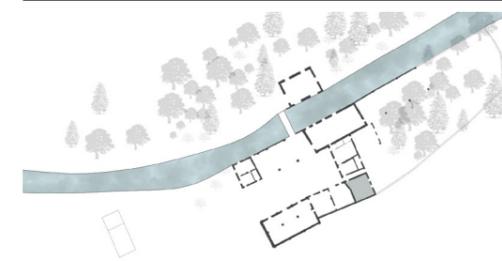


Figura 13: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Ci troviamo sempre al pian terreno, questo vano presenta un'estensione di 39,72 m<sup>3</sup>, la funzione originaria dell'ambiente prevedeva delle stalle e scuderie per il bestiame, mentre oggi ospita la cantina del mugnaio.

La tessitura muraria è in laterizio portante, la pavimentazione è mancante, infatti troviamo solamente terra battuta.

Il solaio di questo spazio è costituito da una soletta di calcestruzzo armato, intervento strutturale che non si accosta in maniera idonea alla muratura preesistente. Il calcestruzzo costituente il solaio, assieme al pilastro in calcestruzzo armato centrale sono frutto di un recente intervento che mirava alla solidità dell'insieme, ma che venne effettuato non curandosi del contesto preesistente.

All'interno del vano troviamo inoltre delle finestre tamponate solo parzialmente che riescono a prendere aria e luce dallo spazio retrostante al complesso, lasciato in rovina.



Figura 14: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno cantina, dettaglio pilastro centrale in cemento armato collocato al centro della stanza



Figura 15: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno cantina, dettaglio del pilastro centrale in calcestruzzo armato e della soletta



Figura 16: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno cantina dettaglio finestre e soletta in calcestruzzo armato con perno pilastro centrale, risultato degli ultimi rimaneggiamenti



Figura 17: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno cantina

#### 5.1.4 Locali abitazione mugnaio

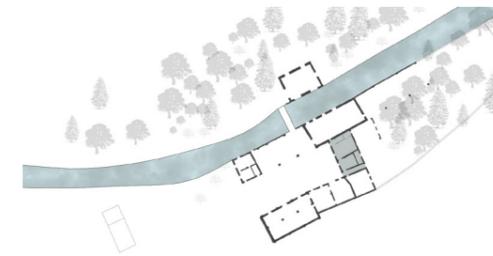


Figura 18: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Questi vani si trovano al pian terreno ed insieme costituiscono l'abitazione del mugnaio, con la rampa di scale di accesso al piano primo dove si disloca la restante parte residenziale.

Questi locali, nel complesso di 53,99 m<sup>3</sup>, presentano delle lacune minori rispetto agli altri vani lasciati in uno stato di abbandono già da tempi più lunghi, dato che le stalle e le scuderie caddero in uno stato di incuria più rapidamente.

La tessitura muraria è in laterizio portante, il gres porcellanato accompagna tutte le pavimentazioni, mentre il solaio non è a vista, si può solamente cogliere l'andamento dell'orditura principale che rimane visibile sotto l'intonaco.

La funzione che ha da sempre caratterizzato questi vani rimane invariata nel tempo, infatti hanno sempre ospitato la funzione residenziale o di pertinenza ad essa.

Le pareti interne sono tinteggiate di giallo o presentano la sovrapposizione di carta da parati, la struttura muraria non è a vista come risultava nelle stalle ma lo strato di intonaco è presente e mediamente omogeneo tranne dove si è distaccato o rialzato.



Figura 19: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, veduta complessiva dell'interno del locale adibito a residenza del mugnaio

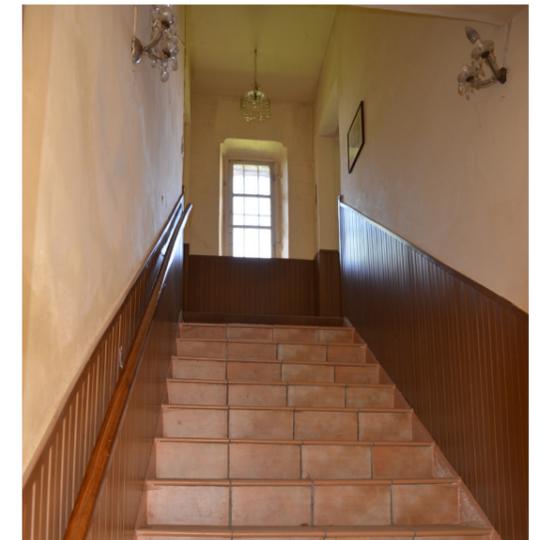


Figura 20: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio scale



Figura 21: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio orizzontamento

### 5.1.5 Sala macchine

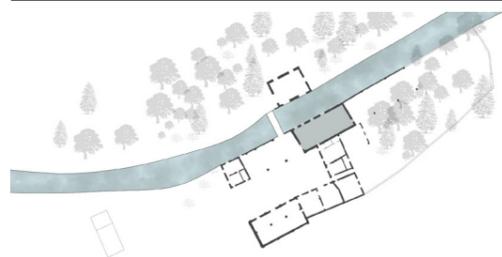


Figura 22: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Questo è l'ambiente che più caratterizza l'attività molitoria poiché al suo interno troviamo il cuore dell'attività e tutte le componenti atte a far funzionare la sua attività. Ospita infatti tutta la strumentazione occorrente alla frantumazione, macinazione, spillatura dei cereali. Si disloca al pian terreno e la scatola muraria è costituita da laterizio pieno portante. Presenta una pianta dallo sviluppo rettangolare per un totale di 115,53 mq all'interno del quale vengono contenuti gli ingranaggi e i macchinari dell'attività.

L'energia cinetica proviene dal torrente, viene successivamente trasformata in energia meccanica, la quale mette in moto la sala macchine.

All'interno della sala macchine troviamo la tramoggia lignea, il castello, le ruote e tutti gli strumenti tradizionali per il funzionamento del mulino e la produzione di farine, oltre a questa attività si affiancava l'essiccazione della canapa, che veniva fatta essiccare nella struttura dall'altro lato del torrente.

Addossata alla parete sinistra del locale troviamo un'impalcatura lignea, il castello, che nei mulini di macina per granaglie ha lo scopo di sorreggere i meccanismi rotanti, celando al contempo gli ingranaggi disposti al di sotto. Nella parte inferiore si trovano gli ingranaggi e le ruote dentate, si tratta di una struttura chiusa a protezione dei lavoratori. La parte superiore costituisce

un vero e proprio pavimento rialzato, che veniva utilizzato come deposito per la raccolta delle farine o per sostenere gli strumenti di alimentazione della macina. I macchinari storici che compongono la sala si estendono anche nel locale superiore. Il solaio si compone di due orizzontamenti differenti tra loro, troviamo sia una soletta in latero cemento, che una parte di tavolato ligneo non strutturale mentre l'attuale pavimentazione è costituita da un getto di calcestruzzo armato.

Sopra il castello troviamo quattro aperture, piccole finestrelle che si affacciano sul torrente che alimenta le ruote metalliche; troviamo un passaggio che mette in comunicazione il portico esterno con la sala in oggetto e un'altra porta di connessione tra i locali pertinenziali della residenza del mugnaio e la sala. Un'ultima apertura mette in comunicazione la parte retrostante lasciata a rovina e la sala.



Figura 23: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno sala macchine, vista del castello ligneo



Figura 24: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista dell'interno, orizzontamento misto



Figura 25: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno sala macchine

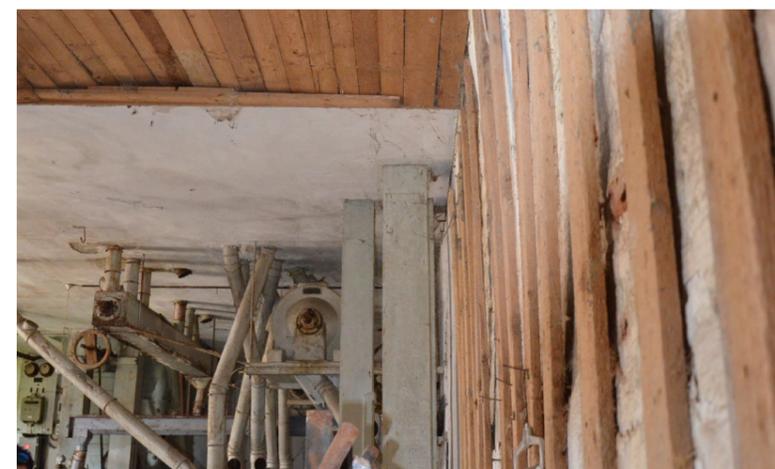


Figura 26: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista dell'interno, orizzontamento misto

### 5.1.6 Tettoia

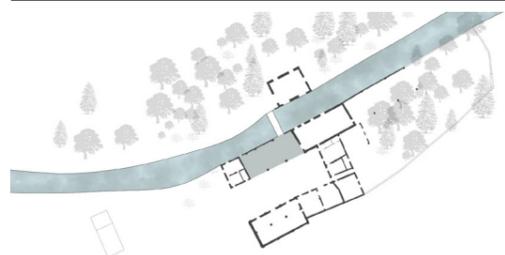


Figura 27: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Ci troviamo al piano terra, dove si trova questo spazio adibito a deposito delle sementi e fienile. Questa tettoia che si trova nella manica sud ovest del fabbricato si estende per una superficie di 122,83 m<sup>2</sup>, con una pavimentazione cementizia. Non abbiamo la tradizionale scatola muraria perché la tettoia è sorretta da una pilastratura di mattoni pieni che punteggia il perimetro, di base quadrata



Figura 28: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio copertura

La copertura di questo spazio presenta un solaio ligneo con capriate e travetti, dove è ben visibile l'orditura primaria e quella secondaria, a sostegno di un manto di coppi alla piemontese. Nel complesso l'orizzontamento di copertura si presenta pericolante. Al di sotto del portico troviamo delle tramezzature non strutturali adibite a deposito.



Figura 29: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, particolare del pilastro in muratura, su cui sono osservabili evidenti segni di degrado dei laterizi



Figura 30: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista complessiva del porticato



Figura 31: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio tramezzature in blocchetti forati non portanti



Figura 32: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista del fienile



Figura 33: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, dettaglio solaio di copertura in coppi alla piemontese



Figura 34: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista della tettoia, dettaglio tamponatura in plastica di connessione tra il portico e il ponte in pietra

### 5.1.7 Sala voltata manica sud ovest

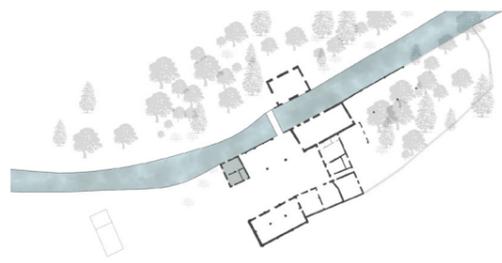


Figura 35: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Questo ambiente presenta delle volte a vela ribassate, e assieme alle altre stalle voltate rappresenta la seconda emergenza architettonica del complesso del mulino, sia in termini di longevità storica che in termini di struttura.

Si trova al pian terreno e la scatola muraria su cui poggiano le volte ribassate, la muratura portante si compone di mattoni pieni, la superficie del vano si estende per 35,95 mq. Questo ambiente si compone di una suddivisione interna che scinde la metratura in due vani, entrambi che ospitavano la funzione di ex stalle, dove troviamo setti alti una ventina di centimetri per la compartimentazione del bestiame.

Sulle superfici si possono trovare strati di intonaco tinggiato di bianco, mentre laddove è distaccato possiamo scorgere i mattoni costituenti la volta e la malta che li mette in connessione tra loro. Come perno centrale della volta a vela troviamo una colonna in pietra annegata nel setto murario divisorio interno, al centro del vano. La volta a vela è costituita da una tessitura muraria in laterizio, con mattoni disposti di piatto a lisca di pesce, disposizione visibile grazie al discostamento dell'intonaco nel centro della volta a causa dell'elevata umidità. La pavimentazione è mancante o dissestata, vi sono detriti di terra battuta e residui della vecchia funzione del vano, adibito a stalla e attualmente in disuso. Le aperture sono piccole e proporzionate al vano, con finestrelle rettangolari e la porta di accesso metallica.



Figura 36: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno sala voltata manica sud ovest



Figura 37: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno sala voltata manica sud ovest, dettaglio apertura



Figura 38: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno sala voltata manica sud ovest, dettaglio orizzontamento



Figura 39: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, particolare porta di connessione tra gli ambienti interni della sala voltata



Figura 40: Foto scattata durante un sopralluogo, giugno 2020, interno sala voltata, dettaglio finestra interna

### 5.1.8 Area ruderi e falegnameria

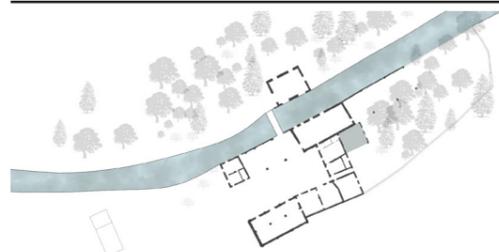


Figura 41: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Non siamo di fronte a un vano ma ad un'area che si disloca nella parte retrostante alla sala dei macchinari del mulino. In questo spazio prendono luogo una serie di pilastri lasciati a rudere, che nelle epoche precedenti sostenevano una tettoia, la quale fu distrutta durante la seconda guerra mondiale, quando venivano bombardate le aree produttive. Rimane il segno della copertura di quest'area sul fabbricato retrostante.

I ruderi dei pilastri sono in mattoni pieni come la struttura della ex falegnameria, che funzionava parzialmente con l'energia prodotta dal mulino.

Questi fabbricati sono aggiunte successive all'impianto originario, lo si può notare dal rilievo metrico effettuato in loco, dove nessun muro è correttamente allineato, ipotesi confermata successivamente dal mancato ammorsamento visibile tra le murature.

Il vano adibito ad ex falegnameria è l'unica parte del fabbricato costituita da una copertura di tegole marsigliesi, mentre tutto il resto presenta coppi alla piemontese. Le tegole marsigliesi sono posate su listelli e capriate lignee alla piemontese. Questa parte ha subito dei danni in seguito ai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale, i manufatti si trovano in uno stato di abbandono avanzato, la copertura della falegnameria è pericolante mentre la zona dei pilastri è sormontata da sterpaglie e erbacce, sottolineando lo stato di abbandono avanzato in cui si trovano.



Figura 42: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista dei pilastri a rudere



Figura 43: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, particolare della copertura con le tegole marsigliesi



Figura 44: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista della falegnameria da dietro, pilastri lasciati a rudere



Figura 45: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista dell'area dalla sponda opposta della Gora di Borgo



Figura 46: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, ingresso area pilastri

### 5.1.9 La canapaia

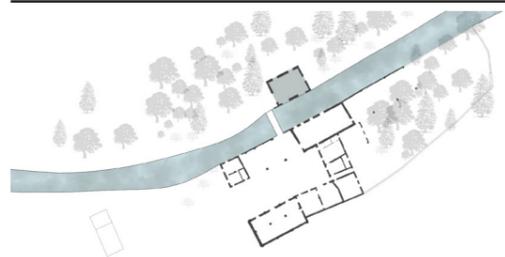


Figura 47: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Si tratta di un locale che si trova dall'altro lato del fiume e assieme alle altre due sale voltate rappresenta l'emergenza architettonica del complesso.

La struttura si compone di una muratura di laterizio pieno, con contrafforti esterni ad irrobustire la costruzione. Si tratta di due piani fuori terra, con una copertura in coppi posati su listello e capriate lignee alla piemontese.

La destinazione d'uso di questa struttura era l'essiccazione della canapa, la cui fibra è una fibra tessile ottenuta dal floema o libro dei fusti delle piante di Cannabis sativa. L'essiccazione della canapa era una pratica molto comune, diffusa in tutta Italia che permetteva la creazione di una carta e tessuti di alta qualità, sottili e resistenti, questa pratica cadde in disuso, lasciando questo spazio inutilizzato per molti anni, lasciandolo in uno stato di abbandono come testimoniano le puntellature degli orizzontamenti. L'estensione della metratura conta 72 mq, presenta aperture, alcune di queste tamponate dal rialzamento del terreno che con il trascorrere degli anni andò ad occludere alcune aperture.

L'attuale pavimentazione è in calcestruzzo, coperto da uno strato di detriti depositatesi sulla base a causa dello stato di incuria in cui si trova lo stabile. All'interno la copertura è visivamente pericolante, troviamo dei setti murari in blocchi di cemento che sorreggono la puntellatura metallica che funge da sostentamento per il tetto.



Figura 48: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, esterno della canapaia



Figura 49: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno della canapaia, particolare della puntellatura della copertura pericolante



Figura 50: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno della canapaia, particolare delle orditure lignee e bassi muri in blocchi di cemento su cui è stato impuntellato il tetto per evitarne il crollo



Figura 51: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, esterno della canapaia, particolare contrafforte murario perimetrale

### 5.1.10 Antico forno e torretta dell'Enel

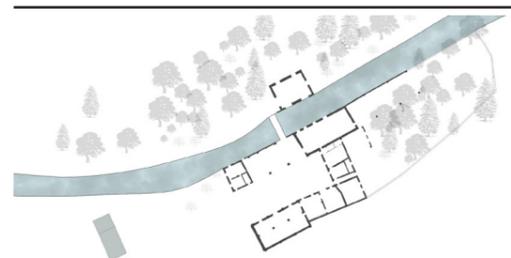


Figura 52: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Questa piccola struttura si colloca a sud rispetto al complesso del mulino, e si compone di due parti, tra loro non ammassate e costruite in età differenti con funzioni altrettanto diverse.

La struttura più longeva, considerata anch'essa un'emergenza architettonica, è un'antica fornace, la cui funzione era la cottura del pane, che si suppone ricavato dalle farine ottenute dall'attività del mulino in oggetto. L'interno di questa porzione è oggi gravemente deturpato a causa di un incendio avvenuto al suo interno che ne ha compromesso la stabilità. Al suo interno rimangono i resti della bocca del forno, sotterrata dai detriti accumulatisi con il trascorrere degli anni.

La struttura più recente è invece una torre dell'Enel, che si accosta, senza ammassarsi all'antica fornace, questa presenta una copertura piana, e un'altezza maggiore del fabbricato a cui è accostata. La muratura è in laterizio pieno, con finestrate tamponate, non rilevabile nel dettaglio poiché appartenente ad un'altra proprietà.

L'antico forno presenta una copertura in coppi posati su listelli con capriate lignee alla piemontese, che internamente mostrano i segni dell'incendio, come su tutte le componenti lignee che vi si collocano. Lo spazio è suddiviso in due parti, lo spazio di lavoro del panettiere e il forno retrostante, coperto da una volta

a cupola.

I muri del forno sono in laterizio pieno, visibile internamente ed esternamente nei punti in cui l'intonaco di calce aerea si distacca.

Le uniche due aperture si collocano sul fronte, dove troviamo una porta con una doppia apertura lignea e una piccola finestrella quadrata.



Figura 53: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, veduta esterna complessiva dell'antica fornace e torretta retrostante dell'Enel



Figura 54: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, interno dell'antica fornace, particolare della bocca dell'antico forno



Figura 55: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, particolare del mancato ammassamento dei due fabbricati



Figura 56: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, interno dell'antica fornace, particolare dell'orditura della copertura in travi e listelli, carbonizzati dall'incendio

### 5.1.11 Deposito primo piano

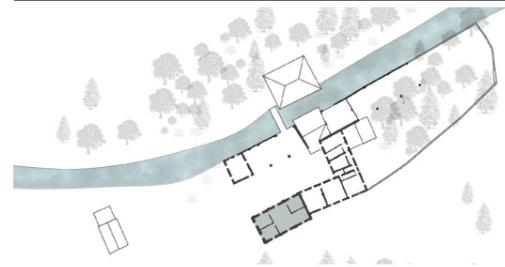


Figura 57: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Ci troviamo al primo piano, nei locali sovrastanti la sala voltata del pian terreno adibita a stalle. Questi spazi, che nel complesso occupano un'estensione complessiva di 112,2 mq sono adibiti attualmente a deposito, vi si accede tramite una scala lignea posizionata parallelamente al prospetto dal cortile interno delimitato dalle tre maniche del mulino.

La copertura di questi ambienti è in coppi posati su listello e capriate lignee alla piemontese, mentre la scatola muraria presenta una tessitura in mattoni pieni. I muri interni sono tramezzi non portanti, in cartongesso.

Vi sono un totale di otto aperture, di cui una porta retrostante alla scala, che consente l'accesso all'ambiente. Le due finestre sul lato ovest sono parzialmente tamponate, con laterizi pieni, questa superfetazione è visibile sul fronte esterno a causa dello strato di intonaco di calce aerea scrostato che permette di vedere la tamponatura effettuata successivamente. La destinazione d'uso di questi spazi era adibita allo stoccaggio delle sementi, abbandonata al cessare dell'attività.



Figura 58: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, dettaglio scala lignea di accesso al piano primo



Figura 59: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, dettaglio accesso tramite balcone ligneo al piano primo



Figura 60: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, dettaglio della copertura in capriate lignee alla piemontese, listelli e pianelle



Figura 61: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, interno deposito



Figura 62: Foto scattata durante un sopralluogo, novembre 2013, dettaglio della copertura in capriate lignee alla piemontese, listelli e pianelle

### 5.1.12 Locali abitazione

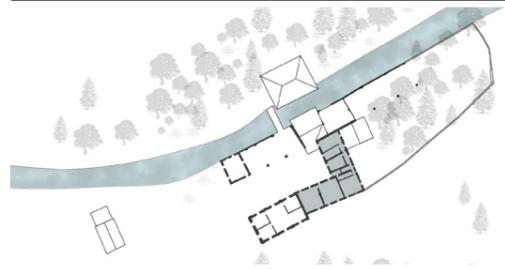


Figura 63: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

I locali collocati in questa porzione dell'edificio sono adibiti ad abitazione del mugnaio, ovvero quella figura che esercita il mestiere di macinare le granaglie al mulino.

Troviamo un complesso di stanze, al piano primo per un complessivo di 193, 17 mq, con cucina, bagno, salotto, camera da letto ecc.

La struttura rimane di mattoni pieni, mentre i muri non strutturali sono di cartongesso. L'attuale pavimentazione è in gres porcellanato, materiale che ricopre parzialmente anche il locale del bagno, e le pareti di quasi tutte le stanze presentano un rivestimento cartaceo di carta da pareti, che serve puramente a fini estetici.

E' presente una controssoffittatura che cela l'orditura, mentre per quanto riguarda il manto di copertura troviamo anche qui i coppi alla piemontese che poggiano su capriate e listelli.



Figura 64: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno abitazione del mugnaio, dettaglio distacco della carta da parati



Figura 65: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno abitazione del mugnaio, corridoio



Figura 66: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno abitazione del mugnaio



Figura 67: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno abitazione del mugnaio, camera da letto



Figura 68: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, interno abitazione del mugnaio, cucina

### 5.1.13 Sala macchinari primo piano

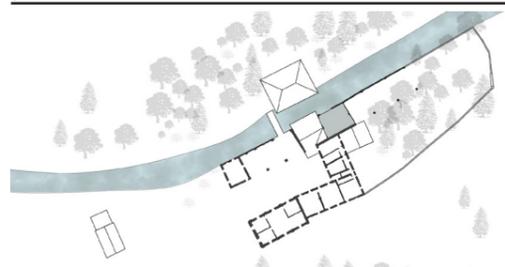


Figura 69: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Ci troviamo nel vano sovrastante la sala dei macchinari, dove i meccanismi per la macinazione delle granaglie si prolungano verticalmente mettendo in connessione i due vani. Questo spazio è un'aggiunta successiva, infatti è l'unico del complesso, che è costituito da blocchetti forati e non da mattoni pieni, probabilmente questo intervento è coevo del puntellamento interno alla canapaia visto che per irrigidire la struttura pericolante venne addossato al muro preesistente un filare in blocchetti forati in laterizio.

Non presenta una copertura in coppi, bensì una copertura piana in latero cemento. L'attuale pavimentazione è in cemento, visto che si tratta di un'aggiunta in epoca recente l'ammorsamento con la muratura preesistente presenta delle problematiche, poiché accostando con diverse metodologie costruttive due corpi, realizzati con differenti mattoni, da una parte i pieni e da una parte i vuoi coi pieni, le caratteristiche meccaniche variano, portando le strutture a reagire alle sollecitazioni in maniera differente, nel caso di un sisma, per esempio.

L'accesso a questo ambiente, prettamente dedicato ad ospitare ingranaggi di funzionamento, avviene unicamente tramite una scaletta lignea che parte dal castello collocato nel locale sottostante, le cui dimensioni sono ridotte. Presenta ampie finestrate con infissi metallici



Figura 70: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista esterna del locale della sala dei macchinari



Figura 71: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, particolare della scala di accesso alla sala macchinari locata al piano primo

### 5.1.14 Deposito primo piano

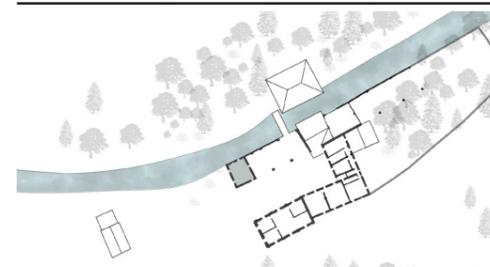


Figura 72: Localizzazione della sala in oggetto all'interno del complesso, rappresentazione personale

Questo è l'ultimo vano, che si colloca al piano primo, poggia sulle volte a vela delle stalle sottostanti. La tessitura è in mattoni pieni, e presenta il prolungamento della copertura della tettoia, in coppi posati su listelli e capriate lignee alla piemontese, con tavole di tamponamento. La pavimentazione attuale è in calcestruzzo, e si estende per 37,95 mq. La funzione che ha da sempre ricoperto questo spazio è quello di essere adibito a deposito delle sementi o dei mangimi per il bestiame. L'accesso è consentito tramite una scala di legno, collocata sotto alla tettoia. Le aperture che troviamo sono piccole finestrelle, alcune delle quali a cui manca addirittura il serramento di chiusura.



Figura 73: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, particolare della scala di accesso al locale in oggetto



Figura 74: Foto scattata durante un sopralluogo, maggio 2019, vista dell'esterno del locale al piano primo poichè non accessibile

## 5.2 Analisi dei degradi delle emergenze architettoniche

Le emergenze architettoniche all'interno del mulino sono quelle tipologie costruttive che si fanno portavoce di storia e di tipologie rurali. I vani che fanno parte di queste ultime sono le due sale voltate che si trovano al pian terreno, dove gli orizzontamenti si compongono di volte in muratura che poggiano su pilastri di pietra, la canapaia e l'antico forno, questi ultimi due non sono rilevabili e accessibili, quindi l'analisi dei degradi si concentra sulle due maniche voltate del complesso molitorio.

I principali degradi sui prospetti esterni sono pressochè riscontrabili anche nei vani interni e l'incuria che colpisce maggiormente l'edificato è l'umidità, in tutte le sue forme, e tutte le problematiche che da essa derivano.

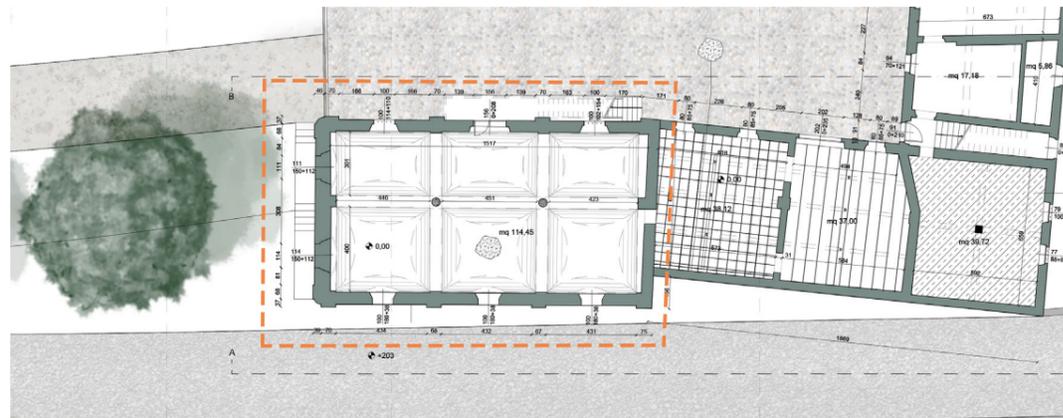


Figura 75: Manica voltata est, pian terreno, elaborazione personale



Figura 76: Manica voltata ovest, pian terreno, elaborazione personale



Figura 77: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio della polverizzazione dei mattoni, prospetto Ovest della manica Ovest



Figura 78: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio del dilavamento dei giunti di malta, prospetto Est manica Est



Figura 79: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio della presenza di vegetazione, in questo caso arrampicante, sul prospetto Ovest della manica Ovest

Il prospetto che risulta maggiormente degradato è il prospetto Ovest della manica Ovest (o sezione D-D') (vedi tavola 9) che si trova a diretto contatto con l'acqua. Infatti presenta l'intonaco gravemente ammalorato, in cui è ben visibile una netta linea orizzontale di distacco lungo tutto il fronte.

Il laterizio presenta fenomeni di erosione e di efflorescenza.

Con erosione si intende l'asportazione di materiale dalla superficie che nella maggior parte dei casi si presenta compatta, questo fenomeno è particolarmente rilevabile negli edifici murari piemontesi poiché i lunghi e freddi inverni portano temperature estremamente basse che incrementano i fenomeni di gelo e disgelo all'interno delle strutture murarie. Con efflorescenza si intende invece la formazione di sostanze, generalmente di colore biancastro e aspetto cristallino polverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto.

Nel caso di efflorescenze saline, la cristallizzazione può talvolta avvenire all'interno del materiale provocando spesso il distacco delle parti più superficiali. Il fenomeno prende allora il nome di criptoefflorescenza o subefflorescenza. Lungo questo fronte non manca la presenza di vegetazione che nasce dall'acqua adiacente e si arrampica sul fronte.

Il principale fenomeno che coinvolge la malta di allettamento tra i giunti è il dilavamento che causa una conseguente erosione della muratura, indebolendone la struttura, questo degrado è fortemente presente laddove lo strato di intonaco viene a mancare e i giunti di malta sono maggiormente esposti alle intemperie. Il dilavamento consiste nella dissoluzione della malta di calce aerea e quindi del bicarbonato di calcio.

Laddove permane lo strato di intonaco si possono riscontrare i seguenti degradi: distacco, colatura, deposito superficiale e



Figura 80: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, erosione su laterizio, rigonfiamento dell'intonaco e deposito superficiale, sul prospetto Sud della manica Est

reciproco delle parti. Nel caso di fratturazione incompleta e senza frammentazione del manufatto si utilizza il termine cricca o, nel rivestimento vetroso, il termine cavillo.

Varie possono essere le cause che provocano problematiche all'intonaco. L'incompatibilità con altri materiali a causa della differenza del modulo di elasticità provoca screpolature degli strati e il conseguente distacco; una scarsa aderenza tra gli strati dello stesso intonaco causa una diminuzione di coesione e aderenza alla parete.

Problemi di aderenza possono presentarsi anche tra la superficie muraria e l'intonaco, che nel caso di murature in pietra, se questa si presenta levigata e compatta, l'intonaco penetra solo nei giunti, mentre una muratura in laterizio può compromettere l'intonaco con i sali solubili contenuti nell'argilla che possono scaturire efflorescenze e macchie.

La presenza di acqua e soluzioni genera anch'essa efflorescenze e subefflorescenze a causa della risalita capillare, veicolata dalla porosità del materiale permette il



Figura 81: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio del distacco dell'intonaco, sul prospetto Ovest della manica Est

fessurazione.

Tutti degradi derivanti dall'umidità e dal contatto diretto con l'acqua che una struttura molitoria alimentata ad acqua non può evitare.

Con distacco si intende la non continuità tra strati di un intonaco, sia tra loro che rispetto al substrato, che prelude, in genere, alla caduta degli strati stessi (malta).

La colatura è una traccia ad andamento verticale.

Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo, che segna l'intonaco sullo strato superiore (la finitura).

Con deposito superficiale si intende invece l'accumulo di materiali estranei di varia natura, quali, ad esempio: polvere, terriccio e guano.

Ha spessore variabile e, generalmente scarsa coerenza ed aderenza al materiale sottostante.

La fessurazione è la discontinuità nel materiale che implica lo spostamento



Figura 82: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio del distacco e del rigonfiamento dell'intonaco, sul prospetto Ovest della manica Est



Figura 83: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, apposizione incompatibile con malta cementizia, dilavamento dei giunti, erosione del laterizio presenti sul prospetto Sud della manica Est

passaggio delle microparticelle fino alla superficie, il distacco di ampie porzioni di intonaco può essere agevolato dalle infiltrazioni o dalle perdite, spesso si tratta di fenomeni vistosi che coinvolgono ampie porzioni dello strato di intonaco. Il vento può incidere sull'asportazione di particelle di intonaco creando cavità di dimensioni irregolari; i cicli di gelo e disgelo causano espansione volumica e il conseguente distacco.

Tutte le inferriate metalliche presenti all'interno del mulino di borgo presentano fenomeni di ossidazione. Sporadici ma presenti su più fronti sono invece gli accostamenti incompatibili. Lungo il prospetto Ovest della manica Ovest in cui si può notare, grazie all'evidente differenza di cromia, un' apposizione non idonea di intonaco di cemento con il sottostante intonaco a base di calce aerea. Queste soluzioni non sono compatibili poiché i due materiali accostati presentano un diverso modulo elastico (E) e una differente

permeabilità.

Anche il prospetto Ovest della manica Est e il fronte destro del prospetto sud presentano giustapposizioni di intonaco cementizio a intonaco a base di calce aerea. I due prospetti che si trovano sul fronte Nord presentano sommariamente i degradi precedentemente citati. Il fronte sinistro si trova a contatto con l'acqua quindi si presenta maggiormente ammalorato (vedi Tavola 8), lo stato di erosione dei mattoni si presenta particolarmente accentuato così come il dilavamento dei giunti. Nella porzione inferiore del fronte sinistro l'intonaco è pressochè mancante, e di conseguenza i mattoni si fanno carico delle intemperie, con giunti dilavati e mattoni erosi o mancanti. Troviamo presenza di vegetazione arrampicante sul fronte sinistro, che prende forza vitale dal corso d'acqua adiacente; non mancano fenomeni di colatura, alterazione cromatica fessurazione o rigonfiamenti su entrambi i fronti.



Figura 84: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio dell'ossidazione delle inferriate, sul prospetto Est della manica Est



Figura 85: Foto scattata durante un sopralluogo 4 giugno 2020, alterazione cromatica, sul prospetto Ovest della manica Est

Allo stesso modo il prospetto Est della manica Ovest presenta le medesime problematiche connesse all'umidità, e presenta le porte di accesso al fabbricato con un evidente stato di avanzamento di ossidazione (Tavola 11).

L'altro prospetto nella corte interna, il prospetto Est manica Ovest (Tavola 10) presenta uno strato di intonaco pressochè discontinuo e deteriorato ma che lascia a vista un numero di mattoni minore.

Il fronte strada, il prospetto Est della manica Est, presenta un numero maggiore di problematiche, dove a causa del dislivello del terreno, accentuatesi con gli anni, troviamo le bocche di lupo presenti completamente otturate. In questa parte del fabbricato il terreno adiacente alla muratura aumenta in modo drastico l'umidità, percepibile nettamente all'interno di esso.

I due ambienti voltati presentano numerose problematiche connesse all'umidità esistente, tutti i degradi rilevabili al loro

interno sono pressochè riconducibili a questa problematica principale.

All'interno della manica Est troviamo la parte inferiore della muratura maggiormente ammalorata, a causa della risalita capillare che provoca il disgregamento degli intonaci, il dilavamento della malta di coesione tra mattone e mattone e l'erosione dei laterizi stessi.

Ad aggravare l'umidità presente si aggiunge il contatto diretto tra il terreno umido sul fronte Est con la muratura a causa del dislivello del terreno, infatti l'accesso al cortile interno si trova a una quota inferiore raggiungibile tramite la scala addossata al fronte destro del prospetto Sud o tramite la strada sterrata che congiunge il mulino alla strada asfaltata.



Figura 86: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, fessurazione non passante, prospetto Sud della manica Est



Figura 87: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio della bocca di lupo otturata, sul prospetto Est della manica Est



Figura 88: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dettaglio della bocca di lupo otturata della manica Est, si possono notare una linea netta del distacco dell'intonaco, una presenza rilevante di depositi superficiali e la presenza di micro organismi sul soffitto voltato



Figura 89: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, deposito superficiale, interno manica Est



Figura 90: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, dilavamento dei giunti, interno manica Est



Figura 91: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, distacco dell'intonaco di calce aerea dal soffitto voltato, interno manica Ovest dove si possono notare i mattoni disposti a lisca di pesce



Figura 92: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, efflorescenza su laterizio, interno manica Ovest



Figura 93: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, distacco da lapideo, pilastro portante, interno manica Est



Figura 94: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, degradi derivanti dall'umidità, interno manica Ovest



Figura 95: Foto scattata durante un sopralluogo, 4 giugno 2020, deposito superficiale sulla volta a vela dell' interno della manica Est



Figura 96: Analisi materica (sopra) e analisi dei degradi (sotto) del prospetto est manica est, fronte strada, elaborazione personale



Figura 97: Analisi materica (sopra) e analisi dei degradi (sotto) del prospetto sud, elaborazione personale



Figura 98: Analisi materica (sopra) e analisi dei degradi (sotto) del prospetto est manica ovest, corte interna, elaborazione personale

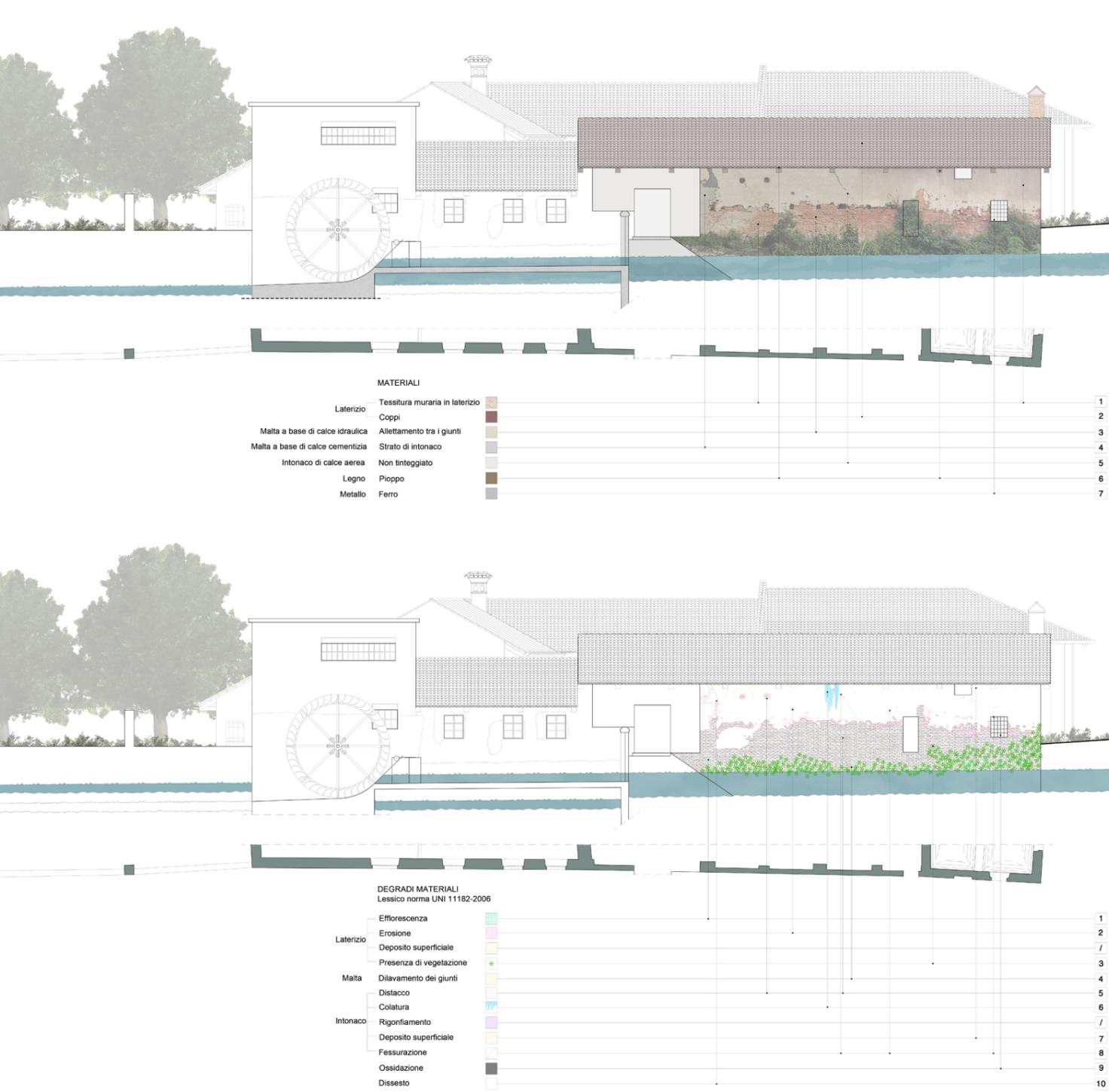


Figura 99: Analisi materica (sopra) e analisi dei degradi (sotto) del prospetto ovest della manica ovest, elaborazione personale



Figura 100: Analisi materica (sopra) e analisi dei degradi (sotto) del prospetto ovest manica est, corte interna, elaborazione personale

## 6. Il progetto

### 6.1 L'umidità di risalita capillare, introduzione

L'umidità di risalita è il movimento ascendente dell'acqua del suolo che attraversa dal basso verso l'alto una muratura permeabile. L'acqua sale attraverso i pori della muratura mediante un processo chiamato capillarità.

La capillarità è un processo mediante il quale le molecole d'acqua sono attratte da forze fisiche e chimiche da superfici inorganiche permettendo all'acqua di muoversi verticalmente attraverso i pori di una certa dimensione nonostante vi sia la forza contraria della gravità. Essa è anche la causa della migrazione all'interno del materiale del liquido, sempre attraverso i pori, della sua ridistribuzione da un punto all'altro.

La risalita capillare è contrastata dall'evaporazione, che rappresenta l'unico mezzo tramite il quale il liquido può lasciare la superficie.

Il fenomeno dell'umidità di risalita è stato a lungo osservato ed è un problema perenne e onnipresente e se ne ha riscontro sia sul patrimonio edilizio che sugli edifici ordinari di tutto il mondo. Storicamente parlando le prime osservazioni e le descrizioni di questo fenomeno risalgono a tempi remoti e nella seconda metà del XIX secolo venne identificato come un problema di salute pubblica.

L'umidità tende a causare molteplici problematiche a un edificio con terribili implicazioni strutturali, sanitarie, ambientali, sociali ed economiche. Gli effetti indesiderati causati dall'umidità sono molteplici, e legati alla natura del materiale e delle superfici costituenti.

Per fare alcuni esempi, con riferimento al caso studio di questa tesi di laurea, si può citare l'ammaloramento degli intonaci presenti sia esternamente che internamente nelle maniche delle sale

voltate, in cui sulle superfici si notano evidenti distacchi di intonaco, lasciando a vista la muratura, che in questo modo risulta maggiormente soggetta alla formazione di efflorescenze, superficialmente, e subflorescenze, all'interno del substrato.

Muffe e sali gravano sulle superfici interne delle sale voltate, la malta si presenta sgretolata e a tratti mancante in tutto l'edificio oggetto di analisi, la dissoluzione della malta di calce è una delle cause dell'indebolimento della struttura poiché viene a mancare la coesione fondamentale tra mattone e mattone atta a consentire stabilità.

L'umidità è presente anche nei locali adibiti ad ex abitazione del mugnaio, in cui una carta da parati anni '60 si presenta a tratti allentata e con macchie da umidità.

Oltre ai materiali inorganici, quali laterizi, malte, intonaci, leganti, ecc., anche materiali di tipo organico (quali il legno) possono presentare significativi fenomeni di alterazione dovuti alla presenza di acqua. In questo caso non si può parlare di fenomeni di risalita capillare quanto più di assorbimento di acqua nella struttura lignea, che provoca rigonfiamenti e conseguenti decrescite di caratteristiche meccaniche, nonché attacchi biotici. Nel caso studio, ad esempio, è stato osservato come le orditure della manica ovest si siano rigonfiate causando deformazioni plastiche, in particolar modo le travi poggianti sui muri perimetrali si mostrano impregnate di umidità causandone la perdita di capacità meccaniche.

### 6.1.1 Fattori che governano il fenomeno

Sono stati condotti diversi studi per definire e comprendere i meccanismi che sono coinvolti nel fenomeno della risalita capillare.

Il fenomeno prende avvio, tipicamente dal contatto diretto di una struttura porosa (pori aperti) con un terreno ad alto contenuto di umidità, la quale poi – attraverso i meccanismi descritti nel seguito – è in grado di risalire attraverso la struttura.

La presenza di umidità in una muratura, fino ad un determinato livello, è indicata spesso da un fronte di risalita, che appare come una linea di demarcazione del fenomeno, al di sotto della quale si osservano spesso dei fenomeni di degrado (macchie, muffe, efflorescenze, decoesioni, ecc.) come sopra riportato.

I materiali usati convenzionalmente nella costruzione delle pareti in muratura si presentano tutti porosi, quindi contengono un certo volume d'aria.

La porosità è definita come il rapporto tra volume dell'aria presente diviso per il volume totale del materiale, che è sempre inferiore all'unità. Le aree porose sono spesso collegate tra loro attraverso una rete di pori in modo che il liquido possa fluire attraverso il materiale. La formula matematica della porosità è la seguente:

$$\emptyset = V_p / V_m \quad (1)$$

dove:

Porosità =  $\emptyset$  [%]

i Si ricordano in particolare quelli pubblicati da Mas-sari & Massari nel 1993 e l'opuscolo tecnico della Society for the Protection of Ancient Buildings di Thomas et al. del 1992 e precedentemente il documento di Vos (1971) che ha descritto l'aspirazione delle acque sotterranee dai muri dal punto di vista di un fisico del suolo

Volume totale del materiale preso in considerazione =  $V_m$  [m<sup>3</sup>]

Volume totale della massa d'aria (quindi dei pori presenti nel materiale preso in considerazione) =  $V_p$  [m<sup>3</sup>]

La porosità si può esprimere in percentuale ed esistono delle classificazioni della porosità, infatti essa può essere convenzionalmente distinta in: aperta, chiusa o interconnessa.

Si parla di **porosità aperta** quando i pori presenti nel materiale comunicano con la superficie esterna; di conseguenza, tanto maggiore sarà la porosità del materiale ( $\emptyset$ ) tanto più esso sarà in grado di assorbire acqua.

Con **porosità chiusa** si fa riferimento a quelle strutture reticolari in cui i pori non comunicano con l'ambiente esterno e non sono comunicanti tra loro, non consentendo così alcun passaggio di liquido e non sono coinvolti nel fenomeno qui studiato, si tratta solitamente dei materiali impermeabili.

La **porosità interconnessa** è invece la connessione tra i pori aperti all'interno del materiale; in questo modo non soltanto la porosità comunica con l'esterno, ma permette la circolazione del liquido all'interno della struttura.

La misura della porosità relativa, quindi del volume di aria contenuto nel materiale di riferimento, risulta facile in quanto basta prendere un campione di materiale secco, pesarlo e immergerlo in acqua sino a saturazione. La differenza tra il peso precedente all'immersione e quello successivo rappresenta il volume dei vuoti accessibili; questa metodologia rappresenta la tecnica più semplice, ne esistono molte altre.

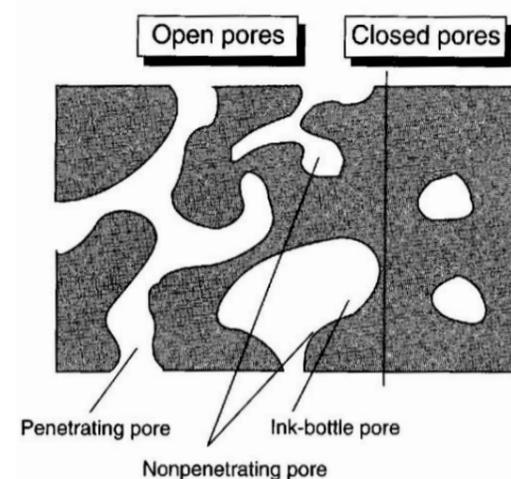


Figura 1: Illustrazione schematica della differente morfologia dei pori. Da "La sintesi chimica dei materiali porosi nanostrutturati e le applicazioni in catalisi e nella sensoristica" di S. Dirè e R. Ceccato, Corso di Laurea in Ingegneria Industriale, ciclo di Seminari "I nuovi materiali per le tecnologie del futuro", 2008

Questi valori varieranno a seconda della particolare origine del materiale, il valore della porosità è sempre compreso tra 0 e 1 ed indica la frazione in volume di aria presente nel materiale. Moltiplicando tale valore per cento, si ottiene la porosità percentuale. Ad esempio la porosità del legno tenero è 0.65, il che significa che

il 65% del volume è occupato da aria e il restante 35% da materiale solido.

I pori si classificano in base alle loro dimensioni.

Nel caso di nanoporosità, si parla di **macropori** quando si presentano con un diametro maggiore di 50 nm, si parla di **mesopori** quando la loro ampiezza è compresa tra i 2 e i 50 nm, mentre i **micropori** presentano un diametro inferiore ai 2 nm. Tuttavia i pori capillari, responsabili del fenomeno della risalita capillare, presentano una taglia generalmente dell'ordine del micron. Nella maggior parte dei casi, i fenomeni di risalita si manifestano attraverso pori di taglia compresa tra 0.1 e 10  $\mu\text{m}$ .

Una dimensione inferiore dei pori non consente il passaggio del fluido, mentre una dimensione maggiore risulta eccessiva causando l'evaporazione dello stesso senza permettere la risalita tramite capillarità.

Prima di capire le leggi che governano tale fenomeno spieghiamo alcune caratteristiche dei fluidi come l'angolo

i Classificazione IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)

	Porosità ( $\emptyset$ ) [%]		Porosità ( $\emptyset$ ) [%]
Legno tenero	65	Mattone espanso	7-28
Legno duro	50	Arenaria	5-20
Truciolare	40	Rendering di cemento	20
Mattone ad uso generico	35	Malta cementizia	17
Mattone di sabbia calcarea	30	Granito	2
Rendering di calce	30		

Tabella 1: In tabella si possono osservare i valori della porosità di alcuni materiali comuni utilizzati nelle costruzioni

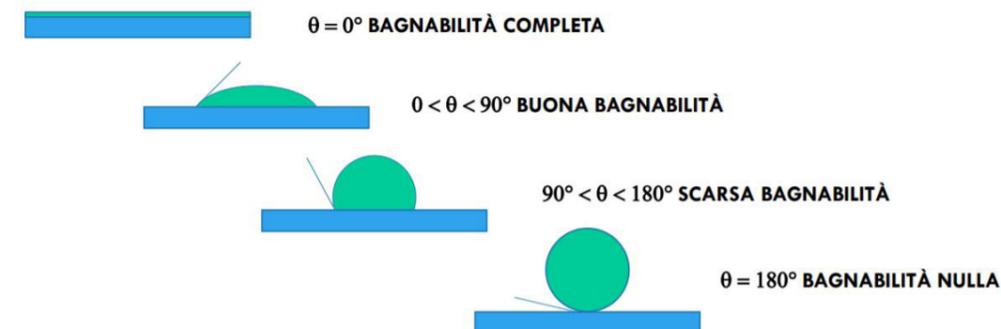


Figura 2: Schema rappresentativo della bagnabilità di una superficie, da CHIMICA DELLE SUPERFICI ED INTERFASI, G. Fioravanti

di contatto, la bagnabilità, la tensione superficiale e la densità.

L'**angolo di contatto** ( $\theta$ ) è l'angolo che si forma tra due o più mezzi diversi a contatto tra loro, è una grandezza fisica descritta dall'angolo formato dall'incontro di un'interfaccia liquido-vapore con un'interfaccia liquido solido o, meno tipicamente, un'interfaccia liquido-liquido e si misura in gradi.

La **bagnabilità** è la tendenza allo spargimento del liquido sulla superficie solida, e quindi il prevalere delle forze adesive porta ad una diminuzione dell'angolo di contatto; al contrario per forze coesive prevalenti l'angolo di contatto aumenta.

L'angolo  $\theta$  presenta valori così incerti e variabili che risulta utilizzabile solo nel caso del liquido che "bagna" completamente la parete ( $\theta = 0$ ), ovvero quando vi è un'alta energia superficiale del solido, o "non bagna" per niente la parete ( $\theta = 180^\circ$ ), quando vi è una bassa tensione superficiale del solido.

La tensione superficiale è la forza che deve essere utilizzata per estrarre una molecola dal liquido e portarla in fase aeriforme, si misura in N/m.

La densità di un liquido è data dal rapporto tra la sua massa e il volume che occupa, si misura in  $\text{Kg}/\text{m}^3$ .

In condizioni di porosità aperta e di pori la

cui taglia è compresa nell'intervallo prima indicato, possono insorgere i fenomeni di risalita.

Nell'ambito di tale intervallo dimensionale, l'altezza della risalita capillare è inversamente proporzionale al raggio dei pori, come descritto nella **legge di Jurin**:

$$h = 2 \gamma \cos\theta / r \rho g \quad (2)$$

Dove:

$h$  = altezza della risalita dell'acqua nei capillari, [m]

$\gamma$  = tensione superficiale del fluido (acqua), [N/m]

$\theta$  = angolo di contatto (formato dalla tangente al profilo della superficie liquida, in corrispondenza del contatto con la parete solida),

$r$  = raggio del capillare, [m]

$\rho$  = densità del liquido in esame (acqua), [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$g$  = accelerazione di gravità, [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

Questa formula descrive la relazione tra la dimensione dei pori e l'altezza di risalita.

Applicando quanto appena spiegato ad un materiale in cui il raggio dei pori corrisponda a 0.2 mm la risalita capillare che ne consegue sarà di 74 mm, quando invece la dimensione del raggio

i E. Franzoni, *State of the art for reducing rising damp in masonry*, journal of Cultural Heritage, 31, 2018, pp. 2

ipoteticamente corrisponda a 2 m l'altezza di risalita sarà di 0.0074 mm.

Nel primo caso:

$$r = 0.0002 \text{ m} = 0.2 \text{ mm}$$

$$\gamma = 0.073 \text{ N/m}$$

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Dove la tensione superficiale  $\theta$  è trascurabile, si ottiene quindi che  $h = 1.48 \cdot 10^{-5} / 0.0002 \text{ m} = 0.074 \text{ m} = 74 \text{ mm}$

Nel secondo caso dell'acqua, quando i pori del materiale in oggetto presentano un raggio di 0.2 mm allora la risalita sarà di 74 mm, ma quando la dimensione del raggio è di 2 m la risalita rimane a 0.0074 mm.

Nel secondo caso:

$$r = 2 \text{ m}$$

$$\gamma = 0.073 \text{ N/m}$$

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Dove la tensione superficiale  $\theta$  è trascurabile, si ottiene quindi che  $h = 1.48 \cdot 10^{-5} / 2 \text{ m} = 7.4 \text{ m} \cdot 10^{-6} = 0.0074 \text{ mm}$

La dimensione dei pori nei mattoni e nella malta può raggiungere la dimensione di 0.001 mm il che comporterebbe ad una risalita capillare considerevole.

Questa formula non tiene in considerazione dei fattori che ne rallentano il flusso, mentre la **legge di Hagen-Poiseuille** descrive questo comportamento.

Quindi, contrariamente alla legge di Jurin, questa legge sostiene che più sono piccoli i pori e più difficoltà avrà l'acqua a risalire a causa delle forze opposte di attrito.

$$\Delta p = 8 \mu L Q / \pi R^4$$

$$\Delta p = 8 \pi \mu L Q / S^2 \quad (3)$$

Dove:

i Z., Zhang, *A Review of Rising Damp in Masonry Buildings*, University of Portsmouth, pp. 3-4

$\Delta p$  = differenza di pressione tra i due estremi del poro, [Pa]

L = lunghezza del poro, [m]

$\mu$  = viscosità del fluido in oggetto, [PI] o [Pa s<sup>2</sup>]

Q = portata volumetrica, [m<sup>3</sup>/s]

R = raggio della tubazione, [m]

S = sezione della tubazione, [m]

Questa legge stabilisce che la portata è direttamente proporzionale alla differenza di pressione applicata agli estremi del poro (o tubo) oltre che alla quarta potenza del raggio, mentre è inversamente proporzionale alla viscosità del fluido e alla lunghezza del poro.

Anche l'evaporazione può contribuire a rimuovere l'acqua, riducendo l'umidità mentre nella situazione in cui l'aria si presenti particolarmente umida l'evaporazione viene rallentata provocando il fenomeno opposto (condensa capillare). Un'altra formula che invece bilancia i due concetti precedentemente trattati è la **formula di Hall & Hoff**<sup>ii</sup> che hanno sviluppato il modello 'Sharp Front' per l'umidità di risalita, così denominato per la distinta divisione tra il fronte umido e quello asciutto.

Gli studi condotti da Hall e Hoff partirono da una attenta individuazione delle dichiarazioni precedenti in merito all'umidità di risalita, prefissandosi come obiettivo quello di creare un modello quantitativo per completare i resoconti descrittivi.

Lo "Sharp Front" si presenta come un modello semplificato nel campo del flusso insaturo, dove si trascura il confine piuttosto sfocato tra bagnato e regioni asciutte all'interno di una struttura o tessuto e per sostituirlo con un nozionale confine netto. Questi modelli semplificativi sono considerati efficienti per affrontare complicazioni geometriche e strutture composite dove possono essere presenti due o più materiali differenti.

ii C. Hall and W. D. Hoff, *Rising damp: capillary rise dynamics in walls*, The Royal Society, 2007

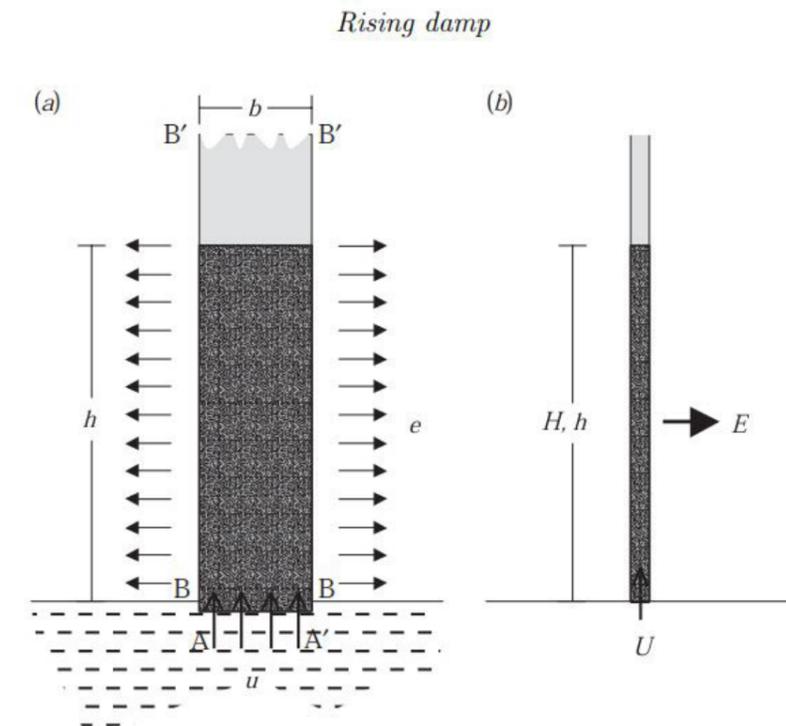


Figura 3: (a) Una visione fisica dell'umidità di risalita. Un materiale poroso di spessore  $b$  è in contatto idraulico con un terreno saturo a AA'. L'acqua viene assorbita a una velocità  $u$  per unità di larghezza della parete. Una o entrambe le facce BB' sono soggette ad evaporazione ad una velocità  $e$  per unità di altezza della parete bagnata. L'altezza bagnata misurata dal dato al suolo è  $h$ .

(b) Il modello SF concentrato: l'afflusso totale  $U=bu$  è controllato dalle proprietà di trasporto della parete e la perdita totale per evaporazione dipende solo dall'altezza adimensionale della regione bagnata,  $H$ . Da: C. Hall and W. D. Hoff, *Rising damp: capillary rise dynamics in walls*, The Royal Society, 2007

Per questa analisi venne introdotta la sorptivity<sup>i</sup>(S), questa misura la capacità del mezzo di assorbire o desorbire il liquido tramite capillarità, con una forte incidenza sull'altezza del fronte di risalita, combinando gli effetti dell'aumento capillare e del flusso di attrito. Può essere misurata mediante l'immersione parziale del materiale di prova nell'acqua, registrando la variazione di peso nel tempo.

La proposizione di partenza degli studi di Hall e Hoff è che "l'umidità di risalita sia il risultato della competizione tra l'assorbimento capillare di acqua lungo il confine AA' e l'evaporazione dell'acqua lungo la superficie esposta BB'".

(Riferimento figura 3)

Indichiamo il tasso di assorbimento totale

i Introdotta da C., Hall nel 1989

ii Vos 1971; l'Anson & Hoff 1986

lungo AA' con  $U$  e il tasso di evaporazione totale su BB' come  $E$ .

Quando l'altezza dell'umidità di risalita  $h$  si è stabilizzata a un certo valore  $h_{ss}$ , abbiamo uno stato stazionario in cui  $U=E$ . Questo non è uno stato di equilibrio statico in cui non accade nulla, ma uno stato dinamico in cui "water-in" è bilanciato da "water-out". (ss = stato stazionario)

Nell'umidità di risalita stabilizzata è presente un flusso costante di acqua rappresentato tramite il sistema  $F_{ss}=E_{ss}=eh_{ss}$ , dove  $e$  è la velocità di evaporazione per unità di superficie bagnata.

In effetti, l'entità del flusso costante  $F_{ss}$  è uno dei risultati più interessanti della analisi condotta da Hall e Hoff.

La quantità totale di acqua immagazzinata entro la lunghezza unitaria del muro è  $Q = \theta_w bh$ .

Qui,  $\theta_w$  è il contenuto di umidità della regione bagnata del muro, ovvero è il volume di acqua per unità di volume di materiale, mediato sull'intera regione bagnata.

Si tratta di una quantità presente in molte formule che hanno portato alla definizione di un valore che consente un margine ridotto di errore, utilizzando  $\theta_w = 0.85f$ , in cui  $f$  è la porosità convenzionale.

L'immagine (a) della figura 3 è una rappresentazione fisico bidimensionale dell'umidità di risalita in un muro generico, ora la rappresentiamo nella forma unidimensionale concentrata mostrata nell'immagine (b) della figura 4.

Qui il tasso di perdita per evaporazione  $E$  dipende solo dall'altezza della regione bagnata  $h$ ; se l'evaporazione avvenga su uno o entrambi i lati della parete fisica non ha alcun interesse.

L'evaporazione ad ogni livello è concentrata, così come l'assorbimento capillare totale ai piedi del muro. Consideriamo a turno le due quantità  $U$  ed  $E$ . L'acqua che entra nella struttura lungo AA' dipende dalle proprietà di assorbimento dell'acqua capillare del materiale (i) della parete.

Per quasi tutti i materiali da costruzione, l'assorbimento in una barra di materiale secco obbedisce a una semplice legge fisica:  $i = St^{1/2}$ , dove  $i$  è il volume cumulativo di acqua assorbita (per unità di superficie di afflusso) e  $t$  è il tempo trascorso.

Questo infatti fornisce una definizione della proprietà di sorptivity che risulta facilmente misurabile con un test di laboratorio su un piccolo campione di materiale.

Quando l'acqua risale il muro, la gravità esercita una forza contrastante verso il basso.

Questo effetto fu facilmente incluso nel modello di SF, ma al prezzo di qualche complicazione matematica. Le forze capillari sono generalmente dominanti nei muri e quindi furono omesse inizialmente nella teoria tralasciando quindi le forze

gravitazionali.

Pertanto, trascurando ora il ruolo della gravità, si ottenne:

$$U = b S^2 / 2 \theta_w h$$

L'equazione mostra che la velocità  $U$  alla quale l'acqua viene assorbita alla base del muro varia inversamente con l'altezza di salita  $h$ .

Passiamo ora alla componente di evaporazione, facendo uso di un risultato consolidato<sup>i</sup> secondo cui il tasso di evaporazione dell'acqua da materiali porosi umidi è determinato esclusivamente dalle condizioni ambientali su un'ampia gamma di contenuti saturi di acqua a abbastanza secco.

Questo varia alquanto da materiale a materiale, ma per esempio nel caso del mattone l'intervallo di evaporazione costante si estende dal contenuto di acqua di saturazione  $\theta_s$  a circa  $0,3 \theta_s^i$ .

Non c'è quindi bisogno di sapere molto sul materiale umido al di sotto del fronte umido ascendente, tranne la sua estensione. Tuttavia, serve una certa misura della capacità di essiccazione del microambiente locale. Per questo si usa l'evaporazione potenziale (la velocità di evaporazione di un'acqua libera superficie situata alla superficie BB'): questa quantità si chiama  $e$ .

Questo valore è influenzato dalla temperatura, dall'umidità dell'aria e dalla velocità del flusso d'aria vicino alla superficie della parete, complicando questa interrelazione. Per ovviare la problematica, la misurazione del sito ideale è una misurazione diretta di  $e$ , che viene eseguita raramente, quindi si assume che  $E=eh$ , dove la velocità totale di evaporazione  $E$  dipende dall'altezza della superficie bagnata  $h$  e dalla velocità di evaporazione (per unità di area), stabilita dal microambiente.

Considerando una situazione in cui l'umidità di risalita si è stabilizzata, l'assorbimento d'acqua e la perdita per evaporazione sono in equilibrio si pone

<sup>i</sup> van Brakel 1980; Hall et al.1984

<sup>ii</sup> Hall et al. 1984; Massari & Massari 1993

che  $U_{ss} = E_{ss}$ , dove il pedice  $ss$  denota lo stato stazionario dell'umidità ascendente. Dalle equazioni enunciate precedentemente si ottiene, la **formula di Hall & Hoff**:

$$bS^2 / 2 \theta_w h_{ss} = eh_{ss};$$

così che

$$h_{ss} = S (b / 2e \theta_w)^{1/2} \quad (4)$$

dove:

$h_{ss}$  = altezza del fronte di risalita in uno stato stazionario dell'umidità di risalita, [mm]

$b$  = spessore della parete, [mm]

$S$  = Sorptivity (assorbimento di acqua), [mm min<sup>-1/2</sup>]

$\theta_w$  = contenuto di umidità nella regione bagnata, ovvero il volume di acqua per unità di materiale in volume

$e$  = tasso di evaporazione potenziale per unità di superficie della superficie bagnata

La tabella seguente mette a confronto diversi esempi di materiale che presentano

una capacità di assorbimento differente.

Per una parete in muratura solida costruita in pietra con una capacità di assorbimento di  $1,0 \text{ mm min}^{-0,5}$ , con uno spessore della parete di 150 mm l'altezza di risalita è di 0,61 m.

Mentre se lo spessore della parete viene aumentato a 300 mm, l'altezza di risalita aumenta a 0,87 m. Questo perché c'è proporzionalmente meno evaporazione rispetto all'assorbimento capillare in una parete più spessa.

Il modello di SF prevede valori di risalita costante che sono coerenti con le osservazioni sul campo, e quindi ottimali per studiare più approfonditamente il fenomeno introducendo sia variazioni materiche e condizioni ambientali, al fine di progettare trattamenti di conservazione ottimali.

	Porosità ( $\emptyset$ ) [%]	Sorptivity [mm min <sup>-1/2</sup> ]
Mattone di argilla-Pressato semi secco	36	1.32
Mattone di argilla-Modellato a mano	33	2.21
Mattone di argilla-Ingegneria	7	0.09
Calcare Portland	19	0.30
Arenaria	14-23	0.03-.33
Intonaco di gesso	42	1.62
Malta cementizia-calce	27-36	0.56-1.94
Calcestruzzo con 0,55 0,10 0,19	10	0.19
Calcestruzzo con 0,75	13	0.29

Tabella 2: Confronto tra porosità e assorbimento tra materiali da costruzione differenti

Inoltre sebbene la gravità limiti l'altezza massima di salita e ritardi l'approccio allo stato stazionario di salita capillare, gli effetti della gravità possono normalmente essere trascurati poiché le forze capillari sono dominanti.

Le analisi<sup>i</sup> condotte in laboratorio hanno mostrato come le malte cementizie tendano ad avere scarsa igroscopicità, ostacolando così l'umidità di risalita mentre malte a base di calce fossero maggiormente propense a mostrare i risultati degli esperimenti e quindi utili alla comprensione del fenomeno.

Manson<sup>ii</sup> fu un'altra figura che diede un impulso importante per comprendere le dinamiche che governano questo fenomeno, facendo coesistere nelle sue teorie evaporazione e risalita capillare.

L'equilibrio tra la capillarità e l'evaporazione superficiale è schematicamente rappresentato come segue:

<sup>i</sup> C. Hall, and W. D. Hoff, *Water Transport in Brick, Stone and Concrete*, Abingdon : Taylor and Francis, 2002

<sup>ii</sup> G. Mason: autore di numerosi studi circa l'umidità di risalita tra cui *Rising Damp* pubblicato nel 1974, diviene punto di partenza per gli studi connessi a questa fenomenologia

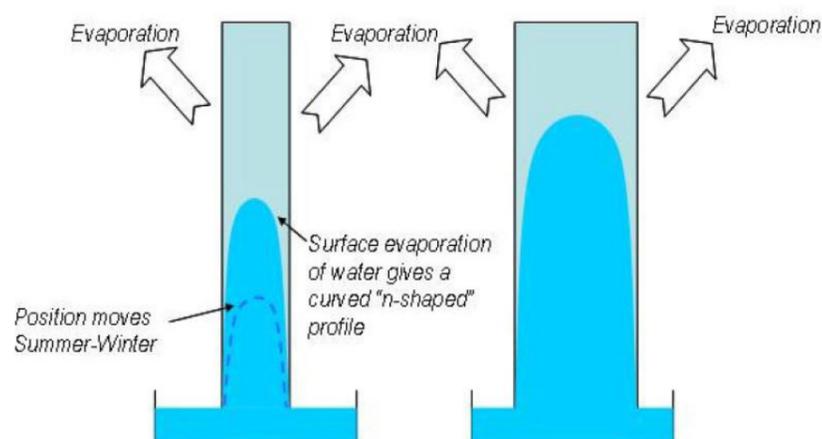


Figura 4: Schema che mostra l'equilibrio tra l'evaporazione superficiale e l'umidità di risalita, da Dr. Zhongyi Zhang, *A Review of Rising Damp in Masonry Buildings*, University of Portsmouth

perché all'aumentare dello spessore delle pareti si riduce la quantità relativa di evaporazione, come prima descritto.

In conclusione, l'altezza di risalita è gestita da fattori relativi ai pori capillari, allo spessore delle pareti del muro e dal tasso di evaporazione. L'umidità di risalita agisce sempre in un moto ascendente verso l'alto nella costruzione.

## 6.1.2 Effetti della cristallizzazione dei sali solubili

È fondamentale comprendere che le acque sotterranee non siano portatrici univoche di umidità ma siano anche portatrici di sali solubili, che contribuiscono drasticamente ad aggravare i fenomeni di degrado.

Questi sali solubili sono trasportati dal flusso ascendente della capillarità e si depositano all'interno dei pori capillari quando l'acqua evapora. Inoltre possono derivare dalle impurità contenute all'interno delle argille utilizzate per la costruzione dei mattoni e dallo zolfo che è presente nei combustibili utilizzati per la cottura degli stessi.

Durante il processo di evaporazione dell'acqua contenuta all'interno dei materiali da costruzione, i sali idrosolubili vengono trasportati dall'interno dei mattoni verso l'esterno e vengono depositati sulle superfici esterne dei muri rilasciando depositi superficiali salini, di vario spessore e aspetto variabile in base al tipo di sale, le efflorescenze.

I cicli di cristallizzazione del sale provocano pressioni all'interno di materiali porosi portando ad effetti distruttivi come polverizzazione, sbriciolatura, formazione di fessurazioni, rigonfiamenti e distacchi.

La cristallizzazione dei sali avviene spesso con il passaggio da forma anidra<sup>i</sup> ad idrata, che comporta un aumento volumico; questa espansione volumica a sua volta induce una pressione sulle pareti capillari, causando danni alla muratura.

I sali più comunemente rinvenuti nelle efflorescenze sono: solfato di sodio, solfato di potassio, solfato di calcio, solfato di magnesio, carbonato di sodio, carbonato di calcio, cloruro di potassio, nitrato di potassio, nitrato di sodio e solfato di ferro. Il gruppo dei solfati, generalmente il più diffuso, deve la sua presenza all'umidità di risalita ma anche all'inquinamento atmosferico, le zone in cui si possono

ritrovare sono molto diffuse, causando la scagliatura del mattone, la corrosione per effetto dell'aggressione chimica atmosferica. Sono visibili tramite corrosioni superficiali sotto forma di sabbia o sgretolamento, il sollevamento degli strati di pittura, il distacco degli intonaci e la conseguente rottura del materiale coinvolto.

Il gruppo dei nitrati è causato dall'umidità ascendente e dall'inquinamento atmosferico da fertilizzanti, le zone tipiche in cui si manifestano sono aree agricole, o terreni con la presenza di concimi. Queste sostanze sono in grado di assorbire acqua e di reagire igroscopicamente generando un inumidimento accentuato delle zone interessate, fenomeni gelivi che sono la diretta causa della spaccatura e della disgregazione progressiva del mattone. Vivamente questo fenomeno si può riconoscere tramite la concentrazione di umidità in zone puntiformi o ondegianti. Nel complesso del mulino, alla luce del fatto che la zona in cui sorge è agricola, si può supporre che le efflorescenze siano principalmente composte da nitrati, anche per la vicinanza di concimaie.

I cloruri sono causati sempre dall'umidità di risalita ma anche dalla composizione chimica del laterizio stesso, dai venti marini e le zone tipiche in cui si manifestano sono le aree limitrofe a coste marine. Gli effetti che provocano sono un forte assorbimento dell'acqua e una scarsa reazione igroscopica. I danni che causano sono la bagnatura delle zone colpite, e sono visibili grazie alle cristallizzazioni dal gusto salino e da cristallizzazioni aghiformi, meglio conosciute come barbe.

<sup>i</sup> Forma in cui si presenta una sostanza priva di acqua in seguito a un processo di essiccamento

## 6.1.3 Fattori che causano il fenomeno dell'umidità

L'umidità di risalita capillare negli edifici può essere causata da vari fattori come: la presenza del vapore acqueo nell'atmosfera che può condensare sulla superficie o all'interno della muratura stessa; l'acqua presente nel terreno che essere assorbita attraverso fenomeni fisico-chimici; la presenza dell'acqua all'interno dei materiali da costruzione impiegati; il contatto diretto con la muratura stessa tramite gli agenti atmosferici che non trovano impedimenti dalle superfici esterne consentendone la penetrazione; la raccolta delle acque non ottimale; una non corretta impermeabilizzazione delle coperture o delle finiture esterne; infine anche la presenza di acqua dovuta ad imprevisti o mancata manutenzione come rotture di tubature, serbatoi o fognature.

La presenza delle acque nelle murature può generare una serie di inconvenienti:

- le pressioni generate dal congelamento dell'acqua causa il degrado dei materiali, dato che lo stadio solido dell'acqua causa un'**espansione volumica** determinando la nascita di pressioni sulle pareti provocandone la rottura, causando conseguentemente dissesti nella muratura e negli strati di intonaco;

- degrado che può sorgere per **incompatibilità fisica**, dovuta a differenze tra i moduli di elasticità o i coefficienti di espansione termica, tra i mattoni e i materiali a cui sono accostati;

- degrado a seguito di **incompatibilità chimica**, che porta a reazioni indesiderate, quali ad esempio la formazione di ettringite (con malte cementizie), distacchi dei substrati di intonaco, ecc;

- **solubilizzazione** di alcune componenti della muratura, quali malte o intonaci a base di gesso o di calce aerea;

- **degrado delle superfici** esterne con esfoliazione e distacchi degli intonaci per effetto del trasporto dei sali dal terreno; quando i sali precipitano all'interno dei pori capillari per effetto dell'evaporazione di acqua possono dare origine alle subflorescenze che se cristallizzano causando un aumento di volume generano espansioni distruttive del parametro murario;

- **riduzione del comfort termico ed igienico** degli edifici causato dalla diminuzione della resistenza termica della muratura causata dalla presenza di acqua e la conseguente comparsa di muffe;

Quando il terreno è impregnato di acqua la muratura presenta umidità a causa della capillarità: fenomeni dovuti alle interazioni fra le molecole di un liquido e un solido sulla loro superficie di separazione, in pratica un liquido che mostra affinità per le pareti di un vaso capillare immerso in una vaschetta contenente lo stesso liquido risale in modo spontaneo all'interno del tubo sospinto dalla pressione capace di sostenere la massa d'acqua in contrapposizione della forza di gravità. L'acqua risale finché non si raggiunge un equilibrio tra pressione capillare e quella idrostatica.

Generalmente il punto massimo di risalita capillare è ben visibile in quanto è evidenziato da un segno di demarcazione che divide la parte inferiore del muro imbibita di acqua da quella superiore che si presenta, invece, asciutta.

Questo fenomeno è maggiormente presente, a parità di condizioni, nelle murature più spesse dove si registra un accumulo maggiore di acqua. Alcuni studi hanno osservato che nei pilastri isolati l'altezza dell'umidità di risalita è pari allo spessore dello stesso; nei muri perimetrali varia da circa 2 a circa 5 volte lo spessore

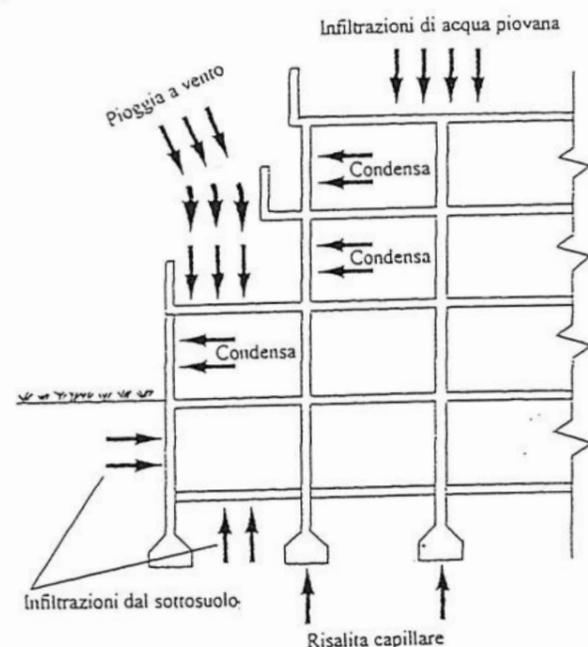


Figura 5: Schema che sintetizza le cause di umidità possibili dentro la muratura, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

del muro, mentre nei muri di spina è pari a circa 2 o 6 volte lo spessore murario.

Falde acquifere, acqua piovana assorbita o non sufficientemente raccolta e istradata, acqua dispersa a causa della rottura di fognature o tubazioni possono essere le possibili cause che danno origine alla presenza di acqua nel terreno.

La presenza di falde acquifere rende costante la presenza di acqua nel terreno e riguarda indistintamente tutti i muri del complesso; mentre l'acqua piovana penalizza solamente i muri perimetrali, quando l'acqua è dispersa a causa della rottura di fognature o tubazioni il fenomeno si presenta circoscritto su singoli muri o singole porzioni di muro.

Un'attenta analisi dell'edificio è fondamentale per comprendere le cause nelle murature che presentano il fenomeno, per capire il livello di risalita massimo e la sua eventuale costanza con cui si presenta il fenomeno, le condizioni del microclima per l'insolazione e ventilazione, la percentuale di umidità per comprendere se la causa dell'umidità sia connessa alla risalita capillare, alla

condensa o alle infiltrazioni da piogge.

Il caso studio oggetto di tesi si mostra fortemente soggetto alla presenza di umidità, le probabili cause che hanno determinato la formazione di questo fenomeno sono molteplici; gli ambienti interni, presi in analisi con l'individuazione materica e dei degradi, mostrano segni evidenti del fenomeno, qui probabilmente causato dalla funzione che rivestivano questi vani, che con l'evolversi degli avvenimenti li destinò a stalle, dove il bestiame, e la presenza di animali, causa una forte condensa interna.

Inoltre la manica voltata ad est presenta due muri a diretto contatto con il terreno per almeno metà della loro superficie totale, poiché esiste un dislivello tra il cortile interno e il fronte strada, e queste murature a contatto diretto mostrano segni di maggiore esposizione al fenomeno.

La manica ovest invece è a diretto contatto con la bealera che alimenta il mulino e lungo questo fronte si nota una netta linea di distacco dell'intonaco con conseguente ammaloramento della muratura. Si segnala

inoltre che i mattoni utilizzati sono mattoni antichi, come le malte e caratterizzate quindi da una maggiore igroscopicità, come precedentemente detto.

Recenti studi si sono concentrati sulle cause e i danni che i cambiamenti climatici apportano all'umidità delle murature storiche: le condizioni climatiche continentali e mediterranee, trovarsi a 40/50 ° di latitudine e l'alternanza delle stagioni secche e quasi monsoniche influiscono notevolmente sulla distribuzione dell'umidità di risalita nei materiali porosi.

L'umidità può drasticamente ridursi durante le stagioni secche e aumentare altrettanto notevolmente durante un lungo periodo di piogge costanti e la misurazione di T (temperatura centigrada) e RH (o UR umidità relativa) si rivela fondamentale per rivelare la presenza di acqua nella muratura.

Gli studi hanno ritenuto fondamentale tenere monitorato determinati parametri come il microclima per un periodo di tempo di almeno 24 mesi, il primo rilascio accettabile di dati di monitoraggio è stato preso in considerazione dopo 12 mesi e altri 12 mesi sono considerati necessari per capire se i fenomeni registrati erano dovuti a variazioni stagionali o eccezionali. In particolar modo per gli ambienti ipogei, gli studi (Sanchez-Moral et al., 2005) (Blasco Lopez et al., 2018) mostrano l'esistenza di "finestre temporali" durante le quali le variazioni registrate all'esterno e all'interno sono simili, quindi l'apertura dei siti al pubblico non causa improvvisi cambiamenti del microclima.

Il confronto dei valori per più di un anno aiuta a identificare queste "finestre", oltre a definire l'intervallo di valori tipici del microclima in studio, registrando eventuali cambiamenti che potrebbero essere dannosi.

i E. Rosina, E. Romoli, A. Pili, M. Suma, *LESSON LEARNED ON MONITORING CULTURAL HERITAGE AT RISK UNDER CLIMATE CHANGES: STRATEGY, TECHNIQUES AND RESULTS*, 2019

I manufatti oggetto del puntuale monitoraggio di studi sono il Duomo di Mantova (Moioli et al., 2013), la necropoli nell'area di Cagliari (Stiglitz, 2014) (Rosina et al, 2019b) e il palazzo della Galleria Brera a Milano.

Monitorare il microclima è fondamentale per comprendere come progettare il sistema di ventilazione attiva più efficiente, come la presenza di persone all'interno possa causare variazioni dei valori, e se sia il caso di introdurre un numero minimo di persone che possa ospitare la struttura in oggetto, regolando gli accessi.

L'analisi dei casi sopracitati ha dimostrato che il monitoraggio, in tutte le sue diverse applicazioni, è utile come valutazione preliminare, durante la valutazione del danno e dopo l'intervento per verificare l'efficacia e la durata dei risultati.

Il monitoraggio ha tre obiettivi principali: definire le soglie per la conservazione ottimale tenendo conto dei cambiamenti climatici; rilevare e localizzare le zone danneggiate e valutare l'efficacia dell'intervento proposto.

La priorità più alta è la valutazione del rinnovo del sistema di copertura e di drenaggio, nonché l'eliminazione della fonte locale di infiltrazioni d'acqua dalle cause principali come giardini, marciapiedi, marciapiedi, fognature, ecc. Un semplice intervento tecnico, come l'aggiunta di trabocchi ai tubi della grondaia, il rifacimento di marciapiedi impermeabili intorno all'edificio, sono interventi facili ed economici che hanno un grande potenziale nel ridurre la possibile infiltrazione delle piogge.

## 6.2 Soluzioni di intervento contro l'umidità di risalita capillare

Le principali tecniche per contrastare l'umidità di risalita negli edifici sono riconducibili a tre principi:

1. i sistemi di sbarramento fisico all'interno della parete;
2. i sistemi di sbarramento con iniezioni di formulati chimici;
3. i sistemi di evacuazione dell'acqua contenuta nella parete (sifoni, intonaci macroporosi, elettrosmosi, vespai ventilati e intercapedini areate).

### 6.2.1 Sistemi di sbarramento fisico all'interno della parete

- Riduzione della sezione capillare assorbente (Metodo edilizio);
- Sbarramento orizzontale con materiale anticapillare (Metodo meccanico);
- Barriere fisiche inserite a pressione

#### RIDUZIONE DELLA SEZIONE CAPILLARE ASSORBENTE - METODO EDILIZIO

Questa metodologia è praticata fin dall'antichità, e si compie riducendo la sezione della muratura che assorbe l'umidità costruendo una serie di archetti in breccia al di sotto della parete da risanare, in questo modo la via del passaggio dell'umidità ascendente si riduce alla sola sezione d'imposta degli archi in breccia. In questo modo l'umidità viene convogliata nelle imposte degli archetti ed annullata quando l'acqua evapora.

*“Questo metodo è uno dei più efficaci*

*perché elimina alla radice le possibilità di assorbimento dell'acqua. Si può ritenere, infatti, che riducendo la sezione assorbente di 1/3, la velocità di adescamento si riduca al 15%”*.

Le fasi che si susseguono per la messa in opera di questa metodologia sono tre:

- nella prima fase vengono predisposti in breccia i plinti di materiale impermeabile che servono ad impostare gli archetti;
- nella seconda fase si costruiscono gli archetti in breccia, senza necessità di utilizzare materiale anticapillare;
- nella terza e ultima fase si asporta la

i Massari G., Massari I., 1992

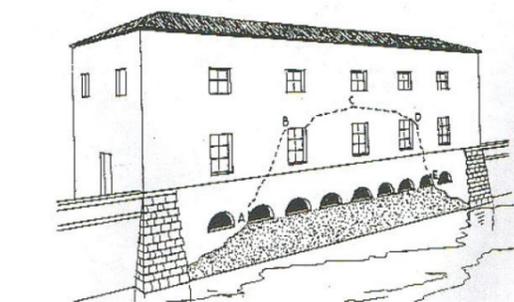
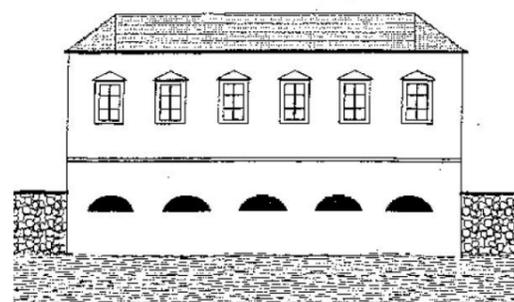


Figura 6: Schema metodo edilizio, riduzione della sezione capillare assorbente, da Massari G., Massari I., 1992

muratura umida al di sotto degli archi.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI DEL METODO EDILIZIO

Questo intervento è molto oneroso e di difficile attuazione, poiché altera in maniera significativa la distribuzione dei carichi dell'edificio, che vengono riformulati e concentrati su una sezione ridotta della muratura, compromettendo la stabilità dell'edificio stesso.

#### SBARRAMENTO ORIZZONTALE CON MATERIALI ANTICAPILLARI - METODO MECCANICO

I metodi meccanici sono considerati più sicuri, con maggiori probabilità di riuscita ma tuttavia, a causa della loro minore praticità, sono usati molto meno frequentemente rispetto agli schemi di iniezione chimica.

Si tratta di una tecnica di origine antica e le prime sperimentazioni vennero fatte su edifici veneziani, tramite il procedimento manuale del “scuci-cuci”, consistente nella sostituzione di materiale poroso e umido con materiale anticapillare non ossidabile, come una **lastra di piombo**, lungo il basamento dell'edificio.

Si tratta di una metodologia particolarmente invasiva, poiché è una tecnica che prevede un taglio nella muratura all'interno della malta di allettamento lungo tutto lo spessore al di fuori delle sezioni che ospitano il passaggio delle tubature, e oggi non è più possibile effettuarla in aree sismiche.

Le metodologie per effettuare il taglio nelle pareti sono:

1. Taglio con carotatrici: si tratta della prima evoluzione del metodo tradizionale manuale veneziano e venne proposto da Massari nel 1974. Dove al posto dell'intervento con mazzetta e scalpello viene introdotta l'opera della carotatrice,

macchina ad asse orizzontale che poggia su un carrellino

con quattro ruote che scorrono su di un piano orizzontale, creando nella parete fori di diametro di 3,5 cm senza lasciare detriti nel foro perché estrae direttamente il materiale sotto forma di cilindri.

Si eseguono una serie di carotaggi distanziati tra loro meno di 3 cm, per una lunghezza di circa mezzo metro.

2. Taglio con sega: i filari devono essere orizzontali e regolari, è indicato per le murature senza un eccessivo spessore, con giunti di malta che mantengano invariato lo spessore. Lo spessore massimo della muratura deve essere di 1,3 m (*sega a catena Figura 7*). Il taglio viene generalmente eseguito a tratti orizzontali di circa un metro per poi procedere all'inserimento delle lastre impermeabili.

3. Taglio con filo: Utilizzato nelle murature in calcestruzzo oppure nei setti realizzati con pietre dure (*Figura 8*), tramite una macchina costituita essenzialmente da una grossa puleggia motrice che fa ruotare il filo segante e, nel contempo, lo tiene in tensione con un sistema idraulico che agisce sull'asse della stessa puleggia motrice.

Gli sbarramenti che impiegano metodi meccanici intervengono in maniera radicale sulla muratura, con veri e propri

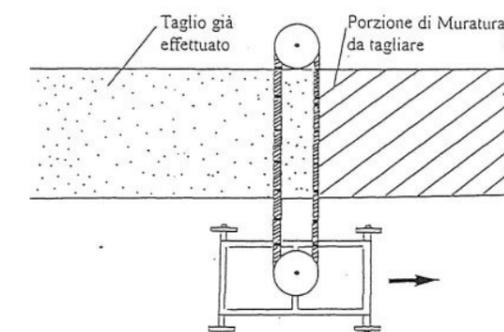


Figura 7: Visione schematica di una sega a catena, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

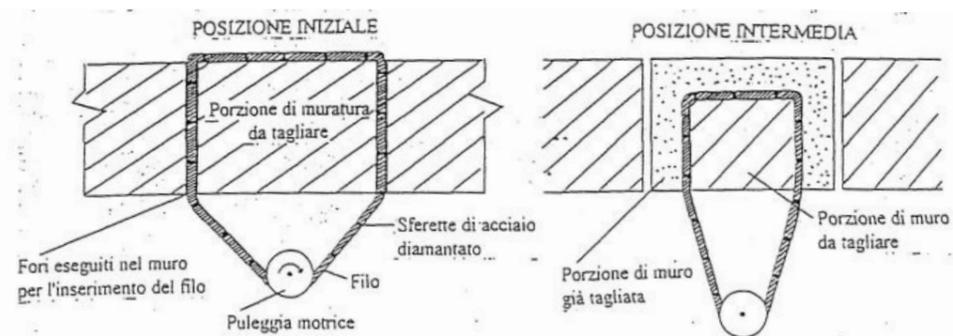


Figura 8: Visione schematica di una sega a filo, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

sbarramenti orizzontali del fenomeno di risalita, evitano la risalita mediante un taglio nella parete e risanano dall'umidità ascendente.

Gli **sbarramenti fisici** alla risalita capillare hanno come scopo quello di interrompere il flusso di acqua che si propaga mediante la capillarità dalle fondazioni, questa tipologia di interventi viene utilizzata laddove non sia possibile intervenire direttamente sulle fondazioni. Gli sbarramenti fisici possono essere o **sbarramenti orizzontali** (metodo meccanico) inseriti propriamente nella muratura orizzontalmente al flusso di risalita, oppure **sbarramenti verticali**, disposti a ridosso della muratura come barriera per impedire la penetrazione dell'acqua.

Nel caso in cui l'edificio sui cui è predisposto l'intervento non abbia piani interrati lo sbarramento andrà inserito subito sotto la quota di calpestio, nel caso in cui esistano degli scantinati andranno inserite due tipologie di sbarramento, sia verticale che orizzontale, per impedire l'ingresso dell'acqua dalle zone di muratura a diretto contatto con il terreno.

Gli **sbarramenti orizzontali** prevedono l'applicazione del taglio e se inizialmente seguendo la tecnica veneziana questo veniva effettuato manualmente oggi giorno è utilizzata la sega a catena che grazie ad apposite seghe costituite da una catena questa scivola tra due pulegge dentate di cui una motrice che aziona il movimento. Questa tipologia di taglio mediante la

sega a catena è indicata principalmente per murature disposte su filari orizzontali e nei quali il giunto presenta uno spessore maggiore di un cm, visto che lo spessore della sega è di 8 mm **il taglio viene esclusivamente eseguito in corrispondenza del giunto di malta.**

Per mettere in pratica quanto appena descritto è necessario che il pietrame costituente il muro sia pietrame tenero, quando invece la muratura è in calcestruzzo si procede con il taglio a filo, tramite una macchina che si compone di una puleggia che fa ruotare un filo segante, con sfere di acciaio diamantate. Il taglio viene praticato inserendo in due fori posizionati sull'elemento da tagliare i due estremi che vengono successivamente congiunti sulla puleggia.

Il taglio della muratura mediante carotatrice, crea una serie di fori con uno spessore variabile da 40 a 100 mm. Questa tecnica ha il vantaggio che riduce le vibrazioni indotte sull'edificio e di poter effettuare tagli su murature che vanno oltre ai 150 cm, misura invece che costituisce il limite massimo per il taglio con la sega.

Dopo aver praticato il taglio nella muratura si inserisce una **lastra impermeabile in vetro resina** (sabbata per implementarne l'aderenza), **un foglio di polietilene**, una **guaina bituminosa**, o una **lastra di piombo o rame**.

Vengono forzati dei cunei per rendere maggiormente stabile la muratura impedendone gli abbassamenti, nel taglio

vengono inseriti dei tubicini e fissati con stucco attraverso i quali vengono iniettate malte sintetiche a base di cemento, come malte cementizie idrorepellenti o malte epossidiche.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI DEL METODO DEL TAGLIO DELLA MURATURA

Gli svantaggi di questa applicazione è che non si può applicare a tutte le tipologie murarie, infatti esclude le murature in pietra dura con blocchi non squadrate e non disposti su filari orizzontali paralleli. In aggiunta, come anticipato, il taglio passante nella muratura non è applicabile alle costruzioni che si trovano in zona sismica poiché il taglio costituirebbe una sorta di "cerniera" alla base dell'edificio. Per effettuare il taglio nella muratura è fondamentale avere l'attrezzatura idonea per poter forare la struttura, questo sistema ha una minore praticità e tempistiche di realizzazione più lunghe rispetto alla tecnica degli sbarramenti fisici.

Questa tecnica non può essere utilizzata nel caso in cui la muratura non sia realizzato in modo omogeneo, quindi con il pietrame disposto su filari regolari, l'utilizzo frequente di diatoni, una malta che riempia gli spazi senza eccedere, con le pietre ben ammorsate tra loro e realizzata con spianamenti regolari disposti a intervalli che periodici orizzontamenti.

Non può, inoltre, essere utilizzato nel caso in cui il muro sia della tipologia a sacco, struttura antica, tipica difensiva, in cui i due strati perimetrali erano in laterizio o materiale lapideo coerente mentre all'interno dei due strati perimetrali si trova del pietrisco di scarto amalgamato a malta, terra ed inerti di qualsivoglia provenienza. Il taglio con le carotatrici risulta molto laborioso e richiede molto tempo, poiché sono necessari piccoli "tagli" che dovranno essere subito ripristinati per non compromettere la stabilità dell'edificio. Il vantaggio di questo sistema, rispetto a quello veneziano, è che il movimento rotativo delle carotatrici non provoca urti

né eccessive vibrazioni. Può essere usato, inoltre, anche su murature miste e per spessori notevoli.

Come risoluzione della problematica si mostra particolarmente efficiente, elimina il 100% dell'umidità di risalita poiché tutte le superfici orizzontali delle pareti trattate sono tagliate il più in basso possibile, vicino al terreno o alle fondazioni, trattando così la problematica alla radice.

#### BARRIERE FISICHE INSERITE A PRESSIONE (martello pneumatico)

Un altro intervento simile consiste nell'inserimento nella muratura di **lamiera di acciaio**, con uno spessore di 1.5 mm al cromo, per evitare fenomeni di corrosione, con una larghezza di 30-40 cm e una lunghezza uguale al corrispettivo del muro.

Questa metodologia può essere applicata a murature con spessore contenuto e costituite da file, il più possibile regolari, di mattoni e strati di malta.

Le lamiere di acciaio inossidabile al cromo, possono essere sostituite da un altro materiale della stessa resistenza, consentono di creare lo sbarramento orizzontale senza dover ricorrere il taglio della muratura.

Infatti vengono applicate mediante un martello pneumatico che con una pressione di 40 kg/cm<sup>2</sup> infligge frequenze di circa 1100-1450 colpi al minuto, utilizzabile anche laddove vi siano conci lapidei, dato che la lamiera è in grado di tagliare anche il laterizio e la pietra.

La larghezza delle lamiere è ridotta per consentire un più facile inserimento nel muro, sono leggermente sovrapposte per garantire continuità della barriera, lo strato di cromo protegge dall'eventuale corrosione.

Il martello pneumatico è applicato su un telaio rigido ed il tutto è azionato da un compressore.

Un'applicazione pratica di questa metodologia è il Metodo H & W, applicato in Austria, che si basa sull'inserimento di

lamine ondulate di acciaio inossidabile al cromo direttamente nelle fughe della muratura, in corrispondenza della malta di allettamento, senza richiedere alcun riempimento di materiale e non dando luogo a fessurazioni.

La particolare forma ondulata delle lamine, oltre che offrire una buona resistenza all'ossidazione, produce un effetto legante e di antisiltamento anche in caso di scosse sismiche o di eventuali spinte trasversali. Questo intervento evita il taglio della muratura e quindi la sua parziale demolizione garantendo comunque la realizzazione di una adeguata barriera impermeabile permanente.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI BARRIERE FISICHE INSERITE A PRESSIONE

I colpi indotti dal martello pneumatico non provocano alcun danno alla muratura in quanto l'inerzia della massa non viene turbata grazie all'elevata frequenza con cui sono inferti i colpi, tantomeno possono sussistere abbassamenti o assestamenti del muro perché l'inserimento delle lamiere comprime la malta di circa il 10-20%.

L'ondulazione delle lamiere sarebbe in grado, inoltre, di garantire la resistenza alle traslazioni orizzontali dovute ad eventuali movimenti tellurici o assestamenti, il che risulta essere molto importante per i mattoni legati con terra cruda o malte estremamente deteriorate.

Lo svantaggio maggiore è che l'inserimento della barriera richiede un'estrema attenzione nel non danneggiare parti strutturali e può risultare di una certa complessità se operato nelle parti interne, senza il momentaneo allontanamento degli abitanti. Rimane sconsigliata per le pareti di forma irregolare.

### 6.2.2 I sistemi di sbarramento con iniezioni di formulati chimici

-Iniezioni con effetto idrofobizzante;

-Procedura operativa.

#### INIEZIONI CON EFFETTO IDROFOBIZZANTE

Questa metodologia prevede una vera e propria iniezione di un fluido di iniezione nella muratura, presenta un metodo simile allo sbarramento fisico e ha come obiettivo lo sbarramento della risalita dell'umidità alla base della muratura.

La differenza tra i due metodi è che nello sbarramento fisico si applica un taglio nella muratura introducendo una lastra più o meno rigida, mentre nelle iniezioni si iniettano all'interno della muratura sostanze liquide che vengono assorbite per capillarità.

Per iniezione, tecnologia di iniezione o iniezione chimica si intende l'introduzione del materiale di iniezione nella muratura in modo tale da garantire un'equa distribuzione dell'agente in tutta la sua sezione trasversale.

In questi particolari casi, si interviene realizzando una serie di fori disposti orizzontalmente dal diametro variabile dai 5 ai 30 mm, per una profondità di circa 2/3 dello spessore del muro, di solito realizzati dentro al giunto di malta, con uno spazio tra uno e l'altro di circa 15 cm, all'interno dei quali vengono innestate speciali resine o prodotti idrorepellenti.

Le successive applicazioni e gli studi inerenti a questa applicazione metodologica distinguono quattro diversi principi di azione dell'iniezione chimica:

1. Chiusura (intasamento) della sezione trasversale capillare: in cui l'agente di iniezione si deposita parzialmente nel poro d'acqua e lentamente lo colma nella sua totalità, bloccandone

la risalita capillare, fino a quando non è completamente ostruito e interrompe drasticamente il trasporto capillare;

2. Riduzione della sezione capillare: l'agente chimico viene iniettato nel sistema dei pori e dei capillari in modo tale da ridurre, senza ostruirlo completamente, il diametro capillare in maniera comunque efficace per cui i capillari e i pori attivi non sono più usufruibili per il trasporto dell'umidità (la velocità di risalita capillare è ridotta a zero);

3. Idrofobizzazione: l'agente di iniezione si deposita sulle pareti dei pori e dei capillari e crea, in combinazione con il materiale, uno strato idrorepellente (angolo di contatto  $\geq 90^\circ$ ) che provoca l'inibizione dell'umidità capillare;

4. Chiusura o riduzione della sezione capillare in combinazione con la loro idrofobizzazione.

Le formulazioni chimiche hanno l'obiettivo di annullare la pressione capillare dell'acqua risalente dal terreno. Questo fine viene raggiunto o ostruendo completamente i pori del materiale di cui è costituita la muratura grazie a **resine** dotate di bassa viscosità capaci di polimerizzare in presenza di acqua; o rendendo le pareti dei vasi capillari, annullando la nascita del fenomeno della risalita capillare. Si usano sostanze idrorepellenti, sostanze utilizzate pure o mescolate con acqua e cemento. I principali formulati chimici con effetto idrofobizzante sono: i silani, i siliconi, i silossani, i poliesteri perfluorati, le microemulsioni di siliconi e le creme per iniezione.

I silani hanno una bassa viscosità e una buona penetrazione ma risultano estremamente volatili;

I siliconi sono sostanze idrorepellenti e impermeabilizzanti con ottima resistenza al calore e agli agenti chimici, hanno inoltre alta viscosità e scarsa penetrazione;

I siliconati danno risultati soddisfacenti quando sono combinati con i silicati;

I silossani hanno una bassa viscosità e quindi una buona penetrazione e sono meno volatili dei silani;

Le microemulsioni di siliconi (SMK) sono liquidi trasparenti caratterizzati da una bassa viscosità e buona penetrazione, le prime sperimentazioni hanno dato risultati incoraggianti che necessitano di conferme ed approfondimenti, non contengono solventi organici o alcali.

Le creme per iniezione sono invece prodotti creati in seguito di ulteriori lavori sugli agenti chimici a base di silani e non contengono solventi organici, hanno bassa viscosità e una consistenza cremosa, ed è proprio grazie alla consistenza che il formulato penetra maggiormente nella struttura della parete rispetto agli altri formulati, grazie all'elevato contenuto di sostanza attiva (superiore al 65%), questo prodotto può essere utilizzato in pareti con penetrazione di umidità fino al 95%.

I formulati chimici non funzionano tutti allo stesso modo, infatti vi sono delle caratteristiche che ne determinano le reazioni con l'ambiente e gli altri materiali, come: la **composizione chimica** che serve a prevedere la reattività del composto con l'ambiente esterno e con i materiali; la **viscosità** è la capacità del fluido di penetrare all'interno dei pori, più la viscosità è bassa tanto meglio il fluido penetra all'interno del materiale; la **capacità di polimerizzazione** indica il processo in cui i monomeri si uniscono tra loro dando luogo a composti di elevato peso molecolare (i polimeri), tanto più bassa è la capacità tanto meno velocemente si stabilizza all'interno della muratura e il fluido ha un tempo maggiore per distribuirsi all'interno della stessa; il **contenuto di solventi** che deve essere molto basso per non alterare le reazioni chimiche in fase di polimerizzazione; la **compatibilità fisico-chimica** necessaria per evitare reazioni dannose con i materiali

i Volatilità: Proprietà chimico fisica che rappresenta la tendenza di un solido o di un liquido rispettivamente a sublimare o ad evaporare. Sono considerate volatili le sostanze che, in determinate condizioni di pressione e temperatura, presentano elevata tensione di vapore

costituenti le murature; il **modulo elastico** che è fondamentale per migliorare le proprietà meccaniche e per stabilire la compatibilità con gli altri materiali.

L'efficacia viene valutata grazie il coefficiente di assorbimento capillare  $w$ , il cui valore indica la quantità di acqua assorbita dalla superficie (unità di superficie) nel tempo.

I materiali da costruzione, in base alla capacità di assorbimento dell'acqua, possono essere suddivisi nei seguenti gruppi:

1. Assorbenti d'acqua:  
 $w > 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ,
2. Inibitori all'acqua:  
 $w < 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ,
3. Idrorepellenti:  
 $w < 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ,
4. Impermeabili:  
 $w < 0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$

Il coefficiente di qualità dell'isolamento AQ può essere utilizzato per valutare l'efficacia dell'iniezione (tedesco: Abdichtungsqualität), consentendo di determinare in che misura, a causa dell'iniezione, le proprietà del materiale avvicinano alle caratteristiche di altri materiali non assorbenti.

Il fattore di qualità dell'isolamento viene calcolato secondo la seguente formula<sup>i</sup>:

$$\text{AQ} = \frac{(w_r - w_i)}{w_r} - 0,5 \quad 100\% \quad (5)$$

Dove:

AQ-coefficiente di qualità dell'isolamento  
 $w_r$ -coefficiente di riferimento dell'assorbimento capillare (materiale non iniettato)

$w_i$ -coefficiente di assorbimento capillare (materiale iniettato)

0,5 - coefficiente di assorbimento capillare massimo per materiali idrorepellenti

<sup>i</sup> B. Monczynski, B. Ksit, A. Szymczak-Graczyk, *Assessment of The Effectiveness of Secondary orizontal Insulation Against Rising Damp Performed by Chemical Injection*, 2019

Le membrane di iniezione sono definite classificabili come funzionali quando il fattore AQ non è inferiore al 90%.

Secondo uno studio<sup>ii</sup> effettuato nel laboratorio dell'Institute of Building Structures, presso l'Università di Tecnologia di Poznań, dove sono stati messi a confronto i risultati di approcci metodologici diversi su tre tipologie murarie sperimentali, ciascuno con peculiarità diverse (diversa malta e diverso spessore dei giunti).

L'approccio metodologico consisteva nella realizzazione di una membrana contro l'azione capillare utilizzando per ciascuna un diverso agente chimico di iniezione.

Lo studio ha utilizzato i seguenti agenti: formulazione a base di silicati (miscela di silicati e metil silicati alcalini), microemulsione di silicio e una crema a base di silano per iniezioni.

I parametri ottenuti utilizzando l'iniezione dell'agente microemulsionante siliconico e la crema per iniezione sono stati considerati soddisfacenti con un coefficiente di qualità dell'assorbimento  $\text{AQ} \geq 90\%$ .

Dallo studio è emerso anche che nei lavori di riparazione e ristrutturazione che ripristinano l'isolamento orizzontale e verticale, è necessario prestare particolare attenzione alla presenza di composti salini nella parete umida, poiché la loro presenza massiccia limita la selezione dell'agente chimico da utilizzare per le infiltrazioni e il metodo di impermeabilizzazione.

<sup>ii</sup> Hall et al. 1984; Massari & Massari 1993

## PROCEDURA OPERATIVA

Le tipologie con cui l'iniezione viene fatta nel muro sono tre:

1. A pressione (iniezione)
2. Per gravità (lenta trasfusione)
3. Impulso sotto forma di aerosol<sup>i</sup>

Quando il componente chimico viene iniettato **a pressione** i diametri dei fori hanno sono ridotti e varia dai 5 ai 10 mm, mentre la pressione viene regolata in base allo stato della muratura, partendo da una pressione iniziale di 1 atm per giungere a una pressione finale di 3/4 atm. Queste scariche di pressioni, che devono venire controllate mediante un manometro, non devono essere mantenute per un tempo maggiore di 30/45 secondi per evitare di arrecare danni alla struttura muraria. L'iniezione a pressione facilita l'espulsione dai pori già saturi dell'acqua favorendo l'ingresso del formulato.

Gli iniettori possono essere collegati a batterie fino a 10 unità per ridurre le tempistiche dell'azione, il tempo di iniezione è di pochi minuti per foro, il tempo di penetrazione è anche influenzato dalla regolarità e dalla compattezza della muratura. Affinché questa tecnica risulti efficace la muratura deve presentare materiali omogenei, come ad esempio mattoni pieni senza presentare spessori maggiori di 30 cm.

Nel caso in cui la parete si presenti particolarmente spessa si procede iniziando a forare la muratura di 20 cm colmando il foro con l'impregnante, successivamente verrà prolungato il foro di altri 20 cm e così di seguito finché non si sarà raggiunto il completamento.

Quando invece il componente chimico viene iniettato **per gravità** non è richiesta nessuna attrezzatura pompante, poiché il materiale viene iniettato per lenta infusione attraverso delle cartucce,

<sup>i</sup> C. Hall and W. D. Hoff, *Rising damp: capillary rise dynamics in walls*, The Royal Society, 2007

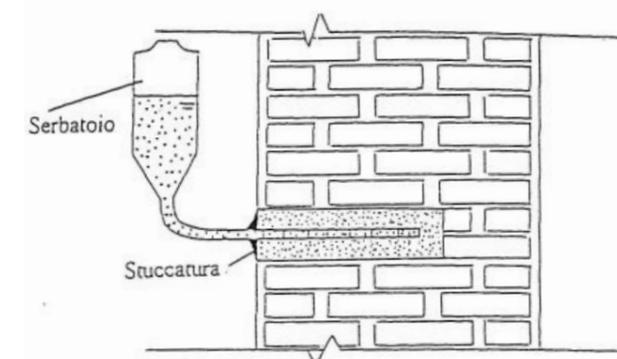


Figura 9: Schema di iniezione per gravità, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

munite di ugelli, collegate al serbatoio che contiene il liquido, che utilizzano la sola pressione atmosferica, i trasfusori sono opportunamente inseriti nei fori precedentemente creati in orizzontale alla base della parete umida, distanziati da terra di circa 20 cm.

La scelta del sistema da utilizzare è dettata da vari fattori, come la dimensione del muro, la fattezze dello stesso e le caratteristiche chimico fisiche della soluzione da iniettare.

Se il muro presenta uno spessore ridotto e una distribuzione omogenea dei materiali allora si possono utilizzare sistemi di iniezione a pressione, nel caso in cui lo spessore murario sia particolarmente consistente con materiale non omogeneo allora è consigliabile utilizzare la metodologia di iniezione per gravità.

I formulati chimici diluiti con acqua possono essere applicati nella muratura per lenta trasfusione grazie alla capacità di polimerizzazione che viene ridotta dall'aggiunta di acqua, il che permette al formulato di distribuirsi lentamente ma in modo omogeneo nella muratura, mentre i formulati chimici disciolti in solventi organici presentano dei tempi di polimerizzazione molto più rapidi e necessitano di una rapidità di inserimento

maggiore per garantire la corretta distribuzione.

Gli **sbarramenti verticali** vengono utilizzati quando negli edifici sono presenti piani interrati e per l'eliminazione completa dell'umidità dagli ambienti risulta necessario combinare sbarramenti orizzontali, al fine di bloccare la risalita capillare con sbarramenti verticali per bloccare l'ingresso dell'acqua diretta nelle murature che si trovano a diretto contatto con il terreno.

Gli sbarramenti verticali possono essere realizzati con composti epossidici o con malte di cemento idrorepellenti oppure con prodotti sintetici a base di cemento bicomponenti additivati con lattici acrilici. Se il degrado riguardante l'umidità non presenta acqua superficialmente allora l'intervento può semplicemente risolversi con l'applicazione sulla superficie interna del muro di un intonaco cementizio idrorepellente, di più strati per ottenere una maggiore efficacia (Figura 10).

Nel caso specifico del mulino questa applicazione non risulta possibile, come anche tutti gli altri interventi che

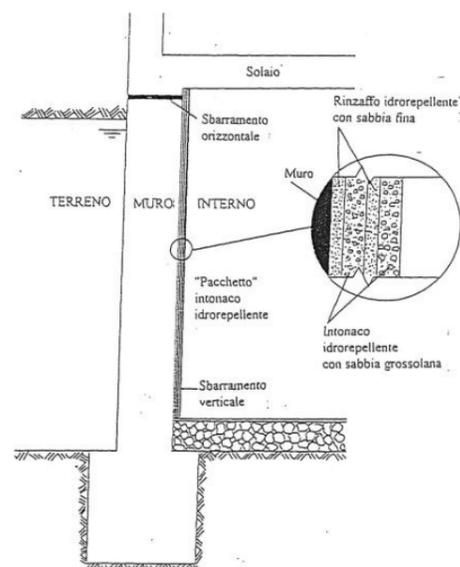


Figura 10: Sbarramento verticale realizzato con pacchetto costituito da quattro strati di intonaco idrorepellente, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

prevedano l'aggiunta di materiali a base cementizia poiché non risulta compatibile con i materiali preesistenti per proprietà fisico-chimiche e meccaniche diverse tra loro.

La tecnica prevede l'applicazione di due strati di malta, confezionati con un aggregato fine, con un  $D_{max} \leq 1$  mm, idrorepellenti in forma di rinzafo, con uno spessore quindi di 4-5 mm di spessore, intervallati da uno strato di malta idrofuga di spessore pari a 7-8 mm. Il sistema di posa assicura una mancanza totale di continuità tra i pori che assieme all'impiego dell'idrorepellente garantisce una buona tenuta all'acqua.

Nel caso di muri in calcestruzzo dotati di una buona finitura superficiale lo sbarramento verticale può essere realizzato con una malta cementizia impermeabile ed elastica applicata direttamente sul muro cementizio (Figura 11). Il lattice acrilico presente garantisce l'impermeabilità garantendo la tenuta in supporti fessurati con un'ampiezza inferiore a 0.5 mm.

Se il muro in oggetto fosse caratterizzato da eccessiva porosità bisogna intervenire

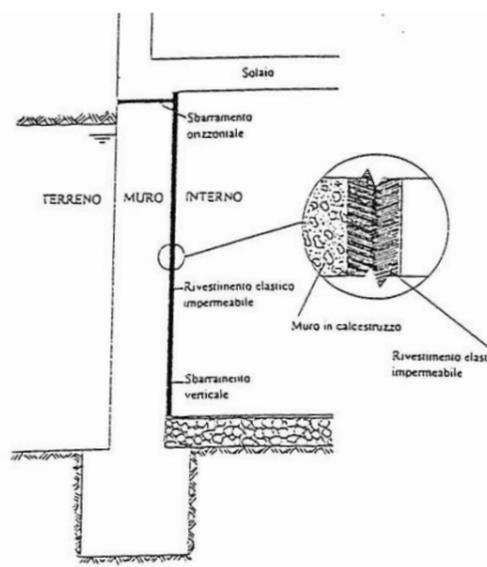


Figura 11: Sbarramento verticale realizzato con intonaci elastici impermeabili, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

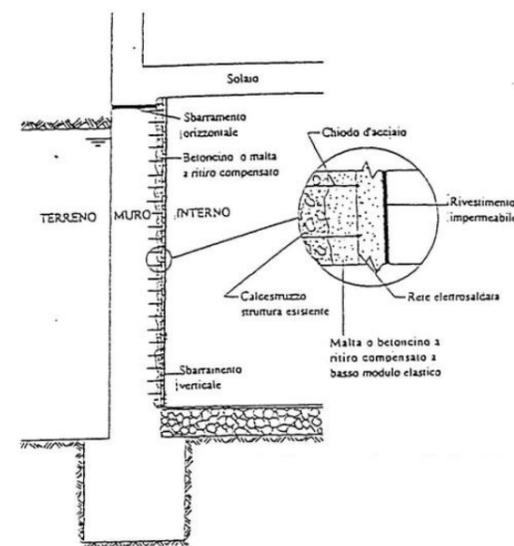


Figura 12: Sbarramento verticale con betoncino o malta a ritiro compensato a basso modulo elastico e rivestimento elastico impermeabile, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

con interventi di sbarramento più radicali utilizzando malte cementizie impermeabili a ritiro compensato.

Le malte vengono applicate dopo aver opportunamente inciso l'intonaco preesistente ed aver infisso nel muro contro terra una serie di chiodi disposti ai vertici di un reticolo a maglia quadrata di lato 50-100 cm sulla cui testa viene legata una rete elettrosaldata (Figura 12).

L'intervento complessivo può essere affinato con una pittura di cemento idrofugo applicata in spessore di qualche mm oppure con un rivestimento cementizio elastico.

Si precisa però che nel caso di murature storiche, l'impiego di malte o composti cementizi sarà evitato, per evitare scarsa compatibilità fisico-chimica e meccanica

i Ritiro compensato: la proprietà di alcuni calcestruzzi (shrinkage compensating concrete), betoncini e malte cementizie confezionati con cemento espansivo, costituito da cemento Portland opportunamente additivato con prodotti espansivi, che determina, durante la fase di idratazione e presa, un aumento di volume che va a compensare la successiva contrazione finale dovuta al ritiro fisiologico del materiale a base cementizia, evitando, o almeno minimizzando, il conseguente fenomeno fessurativo.

tra i prodotti idrorepellenti ed i materiali originali.

Un ottimale sbarramento verticale lo si ottiene con la tecnica appena citata utilizzando un composto epossidico (resine di polimeri termoindurenti con reazione a freddo) in luogo della malta a ritiro compensato. Sullo strato resinoso viene successivamente applicato un primer che ne favorisce l'aderenza della finitura (Figura 13, a sinistra).

Quando le zone su cui applicare lo sbarramento verticale sono limitate si può far ricorso a resine epossidiche a bassa viscosità, anche nel caso in cui si debbano risanare fessure (Figura 13, a destra).

#### VANTAGGI SVANTAGGI DELLE INIEZIONI CON EFFETTO IDROFOBIZZANTE

Uno dei principali vantaggi di questa tecnica è che a differenza del metodo meccanico con sbarramento orizzontale che prevede un taglio lungo tutta la sezione del muro con questa metodologia il taglio effettuato per ospitare il componente chimico è puntiforme e quindi riduce drasticamente le problematiche connesse ai dissesti che possono crearsi con tagli di dimensioni più estese.

Con il metodo di infusione per gravità, i serbatoi non devono essere eccessivamente alti o con elevato contenuto di soluzione impregnante poiché potrebbe generare un incremento della pressione idrostatica che potrebbe compromettere la riuscita dell'operazione. Per ovviare questa problematica l'operatore addetto deve prontamente

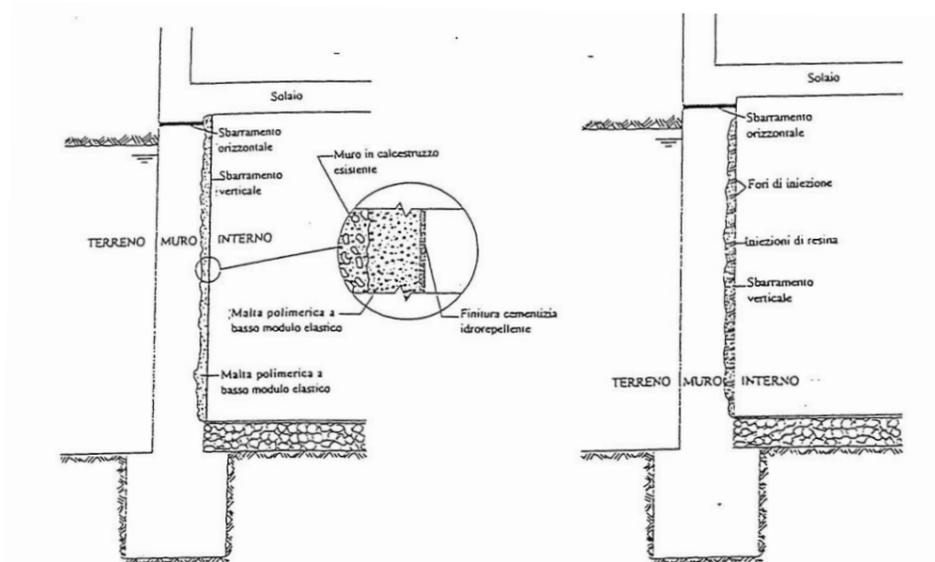


Figura 13: a sinistra sbarramento verticale con malta polimerica a basso modulo elastico e finitura cementizia idrorepellente; a destra sbarramento verticale eseguito mediante iniezioni di resina, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

mantenere costante il contenuto del liquido dei serbatoi per mantenere al minimo il livello di pressione idrostatica e garantire la corretta infusione.

Le problematiche che possono insorgere con il metodo a lenta infusione sono collegate alla viscosità del liquido impregnante e alla presenza dei solventi che ne favoriscono l'infusione ma ne riducono l'efficacia. Inoltre la capacità di polimerizzazione e le caratteristiche fisiche della muratura ne influenzano la corretta distribuzione. Uno svantaggio considerevole è che possono verificarsi alterazioni nelle caratteristiche cromatiche delle pareti.

Anche la metodologia di iniezione a pressione può comportare delle problematiche, infatti il liquido inserito tenderà a seguire i percorsi che offrono minore resistenza, come vuoti, fratture o crepe e quindi a disperdersi e a diffondersi in maniera non uniforme; al fine di evitare una diffusione del materiale non idonea

e non omogenea viene controllata la pressione di introduzione modulandola in relazione alla compattezza della muratura. Confrontando questa metodologia con il metodo meccanico del taglio della parete possiamo constatare che entrambe siano utilizzabili in modo efficace per prevenire l'umidità di risalita del patrimonio architettonico.

Economicamente parlando, i prezzi delle tecniche sono stati confrontati<sup>1</sup> in euro a partire da marzo 2013 ed è stata condotta la seguente percentuale dei prezzi per m<sup>2</sup>: il metodo di iniezione chimica richiede il 25% di investimenti in più per m<sup>2</sup>, grazie alla sua tecnica più complessa e duratura.

<sup>1</sup> N. Harmati, Ž. Jakšić, M. Trivunic, V. Milovanovic, *Rising damp analysis and selection of optimal handling method in masonry construction*, periodica polytechnica, 2014

Tecnica di gestione dell'umidità	Prezzo proporzionale in € / m <sup>2</sup>	Prezzo proporzionale in € / m <sup>2</sup>	Rapporto di investimento %
<b>Taglio orizzontale</b>	1.00	367.85	100
<b>Iniezione chimica</b>	1.25	459.81	125

Tabella 3: Tabella che riporta il confronto economico tra il taglio orizzontale e le iniezioni chimiche

### 6.2.3 I sistemi di evacuazione o allontanamento dell'acqua contenuta nella parete

-Sifoni atmosferici;

-Intonaci macroporosi;

-Tecnica dell'elettrosmosi;

-Sistemi di allontanamento dell'acqua dalla parete: vespai ventilati e intercapedini

Gli interventi per diminuire o eliminare gli inconvenienti connessi con la presenza di umidità di risalita dal terreno prevedono generalmente degli interventi finalizzati a incrementare l'evaporazione dell'acqua dalla muratura verso l'esterno; per ridurre o annullare l'acqua risalente dal terreno o per ridurre l'acqua che si impregna le fondazioni o i muri a diretto contatto con il terreno.

#### SIFONI ATMOSFERICI

La prima tecnica che andremo a descrivere è quella dei sifoni knapen che rientrano nei metodi di evacuazione dell'acqua contenuta nella parete.

I "sifoni Knapen" sono elementi

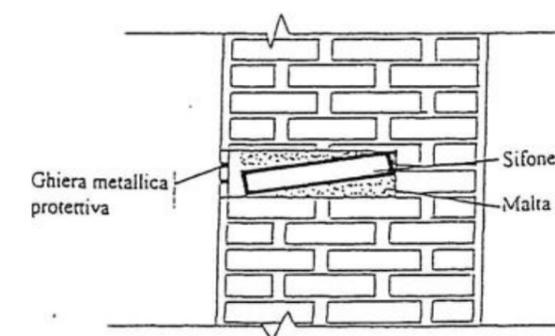


Figura 14: Sezione schematica di una muratura in cui è stato inserito un sifone, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

prefabbricati provvisti di un canale centrale realizzati con materiali diversi come può essere la terracotta, la plastica, ecc e possono avere forme triangolari, circolari o pentagonali. I sifoni vengono collocati all'interno della muratura in fori rettangolari appositamente realizzati di uno spessore di 7 cm x 9 cm circa laddove la muratura deve essere risanata. Vengono utilizzati quando l'umidità è generata da acqua proveniente dalle fondazioni.

I fori sono disposti su una linea orizzontale in misura di tre ogni metro lineare di muratura da trattare.

Quando il degrado connesso all'umidità è particolarmente ingente i fori possono venire applicati su due file parallele o nel

caso di murature molto spesse si possono disporre su entrambe le facce del muro. Il foro appena creato viene riempito con malta inclinata verso l'esterno su cui verrà posizionato il sifone.

Si fissa il sifone inglobandolo nella malta e si sistema la griglia di protezione affinché crei un piano unico con la muratura esterna.

Il loro scopo è quello di aumentare lo smaltimento dell'acqua dalla muratura tramite evaporazione, basandosi sul principio che l'aria esterna, più asciutta e più leggera di quella contenuta all'interno del sifone, salga all'interno del canale di aerazione del sifone spostando l'aria umida verso l'esterno, ed eliminando così l'umidità.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI DEI SIFONI ATMOSFERICI

Non sempre questo tipo di intervento mette fine alle problematiche dell'umidità, infatti lo svantaggio che presenta è connesso alla mancanza di una buona ventilazione che rende impossibile l'utilizzo del sifone soprattutto in condizioni di elevata umidità relativa dell'aria.

#### INTONACI MACROPOROSI

Gli intonaci macroporosi rientrano nella tipologia di interventi che operano tramite l'evacuazione dell'acqua dalla parete e vengono applicati quando l'acqua proviene dalle fondazioni.

Questi intonaci aumentano la velocità di evaporazione dell'acqua dalla parete, mentre al contrario un intonaco tradizionale trattiene l'umidità, quelli in oggetto hanno capacità deumidificante, assorbendo l'acqua e favorendone la successiva evaporazione.

Si compongono principalmente di: un **legante idraulico** (calce idraulica), un **inerte carbonatico** o **silicatico**, fondamentale per la resistenza meccanica e per controllare la stabilità dimensionale dopo la posa, **inerti leggeri** o **espansi** (come la pozzolana, argilla espansa, vermiculite<sup>i</sup>, perlite<sup>ii</sup>, vetro espanso, sughero) che aumentano la porosità e quindi la permeabilità al vapore del sistema ed eventuali **additivi aeranti**, i quali creano ulteriori bolle d'aria.

Per alleviare il degrado vengono applicati intonaci composti da uno o più strati di malte macroporose in grado di facilitare, grazie all'alta presenza di pori, l'evaporazione dell'acqua verso l'esterno. Lo svantaggio di questa tecnica è che non elimina il problema ma favorisce solamente lo smaltimento dell'umidità, in particolare modo nelle stagioni calde e secche. La struttura porosa dello strato consente di allentare le tensioni dirompenti dovute alla formazione di ghiaccio riducendo la presenza di esfoliazione e distacco.

L'applicazione si compone solitamente di due strati, applicati dopo aver effettuato la rimozione dell'intonaco preesistente e dopo aver pulito la superficie in oggetto.

Il primo dei due strati applicati è il rinzafo, che mantiene uno spessore di 2-4 cm e si presenta con un elevato potere capillare, dovuto alla presenza di micropori che convogliano l'umidità in superficie. A seguire la finitura, uno strato deumidificante con una buona traspirabilità al vapore e uno scarso assorbimento capillare dell'acqua in superficie; è fondamentale che lo strato di finitura sia sufficientemente traspirante altrimenti si generano effetti disastrosi sull'intonaco stesso. La struttura che compone questi intonaci è una struttura reticolata costituita da macro e micro pori che si dipanano per tutto lo strato. Hanno un basso coefficiente di assorbimento per capillarità, per l'umidità esterna e un

<sup>i</sup> Minerale, fillosilicato di magnesio, ferro trivalente e alluminio, con ossidrili e acqua.

<sup>ii</sup> Materiale espanso, utilizzato come aggregato leggero per la realizzazione di calcestruzzi leggeri, che si origina per riscaldamento di rocce vulcaniche del tipo dell'ossidiana

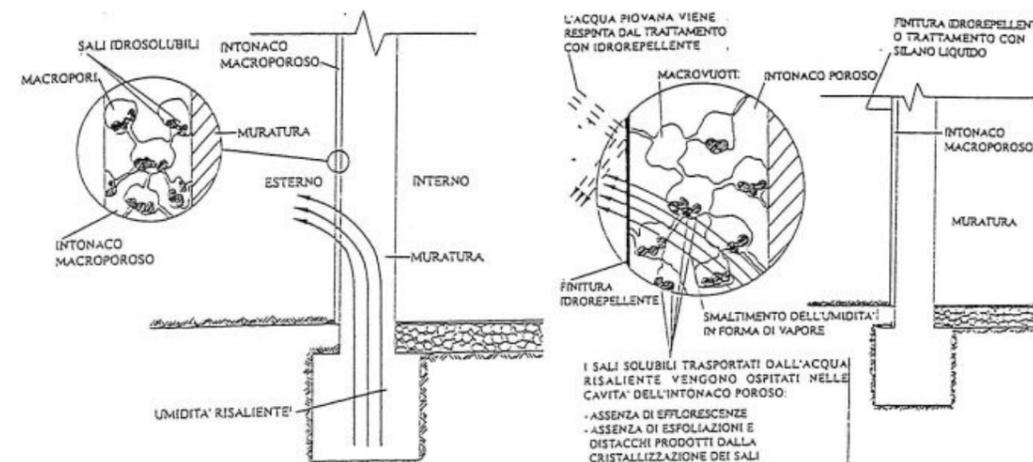


Figura 15: a destra, visione schematica di un intonaco macro poroso. A sinistra, visione schematica di un intonaco macro poroso idrorepellente, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

alto trasporto interno grazie ai micro pori; presenta un'alta permeabilità al vapore e una buona resistenza sia agli effetti dell'umidità che una buona resistenza ai sali.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI DEGLI INTONACI MACROPOROSI

Lo svantaggio di questa tecnica è che deve essere sempre abbinata ad altri interventi affinché sia funzionale dato che non può impedire l'ingresso dell'acqua piovana all'interno della muratura. Una soluzione possibile è che questa tecnologia venga impiegata solamente laddove il clima si presenti asciutto e ventilato con piogge per lo più assenti. Se si applicasse un rivestimento impermeabile sull'intonaco macro poroso la conseguenza inevitabile è che l'umidità riscontrerebbe una maggiore difficoltà ad evaporare. Un'altra soluzione possibile è applicare uno strato di intonaco macroporoso ma che sia allo stesso tempo idrorepellente, che impedisca l'ingresso di acqua piovana allo stato liquido e allo stesso tempo caratterizzato da una bassa resistenza alla diffusione del vapore, per smaltire efficacemente l'acqua allo stato vapore.

## TECNICA DELL'ELETTROSMOSI

L'elettrosmosi è tecnica utilizzata per la bonifica dei terreni. Il metodo si basa sulla realizzazione di una pila voltaica tra muratura, acqua e terreni, usando forze elettromotriche, che controbilanciano quelle capillari, e inducono la migrazione dell'acqua verso il basso.

Si effettua un foro nella muratura, in cui si inseriscono gli elettrodi, uniti da un cavo in rame.

Questa tecnica ha come obiettivo quello di annullare o invertire il flusso dell'umidità di risalita capillare basandosi sulla **differenza di potenziale elettrico** (d.d.p.) che è sempre presente tra il terreno e la muratura stessa. Questa differenza di potenziale elettrico varia da qualche decina di millivolts a qualche centinaio di millivolts e provoca lo spostamento delle molecole di acqua dalla zona in cui il potenziale elettrico è positivo a quella in cui il potenziale è negativo.

La struttura muratura-terreno assume potenziale negativo rispetto al terreno, perciò oltre alla risalita di acqua capillare data dalla porosità dei materiali si affianca un flusso ascendente, dalla positività del terreno al potenziale negativo

dell'abbinamento muratura-terreno, di umidità di natura elettrosmotica.

Sulla base di queste osservazioni vennero studiate tecniche per poter sfruttare la differenza di potenziale elettrico naturale, chiamata **elettrosmosi passiva**, o indotte mediante l'utilizzo di corrente elettrica, in quel caso si parla di **elettrosmosi attiva**, al fine ultimo di invertire il flusso ascendente verso la muratura causata di tutti i dissesti ad essa connessi e renderlo discendente verso il terreno; questo fine può essere perseguito invertendo la polarità del muro da prosciugare che deve diventare positivo mentre al contrario il terreno deve divenire negativo.

Il sistema passivo inverte il circuito naturale dell'umidità grazie a una zona del terreno a potenziale maggiore rispetto a quello delle fondazioni.

Questa cortocircuitazione permette alla muratura di assumere potenziale positivo rispetto al terreno, invertendo il flusso dell'acqua che invertirà la sua direzione, migrando verso le fondazioni ed asciugando la muratura.

L'intervento di bonifica tramite l'elettrosmosi passiva si realizza nella pratica eseguendo

i s. m. [dall'ingl. electrode (M. Faraday, 1834), comp. di electro- «elettro-» e -ode «-odo1»]. Conduttore, di forma e natura opportuna, che adduce corrente o crea un campo elettrico in seno a un mezzo

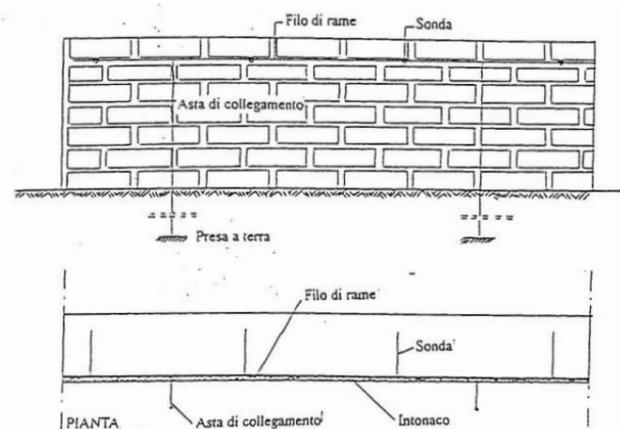


Figura 16: Schema per la realizzazione di elettrosmosi passiva, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

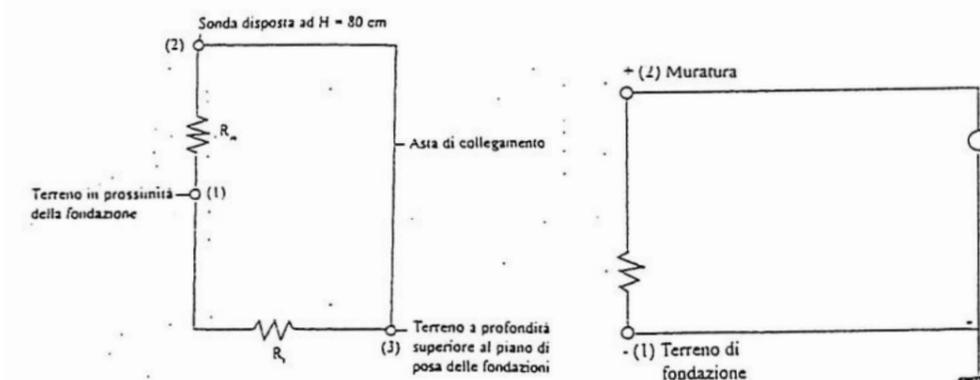


Figura 17: a sinistra schema elettrico semplificato del sistema di elettrosmosi passiva; a destra schema elettrico semplificato dell'elettrosmosi attiva ( $R_m$ =resistenza elettrica della muratura;  $R_t$ =resistenza del terreno) da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

una traccia orizzontale o internamente o esternamente al muro ad un'altezza di 80 cm dal piano di riferimento.

Se il muro supera uno spessore di 60 cm allora la traccia può essere effettuata su entrambe le facce, vengono effettuati una serie di fori, intervallati con un interasse di 50 cm, all'interno dei quali vengono alloggiati elementi metallici collegati fra loro mediante un filo di rame, connesso a sua volta con aste metalliche infisse nel terreno che fungono da prese a terra.

In alto (Figura 18), nell'immagine a sinistra troviamo uno schema sul funzionamento dell'elettrosmosi passiva ottenuto 'circuitando' la muratura ad un'altezza di 80 cm dal piano di riferimento con uno strato di terreno a profondità superiore al piano fondale.

Il potenziale al punto (2) è uguale al potenziale in (3), che a sua volta è maggiore del potenziale in (1):

$$E_{(3)} = E_{(2)} > E_{(1)}$$

Perciò il terreno in prossimità della fondazione, nel punto (1), a potenziale minore assumerà polarità negativa; la muratura invece, a polarità positiva determinerà un flusso di acqua verso le fondazioni, garantendo il prosciugamento del muro.

Il punto debole del metodo

dell'elettrosmotica passiva è che si riesce a sanare solamente la problematica di natura elettrosmotica e non quella determinata dal fenomeno della capillarità, senza frenare neppure i flussi ascendenti di umidità causati dai gradienti di concentrazione salina.

L'elettrosmosi attiva invece consiste nella creazione di un circuito elettrico, simile a quello realizzato nella elettrosmosi passiva, attraverso il quale si fa passare una corrente (di intensità pari a 20/30 mA) a basso voltaggio in modo da invertire la differenza di potenziale elettrico tra muratura e terreno e quindi di conseguenza anche la direzione dell'acqua.

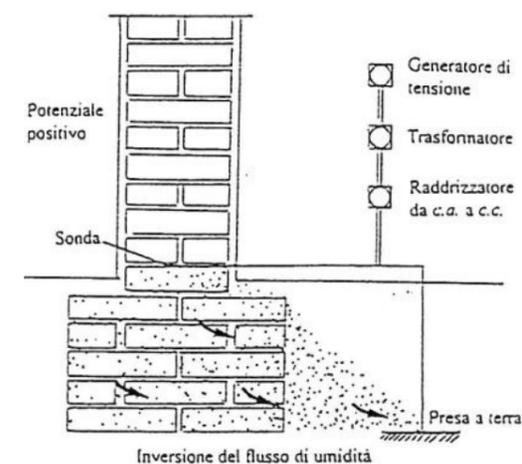


Figura 18: Inversione del flusso di elettrosmosi grazie all'elettrosmosi attiva, da L. Coppola, *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, articolo su *Prefabbricati & Industrializzazione*, aprile 1996

Il circuito elettrico è alimentato da un generatore di tensione corredato da un raddrizzatore che consente il mantenimento di una corrente continua trasformando quella alternata del generatore.

Questa metodologia non necessita manutenzione, ma deve essere costantemente monitorato tramite la lettura dei dati che devono stabilire l'intensità di corrente che alimenta il circuito.

I valori di corrente inferiori a 10 Ma possono essere indice di una elevata resistenza opposta dalla muratura al passaggio di corrente e quindi di un esiguo flusso di acqua non sufficiente a bonificare la muratura umida.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI DELL'ELETTROSMOSI

Pochissimi sono gli articoli scientifici indirizzati allo studio dell'effetto dell'elettrosmosi sulle pareti in muratura<sup>i</sup>. Questa tecnica venne ampiamente applicata per controllare la quantità di umidità nei terreni argillosi.

I materiali da costruzione, essendo rigidi a differenza delle argille, non permettono una comprensione visiva dell'effettiva efficacia del fenomeno, infatti non subiscono ritiro quando l'umidità diminuisce come nelle argille o nei terreni.

Alcuni documenti che riportano commenti sui materiali da costruzione a cui è applicata l'elettrosmosi, evidenziano l'importanza della natura chimica, della distribuzione e della dimensione dei pori e del pH del materiale.

L'acidificazione nella parete umida dovuta alla formazione di H<sup>+</sup> (atomi di idrogeno carichi positivamente) è un ulteriore aspetto da tenere in considerazione

<sup>i</sup> E. Franzoni, *State of the art for reducing rising damp in masonry*, journal of Cultural Heritage, 31, 2018, pp. 6-12

per l'applicazione dell'elettrosmosi permanente agli edifici.

In letteratura sono disponibili poche indagini in loco su questi sistemi. Dopo aver testato<sup>ii</sup> un muro di mattoni di un edificio costruito negli anni Cinquanta, sono stati riscontrati movimenti dell'acqua dovuti all'applicazione di tensione (con una corrente di 0,16-0,47 mA / cm elettrodo per 9 giorni), ma il risultato non è stato considerato sufficiente in quanto l'asciugatura del muro non era ottimale.

Un altro caso studio<sup>iii</sup> su cui è stata effettuata l'elettrosmosi attiva si trova in Russia, in cui l'applicazione della tensione per indurre il campo elettrico era decisamente molto elevata, 200 V per 4 mesi e poi 150-160 V per 3 mesi, in questo caso il risultato venne considerato riuscito ma l'edificio risultava inutilizzabile poiché così alte tensioni non potevano essere utilizzate in presenza di persone.

Questa metodologia presenta aspetti che devono ancora essere chiariti, sebbene i principi di funzionamento teorico che governano tale sistema siano già completamente compresi, rimangono da comprendere meglio le risultanze pratiche nella muratura reale.

#### SISTEMI DI ALLONTANAMENTO DELL'ACQUA DALLA PARETE: VESPAI VENTILATI E INTERCAPEDINI

I sistemi di allontanamento dell'acqua dalla parete sono soluzioni progettuali per evitare il ristagno di acqua e riguarda quelle soluzioni che allontanano fisicamente il flusso dell'acqua dalla muratura.

Si distinguono in due categorie:

-Vespai ventilati: sono cavità inserite a livello delle fondazioni e rese comunicante con l'esterno attraverso delle prese d'aria. Queste cavità creano movimenti d'aria

<sup>ii</sup> L. M. Ottosen, I. Rørig-Dalgård, *Drying brick masonry by electro-osmosis*, in proceedings of the 7th International masonry conference, Londra, 2006

<sup>iii</sup> E. A. Ivliev, *Electroosmotic drying of building walls and basements*, Surf Eng Appl Electrochem, pp. 291-296, 2007

che allontanano l'umidità;

-Intercapedini orizzontali o verticali: permettono di eliminare il contatto diretto tra muratura esterna e terreno umido. Si compone di un vano vuoto ventilato per favorire l'evaporazione, consiste quindi nel creare un processo di ventilazione naturale.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI DEI VESPAI VENTILATI (IGLOO)

Per la riuscita dell'intervento risulta fondamentale disporre in maniera adeguata gli sfiati d'aria e il posizionamento delle prese, aiuta a colmare i dislivelli con un costo minore rispetto ad altre soluzioni, smaltisce l'eventuale presenza di gas nocivi, le tempistiche della posa sono rapide e offrono la possibilità di alloggiare impianti, sono ecosostenibili e poco costosi, permettono di rendere salubri gli ambienti e di migliorare l'efficienza energetica.

La principale problematica è connessa alla dislocazione degli sfiati, che se non opportunamente studiati possono aggravare la situazione e nel peggiore dei casi allagarsi in seguito ad una alluvione.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI DELLE INTERCAPEDINI

Il problema maggiore che grava su questa metodologia sono le spese di messa in opera a causa della complessità dell'intervento, ma nel complesso si dimostra ottimale per la sua efficacia, i risultati ottenuti mostrano che si ottiene una riduzione del 15,6% del contenuto d'acqua in una parete spessa 100 cm, dove l'umidità iniziale era del 30%<sup>i</sup>.

Per l'ottimizzazione del metodo da preferire bisogna confrontare tre parametri: l'effettività (di riuscita dell'intervento),

<sup>i</sup> N. Harmati, Ž. Jakšić, M. Trivunic, V. Milovanovic, *Rising damp analysis and selection of optimal handling method in masonry construction*, periodica polytechnica, 2014

la durata della procedura e gli aspetti economici.

Sicuramente l'utilizzo simultaneo di due tecniche garantisce una migliore riuscita dell'intervento contro l'umidità, assicurando una buona risoluzione continuativa nel tempo. Inoltre, la complessità degli edifici storici in muratura rende molto difficile la valutazione dell'efficacia dei sistemi di riparazione del danno dell'umidità.

La difficoltà di eseguire un preciso e affidabile monitoraggio delle pareti in muratura è un'ulteriore questione da considerare nelle indagini in loco. Tuttavia, l'uso di pareti in muratura in scala reale per i test di laboratorio e la recente introduzione di nuovi e promettenti sensori incorporati per monitorare l'umidità in loco contribuiscono a una migliore comprensione di questi sistemi e, a lungo termine, al loro miglioramento e ad una scelta di intervento più consona.

La letteratura scientifica internazionale attualmente disponibile indica che l'efficacia di essiccazione dei sistemi per combattere l'umidità di risalita deve ancora essere completamente chiarita.

Mediante i test nei laboratori è emerso che diversi parametri influenzano il funzionamento delle tecniche contro l'umidità di risalita: la natura e la microstruttura dei materiali da costruzione, la quantità di umidità nei pori, l'umidità relativa dell'aria nell'ambiente circostante, la presenza di sali igroscopici, la temperatura dell'ambiente ecc.

Inoltre, la complessità degli edifici storici in muratura rende molto difficile valutare l'efficacia dei sistemi di riparazione in loco. La difficoltà di eseguire un monitoraggio accurato e affidabile delle pareti in muratura reale è un ulteriore aspetto da considerare nei rilievi.

Tuttavia, l'uso di pareti in muratura in scala reale per effettuare i test di laboratorio e la recente introduzione di nuovi e promettenti sensori incorporati per monitorare l'umidità

in loco possono contribuire a una migliore comprensione di questi sistemi e, a lungo termine, portare ad un loro miglioramento. Ogni sistema risolutivo contro l'umidità di risalita ha i suoi pro e i suoi contro, bisogna valutare tramite un'attenta analisi quali siano i più idonei a soddisfare le esigenze del caso studio in oggetto, quindi l'approccio risolutivo che si propone è una valutazione caso per caso, dove un'attenta analisi in loco, il rilievo materico, la conoscenza evolutiva della fabbrica e il monitoraggio del microclima risultano caratteristiche determinanti e fondamentali per decidere quale risoluzione prediligere.

### 6.3 Normative di riferimento

Vediamo brevemente la normative<sup>i</sup> da tenere in considerazione nel momento in cui ci si approccia a risolvere fenomeni di degrado.

Nel 1979 venne istituita, su iniziativa dell'Istituto Centrale per il Restauro (ICR) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), la **Commissione Normal** (Normativa Manufatti Lapidei) con lo scopo di redigere metodi unificati per lo studio delle alterazioni dei materiali lapidei e per il controllo dell'efficacia dei trattamenti conservativi di manufatti di interesse storico-artistico.

Con il termine "materiale lapideo" vengono sempre intesi oltre che i marmi e le pietre propriamente detti, anche gli stucchi, le malte, gli intonaci, e i prodotti ceramici impiegati in architettura, quindi laterizi e cotti.

Le raccomandazioni NorMaL (redatte dalla commissione Normal) sono documenti che definiscono le metodologie unificate per lo studio delle alterazioni dei materiali lapidei e per la valutazione dell'efficacia dei trattamenti conservativi su manufatti di interesse storico artistico; mentre le norme UNI (redatte dalla commissione Beni Culturali-NorMaL) interessano esclusivamente il settore dei beni culturali. Le norme UNI EN servono ad uniformare

la normativa tecnica in tutta Europa, quindi le norme presenti sul suolo italiano devono per forza essere in armonia con queste.

La norma **UNI 11182-2006**, sostituisce la precedente NORMAL 1/88, è redatta dalla Commissione dei Beni Culturali, e descrive la forma di alterazione dei materiali lapidei naturali ed artificiali, dando termini e definizioni, stabilisce il significato dei termini generali alterazione e degradazione, poi i termini che descrivono i vari fenomeni alterativi e degradativi dei materiali lapidei.

Nella prima parte di questo documento si tratta della conoscenza del materiale lapideo naturale, con la descrizione delle alterazioni macroscopiche, Il documento tratta in ordine le seguenti tematiche:

A. Conoscenza del materiale lapideo naturale: (descrizione delle alterazioni macroscopiche, campionamento e conservazione dei campioni, caratterizzazione mineralogico-petrografica, chimica, morfologica del materiale, caratterizzazione fisica dei materiali lapidei naturali, agenti biologici del degrado)

B. Conoscenza del materiale lapideo artificiale: (Terminologia, descrizione chimico - mineralogico - petrografico - morfologica dei materiali lapidei artificiali, caratterizzazione, caratterizzazione fisica dei materiali lapidei artificiali)

C. Studio dei parametri ambientali (fisici e chimici)

D. Scelta dei metodi conservativi

E. Elementi di conoscenza del manufatto

All'interno della sezione "Caratterizzazione fisica dei materiali lapidei naturali" si ritiene importante citare le seguenti sotto sezioni, particolarmente pertinenti con lo studio del fenomeno di risalita capillare.

#### **NORMAL 4/80: Distribuzione del Volume dei Pori in Funzione del loro Diametro**

Viene descritto il metodo che utilizza la porosimetria a mercurio per determinare sia la porosità totale (porosità aperta integrale) che la distribuzione del volume

dei pori in funzione del loro diametro. Tali misure permettono sia la valutazione del degrado che il controllo degli effetti dei trattamenti conservativi.

#### **NORMAL 7/81: Assorbimento d'Acqua per Immersione Totale**

Indica la capacità di imbibizione. Viene descritto il metodo per la determinazione della capacità di imbibizione, ossia della quantità di acqua assorbita dal materiale per immersione totale in acqua deionizzata a pressione e temperatura ambiente.

In questo modo è possibile valutare la predisposizione del materiale a lasciarsi penetrare e a trattenere un quantitativo di acqua.

#### **NORMAL 29/88: Misura dell'Indice di Ascugamento (Drying Index)**

Viene descritto il metodo per misurare la perdita, per evaporazione, dell'acqua assorbita dal materiale lapideo, in funzione del tempo. La misura viene eseguita sui campioni saturi d'acqua provenienti dalla prova di assorbimento per immersione totale (NORMAL 7/81). Il metodo permette la caratterizzazione del materiale, la valutazione del degrado e degli effetti dei trattamenti conservativi.

Con il 2010 e il 2012 nuove normative vennero introdotte a supporto della precedente, per integrare e tal volta chiarire concetti.

#### **La norma UNI EN 15898:2012**

"Conservazione dei beni culturali – Principali termini generali e definizioni" fornisce una metodologia e dei criteri per il campionamento di materiali di beni culturali per la loro indagine scientifica, ad esempio per caratterizzare il materiale, per valutarne la condizione, determinare le cause o i meccanismi di deterioramento, decidere o valutare i trattamenti di conservazione. Oltre al campionamento, questo documento fornisce anche i requisiti per la documentazione e la manipolazione dei campioni ma senza indicare il modo in cui il campione deve essere utilizzato.

La norma **UNI 11432:2011** "Materiali lapidei naturali ed artificiali – Misura della capacità di assorbimento di acqua

mediante spugna di contatto ICS" che spiega i passaggi da effettuare per misurare l'igroscopicità e le caratteristiche di idrorepellenza.

La norma **UNI EN 15757:2010** "Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici" che sostituisce la UNI 10969 del 2002, prende atto che per ogni materiale esistono specifici intervalli microclimatici, soprattutto in termini di umidità relativa (UR), particolarmente favorevoli alla conservazione, ma nel caso di manufatti acclimatati a un proprio clima storico, questi non possono allontanarsene senza essere esposti a rischio di danno.

La **UNI EN 15758:2010** "Conservazione dei beni culturali - Procedure e strumenti per misurare la temperatura dell'aria e quella della superficie degli oggetti" specifica come va misurata la temperatura dell'aria ai fini conservativi, e soprattutto come va misurata la temperatura della superficie degli oggetti che costituiscono il patrimonio culturale tangibile. Il documento sviluppa in campo europeo i concetti base introdotti dalla UNI 11120, ritirata per evitare sovrapposizioni. La **UNI EN 15758:2010** è un po' più ricca di particolari avendo giovato del più recente progresso della ricerca e della tecnologia e del più vasto contesto europeo: la parte delicata e innovativa sta nel come debba esser rilevata la temperatura della superficie di un bene culturale, qualunque esso sia, senza alcun rischio di danneggiarlo e, possibilmente, senza nemmeno sfiorarlo.

#### **La norma UNI EN 15801:2010**

"Conservazione dei beni culturali – Metodi di prova – Determinazione dell'assorbimento dell'acqua per capillarità" descrive un metodo per determinare l'assorbimento d'acqua per capillarità di materiali inorganici porosi utilizzati e che costituiscono beni culturali.

**UNI EN 15802:2010** "Conservazione dei beni culturali – Metodi di prova – Determinazione dell'angolo di contatto statico" specifica un metodo per la

<sup>i</sup> F. La Regina, *Il restauro dell'architettura, l'architettura del restauro*, Liguori, 2005

misurazione dell'angolo di contatto statico di una goccia d'acqua su materiali inorganici porosi utilizzati per, e che costituiscono, i beni culturali. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi sia non trattati che sottoposti a qualsiasi trattamento o invecchiamento.

**UNI EN 15803:2010** “Conservazione dei beni culturali – Metodi di prova – Determinazione della permeabilità al vapore d’acqua” specifica un metodo per determinare la permeabilità al vapore d’acqua (WVP) di materiali inorganici porosi utilizzati per, e che costituiscono, i beni culturali. Il metodo può essere applicato a materiali inorganici porosi sia non trattati che sottoposti a qualsiasi trattamento o invecchiamento.

**UNI EN 16085:2012** questa norma europea fornisce una metodologia e criteri per il campionamento di materiali di proprietà culturale per la loro indagine scientifica, ad esempio per caratterizzare il materiale, valutare la condizione, determinare le cause e i meccanismi di deterioramento, decidere i trattamenti di conservazione. Oltre al campionamento, questo documento fornisce anche i requisiti per la documentazione e la manipolazione dei campioni.

**EN 16682:2017** “Conservazione del patrimonio culturale. Metodi di misurazione del contenuto di umidità, o contenuto d'acqua, in materiali che costituiscono patrimonio culturale immobile”, informa e assiste gli utenti nella scelta e nell'utilizzo delle metodologie più appropriate per ottenere misurazioni affidabili del contenuto di umidità nel legno e nella muratura (inclusi muratura, pietra, cemento, gesso, malte, ecc.) nel caso specifico del patrimonio.

Le normative specifiche sugli interventi e la verifica dello stato di conservazione del patrimonio edilizio fanno riferimento al Testo Unico edilizia, aggiornato con L. 156/2019 dove vengono chiarite le definizioni di restauro e risanamento conservativo e all'aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» del 17 gennaio 2018, in cui vengono fornite

le definizioni dei parametri meccanici delle murature, con le varie verifiche di esercizio e sicurezza.

La crescente richiesta di istruzioni per l'attività del restauro architettonico ed ambientale deriva dal dilatarsi degli interventi sul costruito, alla scala edilizia come a quella urbana, e dalla correlativa esigenza di definire i fondamenti teorici, i criteri metodologici e le procedure tecnico-esecutive della progettazione e della esecuzione dei lavori a compiersi. Questa richiesta è altresì affiancata dal maggiore interesse per le risorse del passato, punto di fondamentale importanza per una nazione come l'Italia in cui il patrimonio architettonico offre una così ingente risorsa, sviluppando così una sensibilità crescente per le opere architettoniche, per la loro salvaguardia e conservazione come nel caso del mulino di Borgo Cornalese.

## 6.4 Monitoraggio dell'umidità nella muratura

---

L'analisi igrotermica è diventata fondamentale nella progettazione degli edifici poiché i danni causati dall'umidità sono diventati una delle cause del deterioramento principali dell'involucro edilizio.

L'acqua e l'umidità, come già sottolineato, possono causare danni strutturali, ridurre la resistenza termica, modificare le proprietà fisiche e deformare i materiali da costruzione.

Nel nostro caso specifico il monitoraggio avviene su una muratura già esistente, a cui si suppone sia stato effettuato un intervento per rimediare ai fenomeni di umidità, quindi l'applicazione del sistema di monitoraggio serve per verificare la riuscita o meno dell'intervento e per mantenere gli standard raggiunti inalterati nel tempo.

I sistemi per la misurazione dell'umidità si classificano in due categorie: metodologie **qualitative** e metodologie **quantitative**. Nel primo metodo si determina l'assenza o presenza dell'umidità e la relativa concentrazione, nel secondo approccio si misura esattamente il quantitativo di umidità presente nel campione.

Sono da preferire le metodologie non invasive e che operino nel totale rispetto della muratura, soprattutto nell'ambito del restauro architettonico dei beni del patrimonio.

La normativa a cui si fa riferimento per valutare l'efficacia di un trattamento protettivo, come nel nostro caso specifico, è disciplinata dalla norma **UNI EN 15898:2019**, pubblicata nel dicembre del 2019, definisce i principali termini generali utilizzati nel campo della conservazione dei beni culturali.

### 6.4.1 Il monitoraggio termografico

Si tratta di un metodo non distruttivo, qualitativo, che si serve di una termocamera per registrare l'intensità della radiazione di un corpo nero emessa da ogni oggetto fisico in relazione alla propria temperatura, e - di conseguenza - del grado di umidità. I risultati sono di estrema precisione, e cosa di fondamentale importanza non sono distruttivi.

La radiazione ad infrarosso emessa dal corpo in esame, attraverso la misurazione dell'intensità, consente di rilevare la temperatura. Tutti i materiali emettono energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche poiché hanno calore specifico e conducibilità termica. L'indagine termografica può essere condotta con due differenti metodologie: in maniera passiva, se per misurare le radiazioni infrarosse la superficie interessata non viene manipolata ma si registrano i cicli termici naturali (l'insolazione e il successivo raffreddamento giornaliero), oppure in maniera attiva, se si procede inondando la superficie in oggetto di calore, tramite termoconvettori o lampade ad infrarossi, per poi spegnere la fonte di calore e acquisire le immagini termografiche durante il successivo raffreddamento.

La risultante di questi processi è un'immagine grafica a cui ogni colore o tono della scala di grigi corrisponde un dato intervallo di temperatura.

Questa metodologia è regolata dalla norma UNI EN 16714-1:2016, "Prove non distruttive-Prove termografiche".

#### VANTAGGI E SVANTAGGI

Il principale vantaggio di questo approccio è che la termocamera permette di avere controlli non distruttivi, e consente il normale svolgimento delle attività all'interno della struttura su cui è svolta l'analisi termografica. Inoltre questa

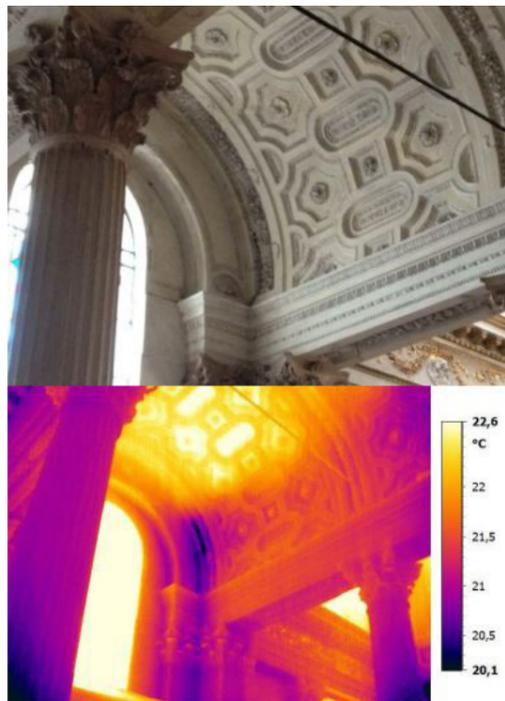


Figura 19: Analisi svolte nel Duomo di Mantova, durante uno studio effettuato in loco per monitorare il microclima

tecnica permette l'analisi di superfici molto ampie, a differenza di altre tecniche che forniscono solo dati puntuali.

Il principale svantaggio è che si tratta di un'analisi che non individua in maniera localizzata la fonte del problema, infatti indaga in maniera qualitativa l'umidità, senza rivelare nulla sul quantitativo presente, inoltre le condizioni climatiche e del microclima possono incidere sui risultati alterandoli, come mostrato nei recenti studi effettuati sul Duomo di Mantova e nella tomba romana nella necropoli di Cagliari.

i Rosina, E., Romoli, E., Pili, A., Suma, M., *LESSON LEARNED ON MONITORING CULTURAL HERITAGE AT RISK UNDER CLIMATE CHANGES: STRATEGY, TECHNIQUES AND RESULTS*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», Volume XLII-2/W11, 2019 GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, pp. Milano, 2019

### 6.4.2 Il metodo gravimetrico o ponderale

Si tratta di un metodo quantitativo e invasivo in quanto prevede di estrarre fisicamente un campione dal substrato in oggetto di analisi per effettuare delle misurazioni. Nello specifico, viene pesato il campione in laboratorio subito dopo il prelievo, e viene pesato successivamente all'essiccamento del campione tramite l'utilizzo di stufe che hanno lo scopo di rimuovere tutta l'umidità intrisa, con una temperatura compresa tra i 70 e i 105 °C.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI

I vantaggi del metodo risiedono nell'attendibilità quantitativa dei risultati, la capacità di effettuare l'analisi indipendentemente dal contenuto dei sali, la possibilità di effettuare analisi sia superficiali che in profondità, la possibilità di misurare a profondità differenti lo stato di umidità, la possibilità di localizzare l'analisi e il costo economico piuttosto contenuto.

Quello che penalizza questa tipologia di intervento è l'invasività e la distruttività del metodo, in quanto è necessario effettuare delle campionature, prelevando molteplici campioni sia per la ripetibilità del dato che per avere dei dati rappresentativi dell'intera struttura. Inoltre è richiesta una cura in fase di campionatura (evitando di surriscaldare la parete, e quindi far evaporare l'umidità durante il prelievo) e nello stoccaggio e conservazione dei provini prelevati prima dell'analisi; infine, l'accuratezza della risposta dipende essenzialmente dalle tecniche di essiccamento e della cura con cui vengono realizzate. Il meccanismo distruttivo impedisce di utilizzare questa metodologia nelle architetture di rilievo.

### 6.4.3 Monitoraggio tramite termoigrometro digitale

Metodo non invasivo, che utilizza un termoigrometro digitale per misurare la temperatura e l'umidità, si tratta di uno strumento portatile dotato di sonde intercambiabili che rilevano l'umidità mediante il contatto. Per effettuare la misurazione è richiesto semplicemente di posizionare il termoigrometro sull'interfaccia interessata, consentendo una rapida risposta in loco.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI

La risposta rapida del termoigrometro digitale consente di velocizzare le analisi, la facilità e la leggerezza dello strumento consentono un maggiore impiego di questo approccio.

È un metodo non distruttivo ma i dati che ci fornisce sono approssimativi, in quanto la risposta è ostacolata dallo spessore murario e dallo stesso strato di intonaco.

### 6.4.4 Prove soniche

Metodologia di monitoraggio non distruttiva di tipo indiretto, si basa sulla generazione di onde elastiche compresse all'interno delle frequenze soniche, generate da impulsi meccanici. Permette di valutare l'omogeneità dell'elemento strutturale, analizzare modificazioni delle proprietà dei materiali a causa dei degradi, analizzare i difetti strutturali (come cavità o strati danneggiati) e di stimare la grandezza della resistenza. Questa indagine è normata da UNI EN 12504-4 UNI 2005 e la frequenza del segnale trasmesso dai trasduttori deve essere compresa tra i 10 kHz ed i 200 kHz. L'onda acustica è generata da un martello che si scontra contro la superficie di prova. Successivamente viene misurato il tempo e la velocità di attraversamento dell'impulso nella muratura.

Il principio su cui si basano queste misurazioni sono: l'omogeneità e l'isotropia del materiale e la risposta elastica lineare che fornisce il materiale. La strumentazione richiede un generatore impulsivo di onde elastiche (ovvero un martelletto strumentato) e di un ricevitore (un accelerometro). Queste due strumentazioni sono connesse una centralina, dedicata all'amplificazione delle onde, che a sua volta è connessa a un computer per l'acquisizione delle risposte.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI

Risultano essere tra le tecniche attualmente più utilizzate, permettono di monitorare con buona precisione le caratteristiche della muratura successivamente a interventi mirati al consolidamento della stessa, permettono di verificare i cambiamenti fisici dei materiali e di individuare la presenza di vuoti, degradi o difetti. Sono prove che si svolgono in loco, ma sono richiesti tre operatori, ognuno per le tre macchine utilizzate nella misurazione (generatore di impulsi, il ricevitore e il computer per l'archiviazione dei dati).

Sono prove qualitative, infatti la velocità dell'onda non consente una lettura quantitativa perché non può essere collegata alle proprietà meccaniche a causa dell'assunzione dogmatica dei principi su cui si basano le misurazioni (omogeneità e isotropia del materiale). Forniscono dati qualitativi sulle caratteristiche elastiche del materiale analizzato, ma informazioni quantitative sulla variazione delle caratteristiche elastiche tra punti diversi della struttura.

L'efficienza viene raggiunta accostando a questo metodo il prelievo in loco di campioni tramite il metodo ponderale, prove distruttive e che ci rimanderebbero nuovamente a riproporre le conclusioni sopraccitate.

#### 6.4.5 Monitoraggio tramite georadar

Metodo non invasivo, che utilizza anch'esso delle onde, che in questo caso sono onde elettromagnetiche. È un sistema complesso, tecnologicamente avanzato che indaga in maniera geofisica il sottosuolo, in profondità moderate, utilizzando impulsi elettromagnetici con alta frequenza, si misura la tempistica di ritorno del segnale emesso, che viene riflesso da discontinuità intercettate dall'onda stessa, nel momento in cui si "scontra" con materiali che presenta una differente costante dielettrica o conducibilità, determinate dal contenuto dell'acqua.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI

Prima di utilizzare questo metodo devono essere svolte le tarature strumentali, poiché la scelta del tipo di segnale elettromagnetico permette di indagare risultati differenti, se si utilizzano antenne ad alta frequenza si riscontrano piccole anomalie poco profonde invece se si impiegano antenne con bassa frequenza si avrà un riscontro che evidenzia dissesti più accentuati ed estesi.

Per una buona riuscita dell'intervento è fondamentale svolgere le analisi in più direzioni, solitamente due ed ortogonali tra loro.

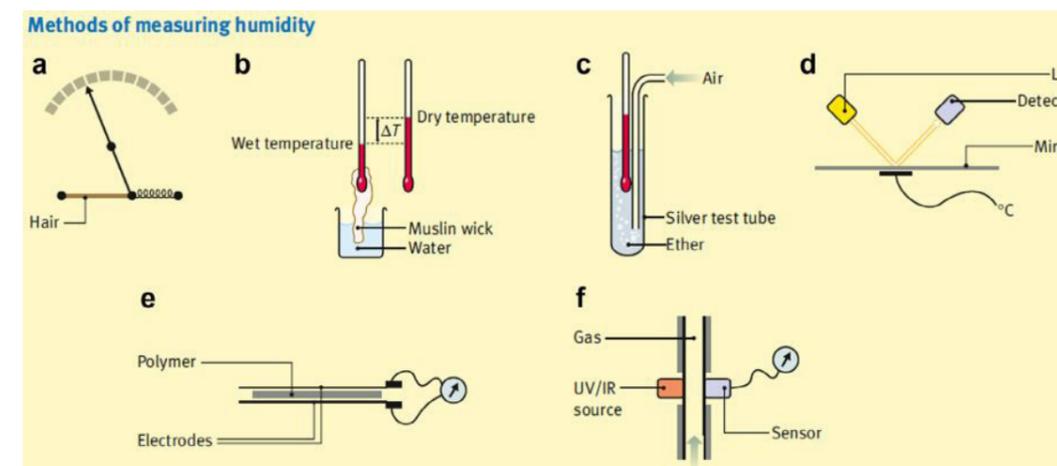


Figura 20: Sistemi di misurazione dell'umidità; a: igrometro a capello; b: psicrometro a bulbo umido e secco; c: Igrometro di Regnault; d: igrometro a specchio refrigerato; e: igrometro polimerico sfuso; f: igrometro ad assorbimento ottico; da L. Alwis, T. Sun, K. T. V. Grattan, *Optical fibre-based sensor technology for humidity and moisture measurement: Review of recent progress*, 2013

#### 6.4.6 Monitoraggio tramite fibre ottiche

Si tratta di un metodo all'avanguardia che consente la creazione di diversi tipi di sensori di umidità e tecniche di misurazione sul campo, in base alle diverse esigenze del substrato.

I vantaggi che offre questo innovativo metodo di analisi sono molteplici; in particolare offrono un'ampia gamma di sensori tra cui scegliere, per adattare il sensore e la sua risposta a un'applicazione specifica e quindi per consentire la massima flessibilità.

La scelta dovrà basarsi quindi sulla sensibilità richiesta, livello di precisione o accuratezza da soddisfare, tempo di risposta, intervallo di umidità da analizzare, riproducibilità dei dati, durata, intervallo di temperatura, sensibilità ad eventuali formulati chimici, integrità strutturale, facilità d'uso e, ovviamente, il costo.

Lo svantaggio dell'utilizzo di sensori elettrici è spesso la loro suscettibilità alle interferenze elettromagnetiche, la sensibilità incrociata e la loro incapacità ad essere impiegati in ambienti pericolosi, nonché la problematica del diventare e rimanere "bagnati" durante l'uso, causando così errori nelle letture, con un'alta percentuale di errore.

Al contrario, le fibre ottiche possiedono una serie di vantaggi rispetto ai convenzionali sensori elettronici in generale, come l'immunità alle interferenze elettromagnetiche, l'inerzia chimica, il leggero peso e la loro massa estremamente ridotta (che facilita l'essiccamento dopo l'uso), la capacità di multiplexing, l'elevata stabilità termica e la capacità di telerilevamento, che li rendono adatti a diverse applicazioni riuscendo a fornire risposte attendibili laddove i metodi tradizionali risulterebbero inefficaci.

#### VANTAGGI E SVANTAGGI

I vantaggi maggiori che apporta questa tecnologia è la possibilità di scegliere il dispositivo ottimale sulla base delle specifiche richieste dell'utente. Lo svantaggio principale è il loro costo e la loro scarsa diffusione sul mercato.

### 6.4.7 Monitoraggio tramite l'utilizzo di nanosensori

Si tratta di sensori miniaturizzati che rispondono alla necessità di tenere costantemente sotto controllo i manufatti del patrimonio storico e artistico. Oltre alle valutazioni periodiche e alle indagini del microclima esistono un numero quantitativo di parametri che possono costantemente essere monitorati.

I fattori principali che scaturiscono i degni dipendono principalmente dalla composizione chimica del materiale che compone il manufatto, oltre a questo fondamentale punto di partenza vi sono altri parametri che concorrono all'aumento del degrado di tutti i materiali, questi parametri sono: la temperatura, l'umidità relativa, il particolato e i microrganismi.

I nanosensori sono stati sviluppati in quest'ottica di monitoraggio continuo di quei parametri che, indipendentemente dal materiale, concorrono tutti alla generazione di degrado.

Le caratteristiche richieste per la genesi di questi sensori sono: la stabilità e la robustezza, l'elevata sensibilità, il funzionamento senza contatto, risposta e tempistiche di recupero relativamente veloci, una dimensione molto piccola, non invasiva, la necessità di avere un prezzo basso e con bassa potenza operativa.

Il loro punto di forza maggiore risiede nella loro dimensione miniaturizzata, il che consente un posizionamento particolarmente ravvicinato sull'oggetto, senza disturbare i fruitori, ma anche nella loro sensibilità e il non impiego di sorgenti elettriche.

La continua ricerca nell'ambito dei nanomateriali, ha portato a risultati positivi nel campo dei nanosensori avanzando ottimi risultati come sensori biologici, per gas e chimici basati su nanostrutture.

*“I materiali utilizzati includono una vasta gamma di nanomateriali compresi nanoparticelle, quantum dots, nanotubi di carbonio, grafene, nanostrutture a stampo molecolare, strutture di nanometalli,*

*strutture basate sul DNA, nanomateriali smart, nanosonde, nanomateriali magnetici, ftalocianine e molecole organiche di porfirine per vari applicazioni di rilevamento biologico/gas/chimica”<sup>i</sup>.*

I nanosensori di rilevamento, biologico o rilevamento gas o rilevamento chimici, sono in genere costituiti da **materiali sensibili**, che appunto rispondono alle diverse variazioni siano esse variazioni chimiche, biologiche o gassose e da un **trasduttore** che ha lo scopo di convertire la suddetta variazione in segnali elettrici.

I nanosensori di rilevamento **gas** sono sensibili a: gas tossici, come NO<sub>2</sub> (nitrito), CO (monossido di carbonio), SO<sub>2</sub> (anidride solforosa), NH<sub>3</sub> (ammoniaca), O<sub>3</sub> (ozono) e H<sub>2</sub>S (acido solfidrico), e gas infiammabili come H<sub>2</sub> (idrogeno) CH<sub>4</sub> (metano), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propano), etanolo, acetone, metanolo e propanolo.

I nanosensori di rilevamento **chimico** sono applicabili una gamma più ampia di reattori, poiché reagiscono a sostanze chimiche in fase liquida, come acidi, basi, solventi, composti inorganici agli analiti organici e solventi.

I nanosensori di rilevamento **biologico** sono sensibili a: piattaforme elettrochimiche, fluorescenti, a risonanza plasminica, QCM e microcantilever ma anche a una gamma di componenti presenti negli organismi viventi, come il glucosio, il colesterolo, l'acido urico, il DNA, RNA, cellule di vario tipo, proteine, ecc.

I nanosensori che negli ultimi anni sono stati sviluppati sono nanosensori di temperatura, di agenti inquinanti e di umidità.

<sup>i</sup> Urban, G., *Applications of Nanomaterials in Sensors and Diagnostics, Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors*, n.14, Tuantranont, A., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013

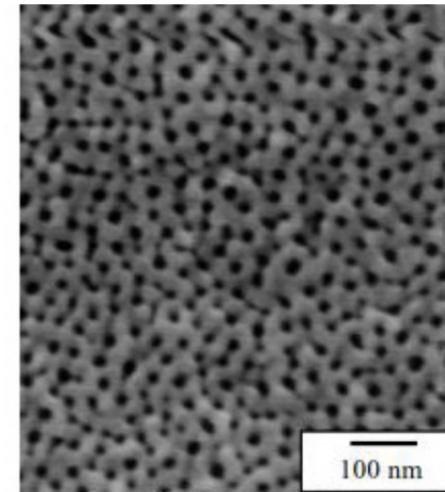


Figura 21: Struttura nanoporosa dell'allumina

#### SENSORE DI ALLUMINA NANOPOROSA

Un nanosensore di umidità è stato proposto da Dickey<sup>i</sup> nel 2002 che si basa sulle dimensioni dei pori costituente il materiale, l'uniformità della risposta della nanoallumina porosa formata su film spessi mediante un processo di anodizzazione<sup>ii</sup>.

Questo sensore ha sviluppato un range di sensibilità all'umidità che va da un'umidità relativa del 20% fino al 90%, con tempistiche di risposta di circa 95 secondi e una dimensione di 13.6 nm<sup>iii</sup>.

Precedenti costatazioni<sup>iv</sup> furono svolte da altri ricercatori quando si scoprirono le proprietà sensibili all'umidità dell'allumina nanoporosa.

La capacità dell'allumina di percepire l'umidità si basa sulla conduzione ionica; la presenza di uno strato di acqua

<sup>i</sup> Dickey, E. C., Varghese, O.K., Ong, K.G., Gong, D., Paulose, M., Grimes, C.A., *Sensors*, 2, 91, 2002

<sup>ii</sup> Si tratta di un processo elettrochimico indotto mediante il quale uno strato di ossido con funzione protettiva viene posizionato sulla superficie del metallo trattato in oggetto e lo protegge da fenomeni di corrosione e ossidazione

<sup>iii</sup> Dickey, E. C., Varghese, O.K., Ong, K.G., Gong, D., Paulose, M., Grimes, C.A., *Room Temperature Ammonia and Humidity Sensing Using Highly Ordered Nanoporous Alumina Films*, «Sensor», pp.92-110, 2002

<sup>iv</sup> Ansbacher, F.; Jason, A. C., *Effects of water vapour on the electrical properties of anodised Aluminum*, *Nature*, 171, pp. 177-178, 1953

assorbito in superficie riduce l'impedenza (grandezza elettrica che misura la facilità con cui una corrente alternata passa in un circuito elettrico) totale del sensore a causa dell'aumento della conduttività ionica.

L'allumina porosa viene prediletta per le applicazioni che prevedono il rilevamento dell'umidità grazie all'elevata capacità di assorbimento dell'acqua.

Sono state svolte numerose ricerche per poter fabbricare allumina con un'ampia distribuzione delle porosità per realizzare sensori di umidità in grado di funzionare su una vasta gamma di risposte. Tuttavia la capacità di riprodurre specifiche distribuzioni porose, delle dimensioni comprese tra 0,1 nm a 100 nm come suggerito dagli sviluppatori di tali tesi, rimane un compito estremamente arduo.

Il film di allumina nanoporosa uniformi realizzati da Dickey e dai suoi collaboratori tramite anodizzazione mostrano che il sensore presenta comunque un ampio spettro di risposta all'umidità, facilmente riproducibile e con parametri che raggiungono buoni risultati. La tecnica di anodizzazione utilizzata crea insieme di pori di allumina auto-organizzati dal materiale di partenza in alluminio.

In queste sperimentazioni per l'anodizzazione venne utilizzato un **nastro di alluminio** con retro adesivo (puro al 99%), mentre un **elettrodo di platino fungeva da catodo**.

Gli elettrodi sono stati posizionati a una distanza di 2 cm, portando a una definizione finale del sensore con dimensioni di circa 2 cm × 2 cm.

A seguito del processo di anodizzazione, si ottiene con successo il film di allumina nanoporosa.

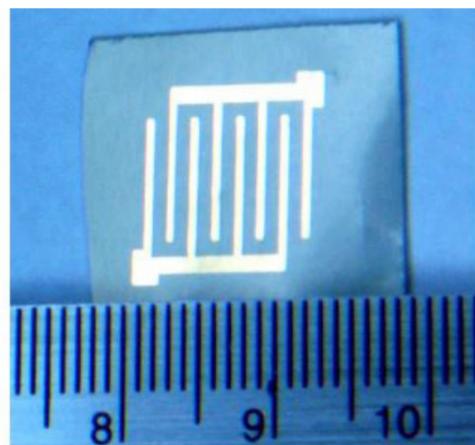


Figura 22: Sensore di allumina nanoporosa dalle dimensioni di circa 2 cm x 2 cm, realizzato dalle sperimentazioni di Dickey e collaboratori, 2002

### NANOSENSORI SU MEMBRANE POROSE POLIMERICHE

(policarbonato, acetato di cellulosa e poliestere)

Negli anni successivi si sono susseguite ulteriori investigazioni<sup>i</sup> nel campo e altri sensori sono stati messi a punto e commercializzati. Sono i sensori realizzati specificatamente a basso costo, con tempistiche richieste dai 4 agli 8 minuti, ma con variazioni di umidità relativa dal 39% al 100%, in condizioni di temperatura ambiente.

Gli studi effettuati da Yang, B., Aksak, B. e dai loro collaboratori hanno portato alla produzione di nanosensori di umidità conformi e a basso costo che utilizzano membrane in questo caso polimeriche nanoporose, come il policarbonato, l'acetato di cellulosa e le membrane di nylon.

Il nanosensore contiene una coppia di elettrodi intrecciati che sono depositati sulle membrane polimeriche nanoporose. La resistenza o la capacità di questi elettrodi varia al variare dei livelli di umidità con una sensibilità molto elevata dovuta all'assorbimento dell'acqua (dettata dalla caratteristica capillare intrinseca della

<sup>i</sup> Yang, B., Aksak, B., Lin, Q., Sitti, M., *Compliant and low-cost humidity nanosensors using nanoporous polymer membranes*, «Sensor Actuat B: Chemical», 114, pp. 254-262, 2006

superficie porosa) all'interno dei nanopori. I sensori proposti sono a basso costo sia nel materiale utilizzato, facilmente reperibile sul mercato, che nella loro fabbricazione.

I risultati di questi studi hanno mostrato l'effettiva fattibilità e commercializzazione di questi nanosensori conformi e costo che utilizzano membrane polimeriche nanoporose.

In base al principio di rilevamento utilizzato, i sensori di umidità più comuni si distinguono in: sensori di umidità **resistivi** e sensori di umidità **capacitivi**.

-I sensori di umidità resistivi di solito sono costituiti da un elettrodo metallico intrecciato localizzato su un substrato sensibile all'umidità come la ceramica porosa.

-I sensori di umidità capacitivi si basano su materiali non conduttori, che costituiscono il dielettrico di un condensatore. La costante dielettrica del film cambia mentre assorbe il vapore acqueo, variando in proporzione alle variazioni di umidità relativa.

A seconda dei livelli di umidità relativa dell'ambiente in cui verrà utilizzato il nanosensore, la dimensione dei pori può essere determinata in modo tale da fornire la massima sensibilità per l'intervallo operativo.

In questi studi le membrane porose a **base polimerica** utilizzate per sviluppare le prestazioni dei sensori sono: Membrane in policarbonato (PC), acetato di cellulosa (CA) e poliestere (nylon), tutti questi materiali sono disponibili in commercio come membrane circolari sottili ed economiche di 25 mm di diametro. Le membrane PC, CA e nylon hanno una dimensione dei pori rispettivamente di 200, 200 e 100 nm.

La capacità di una membrana porosa di rilevare l'umidità si basa sulla conduzione ionica, la presenza di uno strato di acqua assorbito in superficie riduce l'impedenza

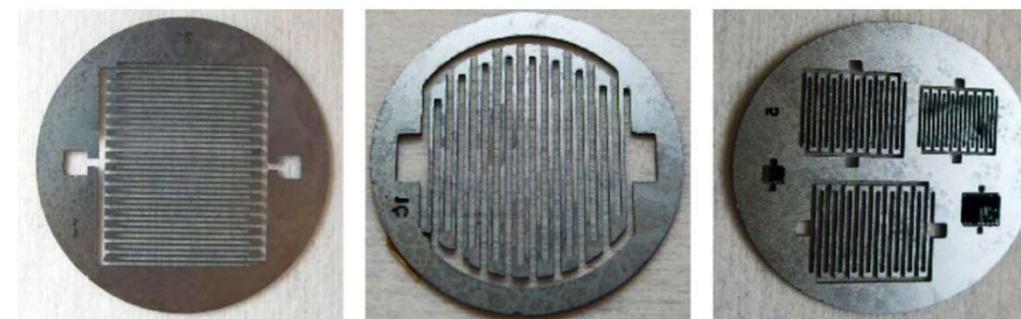


Figura 23: Maschere di ritaglio in silicone con modelli di elettrodi fabbricati mediante il processo RIE: il design sperimentato è diverso per confrontarne le prestazioni, ciascuna maschera di ritaglio presenta un diametro di 26 mm

totale del sensore dovuta all'aumento della conduttività ionica, nonché la capacità dovuta all'elevata costante dielettrica dell'acqua.

Il meccanismo del sensore allocato sulla membrana porosa risiede negli elettrodi metallici intrecciati.

Sono stati realizzati e messi a confronto cinque modelli di sensori con design differente, infatti modificando la lunghezza dei singoli elettrodi, il numero delle coppie di elettrodi e lo spazio tra questi, è possibile ottimizzare le prestazioni del sensore. La forma circolare conferita a un sensore consente il massimo utilizzo dell'area di rilevamento in una singola membrana rispetto ad altri design.

Se la distanza tra gli elettrodi o la larghezza degli elettrodi è eccessivamente ridotta, la fabbricazione del sensore sarà difficile e potrebbe provocare un cortocircuito tra i due elettrodi adiacenti.

Esistono due metodologie per la fabbricazione dei nanosensori:

1. Primo metodo: consiste nell'utilizzare una carta adesiva o una confezione di gel appiccicoso come maschera lift-off a secco.

Il modello viene disegnato tramite un software CAD (CorelDraw10), successivamente vengono stampati sulla carta adesiva o sulla confezione di gel tramite una stampante per ufficio. Dopodiché i modelli degli elettrodi vengono tagliati con cura con un coltello e

rimossi. Pertanto, si ottiene una maschera di separazione circolare con modelli di elettrodi cavi. Poi questa maschera di ritaglio appena creata viene attaccata alla membrana adibita al rilevamento. Il passaggio successivo prevede di spruzzare (attraverso la polverizzazione catodica<sup>i</sup> o sputtering) gli elettrodi (5 nm Ti/100 nm Au) per poi rimuovere manualmente la maschera tramite una pinzetta, lasciando solo il modello degli elettrodi. L'intero processo di fabbricazione richiede solo diverse ore.

<sup>i</sup> Processo che prevede un'emissione di atomi, ioni o frammenti molecolari su un materiale solido detto bersaglio che viene bombardato con un fascio di particelle energetiche (generalmente ioni).

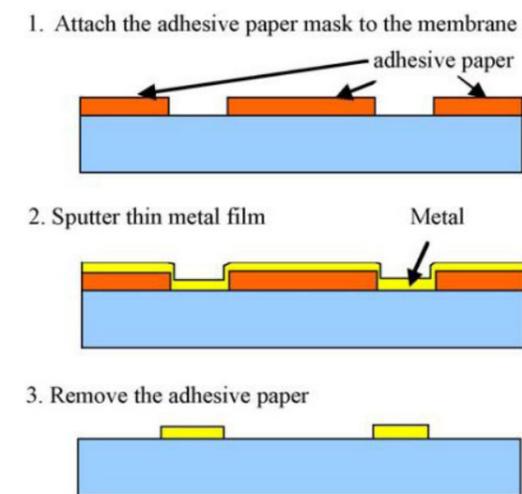


Figura 24: Processo schematico di fabbricazione dei nanosensori di umidità utilizzando carta adesiva o gel come maschera di ritaglio

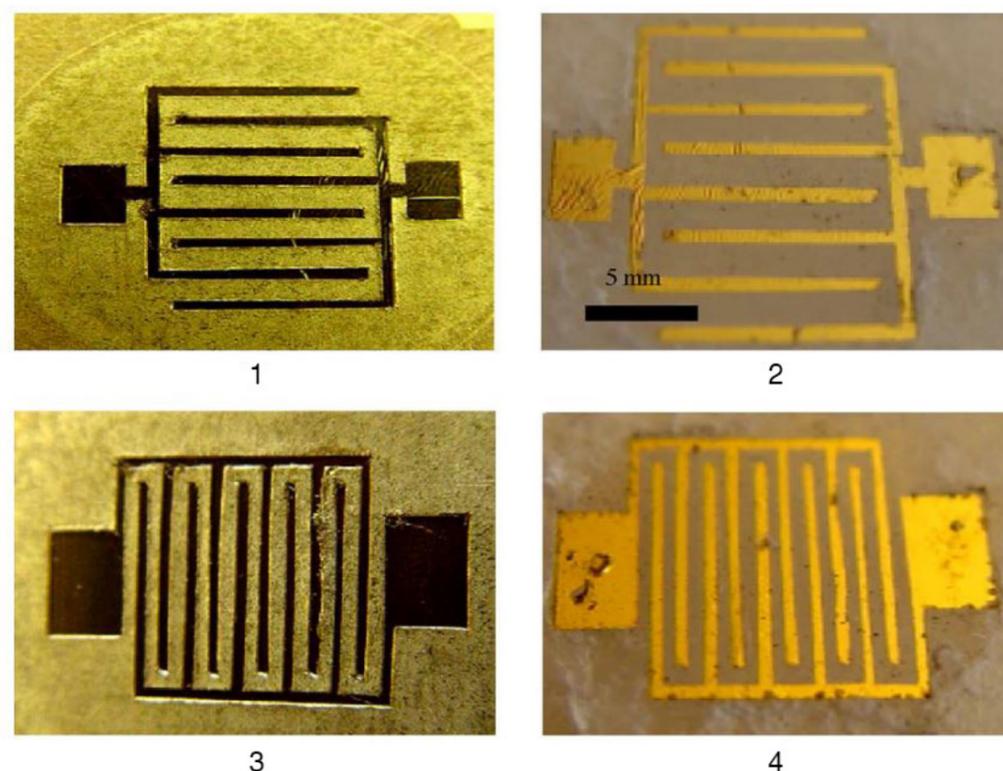


Figura 25: Foto dei due sensori di umidità fabbricati su membrane in policarbonato con maschere di carta adesiva: (1) sensore di design A dopo lo "sputtering" prima di rimuovere la maschera di carta, (2) dispositivo di "design A" dopo aver rimosso la maschera di carta, (3) sensore di design B dopo lo "sputtering", (4) sensore di design B una volta rimossa la maschera

2. Secondo metodo: vengono impiegati modelli di silicio microfabbricato come maschera di ritaglio. Quindi gli elettrodi intrecciati vengono creati spruzzando attraverso la maschera sulla membrana polimerica. Per preparare modelli di silicio, viene utilizzata la fotolitografia convenzionale tramite un'incisione di ioni reattivi profondi (processo DRIE-Deep reactive-ion etching). Si utilizza una stampante commerciale ad alta risoluzione (3600 dpi) per stampare i modelli degli elettrodi su una pellicola trasparente. Ci vogliono circa 6 ore per incidere in profondità la lastra di silicio spessa 500  $\mu\text{m}$ . Quindi, la maschera di silicio è stata applicata saldamente sulla membrana polimerica e l'oro viene spruzzato sulla membrana con il "K.J. Lesker Sputtering machine" (polverizzazione catodica) per fabbricare gli elettrodi.

Per la produzione della maschera di ritaglio, il silicio offre prestazioni superiori rispetto alla carta adesiva e alle maschere in gel, poiché le dimensioni dell'elettrodo possono essere rese molto più piccole e sono riutilizzabili; infatti la stessa maschera di ritaglio in silicio viene utilizzata per fabbricare sensori su membrane diverse per più volte mantenendo ottime condizioni.

Una volta ottenute le maschere di ritaglio in silicio, si possono fabbricare decine di sensori entro diverse ore senza la necessità di alcun laboratorio chimico. Pertanto, i nanosensori di umidità proposti hanno il potenziale per competere con altri sensori in termini di fabbricazione rapida e a basso costo.

I risultati degli esperimenti hanno dimostrato che la resistenza del nanosensore dipende fortemente dal metodo di fabbricazione e

dal suo confezionamento.

Durante la polverizzazione catodica (sputtering) dell'elettrodo, l'oro può passare sotto la maschera d'ombra in silicone, il che può modificare in modo significativo la resistenza complessiva del sensore.

### NANOSENSORE IBRIDO

Più recentemente un altro sensore<sup>1</sup> viene proposto nel 2010 con le dimensioni di 100-300 nm, costituito da un film sottile di un materiale ibrido composto da ossido di polietilene (PEO-composto organico) e dal cloruro di cobalto ( $\text{CoCl}_2$ -composto organico); il suo funzionamento si basa sulle variazioni indotte dall'assorbimento del sale inorganico, dove la componente organica viene utilizzata per indicare a livello colorimetrico l'umidità secondo la complessazione della cromia delle molecole di acqua di questo componente. Il cloruro di cobalto infatti muta colorazione in base all'assorbimento del quantitativo di acqua, variando da una tinta blu con dimensioni comprese tra i 550 e 710 nm dove la propensione all'assorbimento è estremamente elevata, mentre il materiale completamente idratato,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , si presenta di tono rosa con dimensioni nell'intervallo di 410-550 nm ed è debolmente assorbente. Le variazioni cromatiche del materiale ibrido utilizzato sono la rappresentazione diretta della presenza dell'umidità su scala colorimetrica.

### VANTAGGI E SVANTAGGI

I vantaggi dei nanosensori risiedono, come già detto, nelle loro dimensioni, nel loro peso specifico, nella loro immunità a onde elettromagnetiche e alla corrosione. Offrono la possibilità di effettuare il monitoraggio da remoto. Inoltre sono

stati effettuati studi per poter produrre nanosensori a basso prezzo, con elevata efficienza.

### 6.5 Proposta intervento materico nel caso studio del Mulino di Borgo Cornalese

Nello specifico del nostro caso studio i lavori per rimettere a nuovo l'edificio sono molteplici.

Ci concentriamo sulle maniche seicentesche su cui è stata svolta l'analisi materica e dei degradi, che sono le sale più longeve e con caratteristiche architettoniche degne di nota, poiché al suo interno contengono le volte a vela poggianti sulle colonne centrali di pietra come precedentemente spiegato.

Qui le metodologie scelte per contrastare l'umidità di risalita sono due, che combinate simultaneamente offrono risultati discreti. Lo spessore murario dei vani è variabile: nella manica est si oscilla da 53 cm fino ad un massimo di 76 cm, mentre nella manica ovest l'intervallo è compreso tra i 40 e i 51 cm. I mattoni di cui si compongono le maniche si presentano estremamente porosi data la loro longevità.

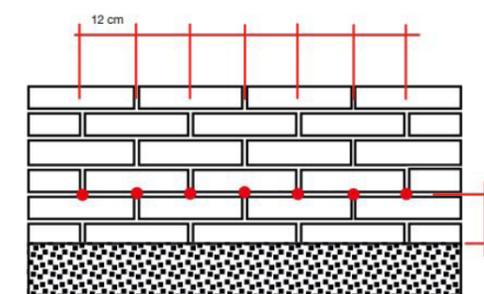


Figura 26: Schema applicativo del prodotto nel caso di una muratura in mattoni, blocchi o pietra regolare

<sup>1</sup> Liu B., Chen, X., Fang, D., Perrone, A., Pispas, S., Vainos, N.A., Alloy Compd, J., 504S, S405, 2010

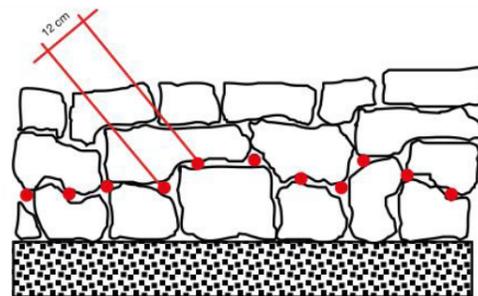


Figura 27: Schema applicativo del prodotto nel caso di un supporto composto da pietre irregolari o pietrisco, i fori dovranno seguire il corso della malta con un andamento il più possibile lineare

### 6.5.1 Prima metodologia applicata: sbarramento chimico contro la risalita capillare

Il primo metodo utilizzato è il sistema di sbarramento con iniezioni di formulati chimici, creme silconiche, introdotte tramite iniezione nella muratura garantendo un'equa distribuzione in tutta la sezione del muro.

I fori vengono realizzati orizzontalmente all'interno del giunto di malta, la punta del trapano da utilizzare ha un diametro di 12/14 mm, mentre la profondità varia in base allo spessore murario, oscillando nella manica est da una profondità di 48 cm fino ad un massimo di 71 cm, mentre nella manica ovest abbiamo una profondità che oscilla tra i 35 e i 46 cm (non viene utilizzata la regola dei 2/3 della muratura per stabilire la profondità del foro ma ci si attiene alle specifiche dettate dalla scheda tecnica del prodotto).

Questi fori sono effettuati a una distanza maggiore di 12 cm da terra e sono distanziati di 12 cm tra loro, all'interno dei quali viene innestata la crema a base di silano<sup>i</sup>, che grazie alla sua consistenza, a differenza degli altri formulati chimici,

<sup>i</sup> Composto chimico (SiH<sub>4</sub>), il più semplice tra i silani, si ottiene facendo reagire il silicio (Si) con l'acido cloridrico a 300 °C con cui si ottiene il triclosilano, SiHCl<sub>3</sub>, che viene bollito su una base resinosa contenente un catalizzatore che promuove il suo disproportionamento a tetracloruro di silicio (3SiCl<sub>4</sub>) e silano (SiH<sub>4</sub>)

ha bassa viscosità e quindi penetra maggiormente nel substrato. L'inclinazione dei fori effettuati nella muratura deve essere compresa tra gli 0° e i 20° (verso il basso).

Successivamente vengono depolverizzati i fori con aria compressa, per rimuovere la polvere e i residui di materiale incoerente, si procede poi con il riempimento dei fori avendo attenzione di lasciare lo spazio necessario per la malta (circa 2 cm).

La crema<sup>ii</sup> scelta per fare queste infiltrazioni (*allego scheda tecnica del prodotto*) è un'emulsione cremosa, a base di silano (monomero per la realizzazione di barriere chimiche) ed è formulata specificatamente per il risanamento di murature esistenti compatte in pietra, mattoni, tufo, calcestruzzo e miste, anche di pregio storico e artistico, o di recente costruzione, interessate dalla presenza di umidità di risalita capillare e sali solubili. La crema viene introdotta per gravità, ovvero a lenta diffusione, tramite appositi diffusori<sup>iii</sup>, prodotti dalla medesima ditta, consentendo una omogenea diffusione del prodotto.

La crema ha un'eccezionale penetrazione e diffusione, e forma una barriera chimica stabile idrorepellente, bloccando la risalita dell'umidità. I principi attivi di Mapestop Cream penetrando all'interno del supporto reagiscono con la silice presente nella muratura creando una barriera idrofobizzante che si espande, bloccando la risalita dell'acqua senza compromettere la traspirabilità della muratura.

La crema combina quindi l'effetto idrofobizzante all'occlusione dei pori, permettendo così una buona riuscita dell'intervento.

Una volta applicato il prodotto vanno stuccati e sigillati i fori, mediante una malta appositamente selezionata.

<sup>ii</sup> MAPESTOP CREAM: è una crema idrofobizzante in forma di gel a base di silano monomero, esente da solventi, pronto all'uso e di facile applicazione, efficace e duraturo nel tempo; è un prodotto MAPEI

<sup>iii</sup> Mapestop Kit Diffusion, prodotto dalla ditta Mapei, appositamente per le barriere chimiche contro umidità di risalita

### STIMA COSTI INTERVENTO-INIEZIONE CHIMICA

Il costo dell'intervento viene calcolato solamente sulle maniche voltate su cui è stata condotta l'analisi dei materiali e dei degradi.

Il consumo dipende dallo spessore della muratura e dalla tipologia di supporto; che nel caso di murature poco compatte con presenza di grossi vuoti, potrebbe essere superiore a quello dichiarato.

Secondo la stima effettuata, come mostrano le seguenti tabelle, devono essere utilizzati 80 flaconi da 600 ml (+2 di margine)<sup>i</sup>

<sup>i</sup> Consumo generale stimato da scheda tecnica del prodotto, vedi allegato pp. 235

	Spessore muro [m]	Lunghezza lineare muro [m]	n. fori da effettuare al m lineare	Profondità del foro [m <sup>3</sup> ]
Muro della manica est	0,55	28,75	230	1,771
Muro della manica est	0,76	8,75	70	0,7546
Muro della manica ovest	0,46	13,20	105	0,6468
Muro della manica ovest	0,40	10,60	84	0,4527
Muro della manica ovest	0,30	4,50	36	0,1384
Muro della manica ovest	0,15	3,70	24	0,0369
Totale m <sup>3</sup> da riempire con il prodotto				3,8005

Tabella 4: Tabella schematica del calcolo delle forature

Descrizione	Unità	Quantità	Costo unitario	Totale
Salsicciotto <sup>i</sup> da 600ml	cad.	82	€ 21,50	€ 1.761,89
Costo manodopera <sup>ii</sup>	h	88	€ 38,90	€ 3.423,20
Totale <sup>iii</sup>				€ 5.185,09

Tabella 5: Stima dei costi per l'applicazione della prima metodologia

<sup>i</sup> Scheda tecnica della Mapestop Cream, vedi allegato a pp. 235

<sup>ii</sup> Prezziario regione Piemonte 2020, codice di riferimento 01.P01.A05.005, Sezione 01: opere edili, pp. 114

<sup>iii</sup> Include pulitura del setto prima dell'intervento, foratura del supporto ogni 12 cm, riempimento del foro con il prodotto, successiva stuccatura e ulteriore pulitura dell'oggetto

## 6.5.2 Seconda metodologia applicata: protettivo superficiale nanostrutturato

Si vuole proporre un intervento innovativo, che al contempo sia sostenibile e a basso impatto ambientale. Tale intervento consiste in un protettivo superficiale nanostrutturato.

È dal primo decennio del XXI secolo che si parla di nanotecnologie per l'architettura, il primo convegno internazionale a cui fare riferimento è il convegno indetto dall'Unità di Palermo nel 2009, dal titolo "Nanotech for Architecture: innovative Technologies, Techniques and nanostructured Materials".

La nanotecnologia è un campo della scienza applicata, dedicato al controllo e alla manipolazione della materia su una scala dimensionale molto piccola, inferiore a un micrometro.

La scala metrica in cui avviene tale manipolazione è un intervallo compreso tra uno e cento nanometri, si studiano le caratteristiche sulla scala nanometrica dei materiali per migliorare le loro caratteristiche fisico chimiche.

La definizione di nanomateriale che la Commissione Europea adottò nel 2011 è stata:

*"Un materiale naturale, casuale o prodotto contenente particelle, in uno stato slegato o come aggregato e dove, per il 50% o più delle particelle nella distribuzione delle grandezze numeriche, una o più dimensioni esterne sono nell'intervallo di grandezza 1 nm – 100 nm. In casi specifici e dove giustificato da preoccupazioni per l'ambiente, la salute, la sicurezza o la competitività la soglia di distribuzione delle grandezze numeriche del 50% può essere sostituita da una soglia tra l'1 e il 50%."*

Alla scala sopracitata la materia si comporta in modo diverso rispetto alla macroscala in cui sono trattati tradizionalmente i materiali, gli oggetti possono modificare di

colore e di forma facilmente, le proprietà come la forza, rapporto superficie-massa, conducibilità ed elasticità possono essere migliorate per creare materiali in grado di offrire prestazioni superiori rispetto a quelle attuali.

*"I nanomateriali hanno il potenziale per migliorare la qualità della vita e contribuire alla competitività industriale in Europa. Tuttavia, i nuovi materiali possono anche comportare rischi per l'ambiente e sollevare problemi di salute e sicurezza. Questi rischi, e in che misura possono essere affrontati dalle misure di valutazione del rischio esistenti nell'UE, sono stati oggetto di numerosi pareri del Comitato scientifico sui rischi sanitari emergenti e recentemente identificati (SCENIHR). La conclusione generale finora è che, anche se i nanomateriali non sono intrinsecamente pericolosi, esiste ancora un'incertezza scientifica sulla sicurezza dei nanomateriali sotto molti aspetti e quindi la valutazione della sicurezza delle sostanze deve essere effettuata caso per caso."*

Le modifiche introdotte da queste tecnologie ai materiali da costruzione e conseguentemente ai processi di realizzazione sono indice delle ingenti innovazioni che possono portare al campo della progettazione.

Nel campo specifico dell'architettura l'avvento delle nanotecnologie interessa l'edificio nella sua totalità, dalla struttura ai rivestimenti, dall'illuminazione alla produzione di energia e, cosa molto importante, viene considerato determinante per l'efficienza energetica degli edifici.

<sup>i</sup> <https://ec.europa.eu/environment/chemicals/nano-tech/>

Le nanotecnologie nell'architettura hanno prodotto risultati come: la creazione di facciate autopulenti, che utilizzano cementi fotocatalitici a base di nano particelle di biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) che favoriscono una rapida decomposizione degli agenti inquinanti; il cambiamento di durabilità del calcestruzzo mediante il riempimento dei pori con nanoparticelle o il miglioramento della sua resistenza mediante l'introduzione di nanotubi di carbonio<sup>i</sup>; la capacità di rendere le superfici ceramiche idrorepellenti, oleorepellenti, anticalcare e antisporcio grazie alla saturazione dei pori del materiale; la capacità di rendere superfici antiscivolo; la capacità di ridurre la corrosione dei metalli, la loro ossidazione e la perdita di luminosità; senza dimenticare la capacità di rendere materiali porosi come pietra e calcestruzzo antigraffiti.

I campi di applicazione sono tra i più svariati, infatti oltre all'architettura e alle superfici porose, sono applicabili anche al mondo degli automezzi, alla cantieristica nautica e aeronautica, divenendo una componente fondamentale per i trattamenti protettivi e idrorepellenti più avanguardistici.

Sempre nell'ambito delle nanotecnologie vanno citati i nuovi isolanti con particelle di nanocellulosa per l'edilizia sostenibile, gli spray fotovoltaici, le nanotecnologie che autoregolano gli elementi costituenti la facciata dinamica modificandosi con il calore, la sperimentazione di calcestruzzi auto-riparanti potenzialmente in grado di aumentare la vita dei componenti strutturali di ben due o tre volte rispetto all'attuale prospettiva riducendo la produzione di cemento, ecc.

Le nanotecnologie applicate alle superfici vetrate permettono la riduzione della perdita di calore nei mesi invernali

<sup>i</sup> Sistemi di facciate auto-pulenti si trovano in diversi edifici come la Chiesa del Giubileo di Richard Meier a Roma, il Marunouchi Building di Hoopkins Architects a Tokio, il Bond Street Apartment Building di Herzog & de Meuron a New York

<sup>ii</sup> F. Scalisi, C. Sposito, *TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE, TRADIZIONE, INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ*, Roma, 2013, pp. 76

e riducono il guadagno di calore nei mesi più caldi grazie all'introduzione di rivestimenti di film-sottili termocromatici, fotocromatici ed elettrocromatici. Ridurre il consumo di energia grazie a questi rivestimenti è un obiettivo comune dato che le emissioni di carbonio della Unione Europea proviene per circa il 70% dalle esigenze di riscaldamento. Gli ambiti a cui possono giovare le nanoparticelle di materia spaziano tra i più distanti, dalla medicina all'aeronautica; ma nell'ambito del restauro e della scienza della conservazione l'impiego di queste micro molecole hanno fornito materiali utili per innovativi trattamenti materici.

Nell'ambito specifico del restauro vengono utilizzate diverse nanoparticelle, in base alla prestazione che si vuole ottenere:

Prodotto	Applicazioni
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ , $\text{Mg}(\text{OH})_2$	Consolidamento di rocce carbonatiche, marmi, malte, etc. tele pittoriche, pitture murali, legno, carta
$\text{Ba}(\text{OH})_2$	Consolidamento di rocce carbonatiche e pitture murali con eliminazione di sali
$\text{Sr}(\text{OH})_2$	Consolidamento con eliminazione dei sali in pietra, pitture murali, rivestimenti in gesso e deacidificazione di pietre carbonati che, malte e ceramiche
Ferrite	Trattamenti di pulitura sulle tele
$\text{SiO}_2$	Consolidamento delle rocce silicatiche, delle malte e delle superfici lapidee
$\text{SiO}_2$ FUNZIONALIZZATA	Coatings in sistemi nano compositi silice-polimero con proprietà biocida, antimicrobiche, autopulente ed idrofobiche
$\text{TiO}_2$ , $\text{MgO}$ , $\text{PdO}$ , $\text{ZnO}$ , $\text{Ag}$	Biocidi
Nanodiamanti	Consolidamento, deacidificazione e pulizia di carte e pergamene antiche con attività biocida
$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	Deacidificazione di carte (anche dipinte)

Tabella 6: Prodotti nanoparticellari impiegati nel restauro del patrimonio, da Progetto NANOCAT, Consorzio interuniversitario nazionale per la scienza e tecnologia dei materiali

Nel caso specifico del nostro studio, in aggiunta alla tecnica tradizionale dello sbarramento chimico precedentemente spiegata per frenare l'umidità delle murature e la risalita capillare, si propone di utilizzare un nanoprotettivo tecnologico a base di silice amorfa funzionalizzata.

Il protettivo utile al nostro caso è il risultato degli studi<sup>i</sup>, e dei loro successivi sviluppi, effettuati sulla composizione molecolare della **foglia di loto**, che hanno generato una serie di materiali idrorepellenti.

Il principio che regola questi materiali idrorepellenti è quello della foglia di loto, appunto, dove le particelle di acqua non vengono trattenute ma scivolano via in goccioline grazie all'alta tensione superficiale presente sulla foglia, trasportando via con sé lo sporco. Questo è possibile, oltre che per l'alta tensione superficiale, grazie al rivestimento di cristalli di cera idrofobica dalle dimensioni nanometriche; in aggiunta la ruvidità della foglia è utile per l'effetto autopulente, permettendo alle gocce di rotolare anziché slittare, rendendo meno efficace l'asporto dello sporco.

I protettivi nanotecnologici che andremo ad analizzare sono Ector RP<sup>ii</sup> -10 e RP-50, prodotti della ditta R&R Group, azienda pionieristica nel settore dei protettivi nanotecnologici.

Si tratta di una formulazione nanotecnologica veicolata da una base d'acqua da utilizzarsi per proteggere pavimentazioni minerali porose come: cotto, pietre arenarie, porose, calcaree, cemento, autobloccanti, tufo, marmo grezzo, fughe, ecc.

Entrambi i prodotti hanno caratteristiche simili ai protettivi per supporti verticali RP-10 e RP-50.

La concentrazione di nano particelle in Ector RP-10/RP-50 è tuttavia più elevata e strutturata per consentire al trattamento di "resistere" alle sollecitazioni più forti a

cui le superfici sono soggette, come per esempio passaggi pedonali utilizzati in modo molto frequentemente, superfici eccessivamente esposte ad agenti atmosferici, ecc.

Il prodotto Ector RP-10 non è impregnante e non crea una pellicola ma trasforma la tensione di superficie da attrattiva a repulsiva.

#### IN CHE MODO AVVIENE QUESTO CAMBIAMENTO DI TENSIONE SUPERFICIALE?

Questo prodotto si compone di **nano particelle di SiO<sub>2</sub> funzionalizzate** con piccole molecole organiche che si dispongono all'interno delle microporosità, caratteristiche dei materiali da costruzione, creando una struttura bi e tridimensionale in scala nanometrica, formando un campo di bassa tensione.

La trasformazione della tensione superficiale da attrattiva a repulsiva, cambia anche l'energia passando da alta a bassa.

Questo passaggio è di fondamentale importanza poiché permette agli agenti inquinanti, tra cui acqua, sporco, muffe e batteri, di non penetrare nel substrato ma di rimanere in superficie, e di essere successivamente asportati e rimossi dalle piogge.

La figura successiva (*Figura 29*) evidenzia l'effetto di tale protettivo: nel primo e nel secondo caso l'angolo di contatto tra la superficie del materiale non trattata (1) o trattata con un prodotto non adeguato (2) ed una goccia di acqua è < 90°, a indicare condizioni di idrofilicità. Nel terzo caso, invece, ottenuto con un protettivo a base di nanosilice funzionalizzata (es. Ector), l'angolo di contatto assume valori > 90°C, pertanto in grado di espletare una funzione idrofobizzante.

<sup>i</sup> G. De Giovanni, *Le nanotecnologie per l'architettura*, pp. 75-87, capitolo su TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE

tradizione, innovazione, sostenibilità, Roma, 2013

<sup>ii</sup> RP: Rivestimento Poroso

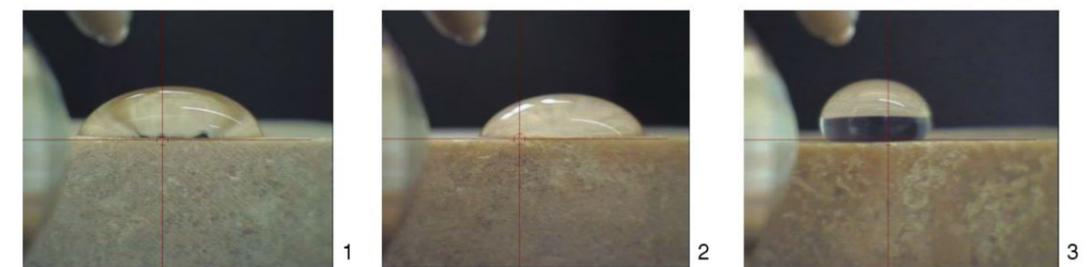


Figura 28: Confronto tra misure di angolo di contatto tra 1) campioni non trattati, 2) campioni trattati con SurfaPore (altro protettivo nanotecnologico posto a confronto con Ector) e 3) campione trattato con il prodotto Ector

#### NANO PARTICELLE DI SiO<sub>2</sub> (BIOSSIDO DI SILICIO)

La nanosilice si mostra come una dispersione colloidale acquosa, dove sono disperse delle sostanze con funzione anti-agglomerante, permettendo la formazione di una carica negativa sulla superficie portando le particelle a respingersi l'un l'altra, garantendo stabilità ed evitando agglomerazioni.

Aumentando il grado di diluizione della soluzione acquosa aumentano le condizioni di stabilità, la nanosilice si presenta come un liquido molto fluido, con un residuo secco del 30%, con la necessità di essere diluito con almeno 1 o 2 parti di acqua, facendo ridurre il contenuto della silice al di sotto del 10%.

Prima pulitura del substrato, le nanoparticelle possono essere applicate per immersione, tramite pennello, a spruzzo o iniettate nelle fessurazioni.

Dopo l'evaporazione della componente acquosa, le particelle si legano creando un gel di silice che può avere più effetti:

- effetto consolidante: si creano ponti tra i granuli decoesi di una pietra o di un intonaco

- creazione di patine: lega le particelle di pigmento sulle superfici lapidee

- realizzazione di malte da stuccature inorganiche: lega inerti di vario tipo tra loro

La formazione del gel di silice è determinato, oltre che dall'evaporazione

della componente acquosa, anche da altri parametri da tenere in considerazione prima di procedere con l'utilizzo: il cambiamento del pH (che addizionato alla calce si cementa improvvisamente), la miscelazione con solventi idrosolubili e addizionando un sale.

Vari sono i processi per sintetizzare le nanoparticelle di silice come: la microemulsione inversa, la sintesi di fiamma e il processo sol-gel.

#### NANO PARTICELLE DI SiO<sub>2</sub> FUNZIONALIZZATE

Le nanoparticelle del biossido di silicio vengono modificate con gruppi organofunzionali, quindi funzionalizzate, per la genesi dei nano composti silice-polimero.

Questi protettivi, grazie alla componente inorganica, sono maggiormente compatibili con il supporto<sup>i</sup>.

Le nanoparticelle vengono funzionalizzate per incrementare l'affinità tra le fasi organiche e inorganiche e migliorare la dispersione delle nanoparticelle nel solvente acquoso.

La funzionalizzazione prevede l'innesto di corte catene organiche, alchiliche o silossaniche, per ottenere

<sup>i</sup> Formia, A., e collaboratori, *Journal of Cultural Heritage*, 2011

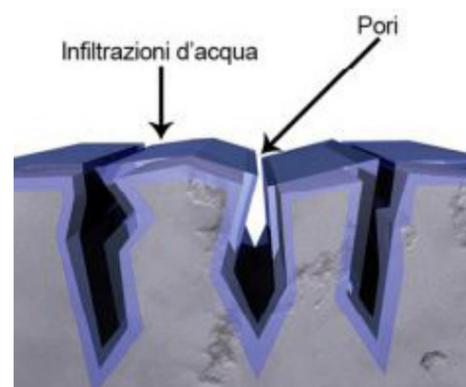


Figura 29: Microporosità di una superficie non trattata soggetta a infiltrazioni d'acqua e sporco

proprietà idrofobiche; al contrario la funzionalizzazione della nanosilice con catene fluorurate indurrà un effetto non solo idrofobico, ma anche oleofobico.

A differenza dei vari protettivi silossanici (che con un litro di prodotto si riesce a coprire una superficie massima di 3 o 4 m<sup>2</sup> di copertura per saturazione) non viene impiegato un eccessivo dosaggio del prodotto, poiché non funziona "a rifiuto" ovvero tramite l'inzeppamento della muratura, procedendo tappando e sigillando il substrato, ma si genera un reticolo di energia superficiale pertanto con un litro di prodotto si riesce a coprire una superficie di 20/25 m<sup>2</sup> a litro.

Le schede tecniche dichiarano che il protettivo sia assolutamente bio, quindi rispettoso per la nostra salute e per l'ambiente, privo di sostanze chimiche nocive ed antibatterico.

Questo sistema permette di lasciare invariata la traspirazione dei materiali porosi, proteggendoli.

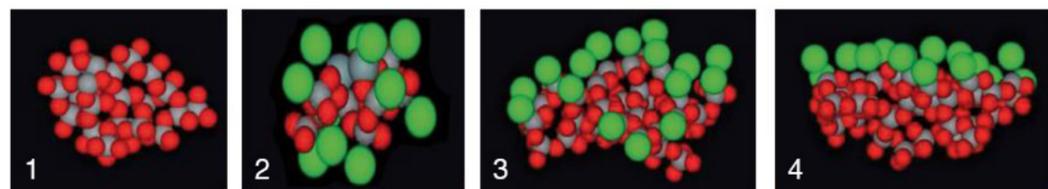


Figura 30: struttura schematica della nanotecnologia: 1) struttura schematica della superficie, 2) struttura schematica con l'applicazione delle nano molecole, 3) il prodotto si sta auto-organizzando con la superficie, 4) grazie all'auto-organizzazione, le nano molecole si dirigono verso l'alto

#### VANTAGGI DEL PRODOTTO PRESCELTO COME PROTETTIVO (ECTOR):

Questo prodotto ha numerosi punti di forza, nel seguito elencati:

- può essere utilizzato per materiali porosi sia interni che esterni, non crea uno strato di pellicola, né sigilla o tappa la superficie ma la lascia completamente traspirante. Questo è dovuto al fatto che è assente una componente polimerica o filmogena, ma l'effetto è dovuto soprattutto alle nanoparticelle di silice;
- il prodotto garantisce una buona adesione alla superficie da trattare. Di nuovo, questo effetto è dovuto alla natura chimica delle particelle di silice che, naturalmente, contengono dei gruppi ossidrilici superficiali. Questo crea dei legami chimici stabili con la superficie da trattare, specie se ha una natura chimica simile (come il vetro, o il laterizio che è a base di alluminosilicati), e ne garantisce una maggiore durabilità. Allo stesso tempo, i gruppi funzionali organici a catena corta non impediscono la formazione di legami con la struttura, ma inducono una variazione nella tensione superficiale (come prima riportato) che induce la funzione protettiva;
- il prodotto è ecompatibile e non tossico: questo è dovuto sia al fatto che è a base di particelle inorganiche (silice, inerte) e non a base polimerica come la maggior parte dei prodotti e film idrorepellenti (silanici, silossanici, ecc); inoltre è a base di solvente acquoso e non organico, che lo rende un prodotto

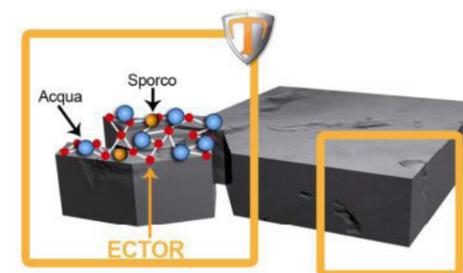


Figura 31: Struttura bi e tridimensionale creata da Ector

maggiormente sostenibile dal punto di vista ambientale;

- la riduzione della tensione superficiale fa sì che non solo la superficie sia meno idrofila, ma che anche i gas inquinanti, i biodeteriogeni o le particelle di particolato siano meno attratte dalla superficie, permettendo il mantenimento della muratura salubre e pulita;

L'assenza di una componente polimerica rende il prodotto resistente al calore (fino a 450 °C), al gelo (fino a -35°) e ai raggi UV, e non altera visivamente la superficie esterna su cui è applicato lasciando pressoché invariata la traspirazione dei materiali porosi ed anzi li protegge.

Ector PP-10 è privo di solventi e non ha odore, è già pronto all'uso e si applica direttamente sulle superfici porose.

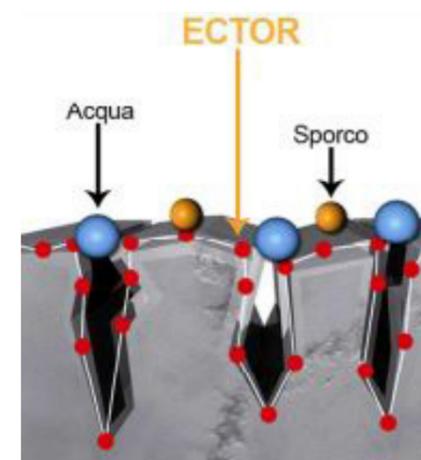


Figura 32: Dettaglio della microporosità di una superficie generica trattata con il prodotto in oggetto

Ector PP-50 ha le stesse caratteristiche descritte in PP-10, ma con una maggior concentrazione di matrice attiva per supportare situazioni più critiche, di eccessiva porosità.

Il prodotto Ector PP-10 si trova pronto all'uso, la superficie su cui deve essere applicato deve essere pulita e priva di residui. Può essere applicato con pennello, rullo o spazzola, spruzzo, anche se queste tecniche portano ad un consumo maggiore del prodotto mentre l'utilizzo di dispositivo airless HVLP con ugelli dimensionati 0,5 -0,8 di diametro in quanto questi ultimi permettono di coprire una superficie maggiore senza dispersione di prodotto.

Una controindicazione del prodotto è che bisogna fare estrema attenzione quando viene applicato sulla superficie, poiché questa deve essere completamente pulita altrimenti residui di altri protettivi usati in precedenza (siliconici, silossanici) in quanto la presenza, seppur marginale degli stessi (anche a chiazze) potrebbe inibire l'aggregazione delle nanoparticelle del prodotto.

È possibile effettuare due mani del prodotto nel caso in cui la superficie si presenti particolarmente porosa.

L'**ecosostenibilità** è un concetto chiave di questo protettivo per molti aspetti:

-impiego di silice amorfa funzionalizzata, ovvero di un composto inorganico;

- I nano materiali sono molto più reattivi rispetto alle loro macrocomponenti, e questa reattività permette di utilizzare pochissimo materiale, avendo performance molto superiori (con RP 10 e RP 50 durati 12/13 anni fa e ancora perfettamente funzionanti mentre prodotti protettivi silossanici presentano una durata di circa soli 2 anni);

- i protettivi a base di silice presentano 2μ di impedenza al vapore acqueo, estremamente traspirabile, poiché più il valore è basso più la superficie è traspirabile; l'intonaco a calce ha 10μ di

impedimento al passaggio del vapore acqueo, mentre un acrilossilossanico ha 380 µ; l'umidità esce ma non può entrare;

-Ecosostenibile perché utilizza poco materiale solido;

-La durabilità nel tempo del trattamento, consente di evitare il ripetersi del trattamento evitando inutili sprechi;

-Ridotto quantitativo del materiale richiesto per ampie superfici (ad esempio per un palazzo di 300 mq sono sufficienti circa 15 litri di prodotto, contro gli 80 litri richiesti da protettivo silossanico);

-I costi di trasporto sono contenuti, per il poco materiale richiesto, come sono contenuti i costi per gli imballi e imballaggi, tutto fa a capo al concetto di ecosostenibilità.

Svantaggi di Ector

Nonostante le enormi potenzialità che le nanotecnologie possiedono, esistono molteplici motivi che potrebbero rallentare l'adozione su larga scala. Innanzitutto, l'elevato costo dei nano-prodotti rispetto a quelli convenzionali, anche se destinati ad abbassarsi come tutte le novità inizialmente introdotte sul mercato. Accanto a questa prima problematica abbiamo che il mercato edilizio è fortemente conservatore, in particolar modo quello italiano, e procede con estrema cautela nell'adozione di nuove tecnologie, dove le conoscenze e le competenze sono attualmente ancora troppo frammentate per consentirne una notevole diffusione.

Risulta di fondamentale importanza acquisire la certezza che tutte le nanotecnologie non siano nocive per la salute umana e dell'ambiente poiché la nostra conoscenza sui potenziali pericoli risulta incompleta.

#### STIMA COSTI INTERVENTO- APPLICAZIONE DEL NANOPROTETTIVO

La seconda metodologia aggiuntiva consiste nell'impiego della nanotecnologia, descritta precedentemente, con il prodotto Ector RP-10, che verrà applicato esternamente sulle superfici porose delle maniche interessate. Il costo dell'intervento viene quindi calcolato solamente sulle maniche voltate su cui è stata condotta l'analisi dei materiali e dei degradi.

Ai fini del trattamento, è fondamentale l'applicazione su una superficie precedentemente pulita. Per evitare sprechi è consigliato l'utilizzo di un dispositivo airless HVLP con ugelli dimensionati 0,5 o 0,8 di diametro in quanto permettono di coprire una superficie maggiore senza dispersione di prodotto. Se il prodotto è applicato correttamente la sua durata è stimata sui 5/8 anni.

A seconda del grado di assorbimento del substrato e della tecnica di applicazione utilizzata si consuma da 20 a 30 m<sup>2</sup>/Litro.

Descrizione	Unità	Quantità	Costo unitario	Totale
Flacone	cad.	20	€ 160,00	€ 3200,00
Costo manodopera <sup>i</sup>	h	16	€ 38,90	€ 622,40
Totale				€ 3822,00

Tabella 7: Stima dei costi per l'applicazione della seconda metodologia

i Il costo della manodopera è da considerarsi previa sistemazione della muratura, stuccatura e pulitura del supporto e comprendere l'applicazione del prodotto tramite nebulizzatore (dispositivo airless HVLP) e l'eventuale applicazione della seconda mano di prodotto nel caso in cui si ritenga necessario. La seconda mano viene applicata pochi minuti dopo la prima applicazione, vedi allegato pp. 238

### 6.5.3 Scelta del sistema di monitoraggio

La scelta del sistema di monitoraggio, post intervento di risanamento della muratura tramite barriera chimica e protettivo nanotecnologico è stata veicolata in primo luogo dalla volontà di riproporre una scelta che rispettasse l'ambiente, come già fatto per la scelta del nanoprotettivo, assecondando le linee guida emesse dal MAB Unesco per le sue riserve di biosfera, nelle quali rientra Borgo Cornalese.

In secondo luogo la volontà di effettuare un monitoraggio non distruttivo e non invasivo che fosse in grado di rispettare l'architettura senza fornire però dati approssimativi ma quanto più possibile attendibili.

La scelta della tecnica del monitoraggio ricade quindi sui nanosensori di umidità a base di allumina nanoporosa, per una serie di motivazioni che danno man forte alla scelta.

Questi sensori sono dispositivi di dimensioni millimetriche, hanno un peso quasi trascurabile, e sono immuni a disturbi elettromagnetici che sono in grado, come avviene in altri sistemi di monitoraggio più obsoleti, di alterare la qualità e di conseguenza l'affidabilità dei risultati. Inoltre sono immuni alla corrosione e dispongono della possibilità di effettuare rilievi da remoto.

Un'altra argomentazione a favore della scelta effettuata risiede nel basso costo

richiesto per la creazione dei nanosensori, prezzo dettato dal poco materiale impiegato nella realizzazione dell'oggetto, dalla rapidità di esecuzione degli elettrodi e dalla facilità di poter reperire sul mercato i materiali richiesti.

## 6.6 Progettazione di rifunzionalizzazione del Mulino

Per quanto riguarda il progetto di rifunzionalizzazione questo è destinato alla totalità del complesso del mulino, e si estende alla scala complessiva dell'intero borgo, poiché diviene un nuovo servizio a disposizione della comunità villastellonese, torinese e della sua provincia.

Per procedere con la proposta della nuova funzione, è stato condotto uno studio dell'area circostante a Borgo Cornalese e un'analisi dettagliata delle offerte presenti sul territorio comunale di Villastellone.

Comprendere il territorio in cui proporre un nuovo scenario funzionale è il primo passaggio da effettuare per creare un ambiente realmente consono alle esigenze e richieste della comunità. Perciò è stata effettuata un'analisi SWOT del contesto e del bene per affacciarsi sull'ambiente reale ed averne effettivo riscontro.

I **punti di forza** (Strengths) sono i fattori interni, determinati sia dal fabbricato che dall'imminente contesto, che danno valore aggiunto al Mulino di Borgo Cornalese.

Primo fra tutti il riconoscimento dell'UNESCO, dal 2016, quale "Riserva di Biosfera" dell'area del parco del Po con l'ansa del Po Morto fino a Borgo Cornalese, valorizzata come area di importanza flora faunistica per le specie protette che contiene.

Il fatto che sia riconosciuta a livello del piano regolatore come un'area residenziale agricola di interesse architettonico, storico, culturale; la possibilità di produrre energia pulita e quindi autosostentamento tramite l'attività molitoria, con un risparmio

annuo di 45,6 tonnellate di CO<sub>2</sub> e una produzione massima di 912000 kWh; la vicinanza coi parchi e le riserve naturali nelle immediate vicinanze (tra cui: l'area contigua della fascia fluviale del Po tratto torinese, Riserva naturale della Lanca di San Michele, Riserva naturale della Lanca di Santa Marta e della confluenza del Banna, Stagni di Poirino-Favari, Parco Naturale Stupinigi); la presenza di una linea ferroviaria che mette il comune di Villastellone in collegamento coi comuni limitrofi, non servendo però prettamente Borgo ma il che può essere visto nuovamente come un punto di forza per mantenere inalterata la natura incontaminata nella sua ruralità; la linea ferroviaria offre inoltre la possibilità di portare a bordo le biciclette, e di piste ciclabili passanti per il comune di Villastellone se ne contano otto, di cui queste cinque passanti per Borgo Cornalese. Queste piste ciclabili mettono in comunicazione le emergenze culturali presenti nella provincia e dipanate nel territorio limitrofo.

Dando uno sguardo alle statistiche sulla popolazione si può notare che la popolazione straniera è in lento ma progressivo aumento e il tasso di disoccupazione è inferiore alla media Italiana.

Per quanto riguarda i **punti di debolezza** (Weaknesses) dettati dai fattori interni abbiamo lo stato di incuria e abbandono in cui verte il complesso e gli attuali costi di manutenzione a cui deve essere sottoposto per la manutenzione e il restauro, il degrado è avanzato e principalmente connesso all'umidità ascendente; i collegamenti pubblici non servono tutti i comuni delle vicinanze e la stazione ferroviaria dista 3 km da Borgo.

Le **opportunità** (Opportunities) che offrono i fattori esterni sono altresì molteplici: il complesso si configura come uno spazio di possibile rigenerazione con opportunità adatte a tutti; vi sono dei progetti in fase di sviluppo che coinvolgono le corti del complesso con lo scopo di realizzare un aggregato residenziale, altri



### LEGENDA

- EMERGENZE
  1. Borgo Cornalese
  2. Cascina di Fortepasso
  3. L'albergo di S. Croce
  4. Museo di cultura popolare e contadina

### ISTRUZIONE

- SCUOLE DELL'INFANZIA
  1. Carmagnola III-Via Cossolo 10
  2. Carmagnola III-Viale Signorini 11

### SCUOLE PRIMARIE

- 1. Carmagnola III-Via Oddenini 1

### SCUOLE SECONDARIE DI PRIMO GRADO

- 1. Carmagnola III-Via A. Gentileschi 1

### BIBLIOTECHE

- 1. Biblioteca civica Giacolin Avateneo
- 2. Seprian snc

### SERVIZI PER IL CITTADINO SANITA'

- PARCHI E CENTRI SPORTIVI
  1. Centro Sportivo Villasport
  2. Tennis Club Villastellone
  3. Campo di calcio Barbasso
  4. Parco Levà
  5. Passeggiata per cani
  6. Palarane-skatepark
  7. Area cani
  8. Giardini 21 Marzo

### STAZIONE

### FOOD-RISTORAZIONE

### B&B-HOTEL

### CULTURA

#### CHIESE

1. Parrocchia di S. Giovanni Battista
2. Chiesa di S. Croce
3. Chiesa Vergine Addolorata
4. Chiesa Beata Vergine dei Dolori

#### TEATRI

1. Auditorium comunale-Viale Gentileschi

Figura 33: Analisi dei servizi presenti all'interno del comune di Villastellone, analisi effettuata a giugno 2020, rielaborazione personale

progetti comunali mirano ad incrementare il ciclo turismo e la rete di piste ciclabili, esistono finanziamenti del 2019 stanziati per le strade e per le nuove fermate del bus, sono attualmente in corso progetti come "Salvaciclisti" e "i venerdì letterati", rendendo il comune attivo per coinvolgere la sua popolazione; il risanamento della struttura del mulino può avere un positivo impatto nella comunità, offrendo nuove opportunità e servizi; recuperando la struttura si risana un'importante testimonianza della memoria storica di un'area rurale piemontese che diviene testimonianza del lavoro agricolo di queste aree, nel comune è già presente un museo contadino con reperti caratteristici della vita contadina che potrebbe instaurare una connessione con quanto veniva svolto all'interno del mulino.

Il comune offre una vasta gamma di servizi (scuole, biblioteca civica, auditorium, pinacoteca, archivio storico recentemente restaurato, campo da tennis e campo da calcio Barbasso) e presenta un flusso migratorio sempre attivo nel corso degli ultimi decenni, contribuendo all'aumento dell'indice di ricambio della popolazione attiva;

Le **minacce** (Threats) del contesto possono essere la possibile nascita di competitori o attività che forniscano lo stesso servizio; i dati Istat registrano un progressivo invecchiamento della popolazione a partire dal 2008, il tasso di disoccupazione e disoccupazione giovanile è in lenta crescita e l'aumento dell'età media della popolazione può determinare un cambiamento dell'analisi dei bisogni; un altro fattore svantaggioso è l'assenza di alcuni collegamenti tra comuni limitrofi.

Gli obiettivi che questo intervento si prefigge sono la rifunzionalizzazione del caso in oggetto con un'attività che porti ad un bilancio positivo nelle entrate e che permetta all'attività che vi andrà inserita di contribuire attivamente alla comunità; utilizzare l'energia prodotta dal mulino, incentivare i trasporti sostenibili, per migliorare i collegamenti locali;

implementare i collegamenti per favorire la fruizione del bene, sfruttando i progetti in atto nel comune volti ad incrementare il ciclo turismo; incentivare nuove attività per contrastare la diminuzione del tasso di occupazione e le attività culturali all'interno del bene creando collaborazioni con le attività culturali preesistenti, favorendo l'integrazione tra fasce d'età differenti.

Alla luce di quanto emerso dalla precedente analisi e degli obiettivi strategici che si vogliono perseguire si avanzano due proposte di scenario possibile;

La prima possibilità prevede l'inserimento di un Ecomuseo: un'ala del piano terra viene adibita ad ecomuseo dove sarà allestito un percorso in cui verranno esaltati i caratteri dell'agricoltura tradizionale, fotografie storiche e testimonianze svariate della vita rurale del Borgo. Inoltre vi saranno conservati i macchinari originali restaurati che servivano al funzionamento del mulino, come le macine in pietra, la tramoggia lignea, i pestelli ecc. All'interno del comune di Villastellone prende luogo il Museo di cultura popolare e contadina, istituito nel 1991 ed inaugurato nel 1992. Il museo conta di una raccolta di cinquemila oggetti, tutti catalogati, che narra al visitatore il mondo dei mestieri contadini e rurali ormai scomparsi. L'ecomuseo del mulino di Borgo può essere pensato come un distacco di questo museo sito nel centro del comune, che affianca ai tradizionali lavori del fabbro, del falegname e dell'agricoltore anche il mestiere del mugnaio.

Il secondo scenario che si inserisce nel mulino ha vocazione ricettiva, di agriturismo, prestandosi perfettamente per divenire punto di appoggio per il turismo ecosostenibile nella provincia torinese. Valore aggiunto alla scelta della vocazione risulta essere la collocazione dell'immobile, completamente immerso nella natura permettendo ai fruitori un'osmosi completa con la Riserva di Biosfera.

## NORMATIVA CONSULTATA

La normativa consultata e presa in considerazione per il dimensionamento degli spazi e degli appartamenti dell'agriturismo è la Legge regionale n. 23 febbraio 2015:

(...) Art. 2

b) *locare ad uso turistico camere con l'eventuale prestazione del servizio di prima colazione, mezza pensione o pensione completa, di somministrazione di merende, da servire ai propri ospiti, nonché di organizzazione di attività ricreative, sportive e culturali. Nel caso dell'ospitalità con prestazione del solo servizio di prima colazione, è consentito l'uso dell'angolo cottura in dotazione nelle camere locate oppure di una cucina in uso comune a tutti gli ospiti;*

Art. 8

b) *le strutture agrituristiche con un numero superiore a dieci posti letto devono essere dotate di almeno una camera accessibile e di servizio igienico per disabili;*

E la normativa country house<sup>1</sup>:

Art. 3. (Superfici degli appartamenti)

1. *Gli appartamenti composti da monolocale attrezzato per il pernottamento e per il soggiorno pranzo-cucina hanno una superficie minima, al netto dei bagni, di metri quadrati 12, se con un posto letto e di metri quadrati 18, se con due posti letto; per ogni posto letto in più, la superficie minima del locale è aumentata di metri quadrati 6. (...)*

3. *Gli appartamenti composti da locale soggiorno-pranzo-cucina e da una o più camere da letto hanno le seguenti superfici minime al netto dei bagni; a) locale soggiorno-pranzo-cucina senza posti letto: metri quadrati 8, cui sono aggiunti metri quadrati 1 per ogni posto letto ulteriore; b) locale soggiorno-pranzo-cucina con posti letto: metri quadrati 13, se con un posto letto, metri quadrati 20, se*

*con due posti letto e metri quadrati 27, se con tre posti letto, cui sono aggiunti metri quadrati 1 per ogni posto letto ulteriore; 3 c) camere da letto: metri quadrati 8, cui sono aggiunti metri quadrati 6 per ogni posto letto, fino ad un massimo di quattro posti letto.*

Assecondando la normativa presente e con la metratura del Mulino sono stati ricavati otto appartamenti, locati al piano primo, ciascuno dotato di servizi autonomi e di angolo cucina.

La normativa consultata per lo scenario dell'ecomuseo è:

REGIONE PIEMONTE - LEGGE REGIONALE-Legge regionale 3 agosto 2018, n. 13.

Riconoscimento degli ecomusei del Piemonte

Art. 1. (Principi generali)

1. *La Regione, in attuazione dell'articolo 9, secondo comma della Costituzione e dell'articolo 7 dello Statuto, riconosce e promuove gli ecomusei sul proprio territorio.*

2. *Gli ecomusei, ai fini della presente legge, sono strumenti culturali di interesse generale e di utilità sociale orientati a uno sviluppo locale sostenibile, volti a recuperare, conservare, valorizzare e trasmettere il patrimonio identitario, culturale, sociale, ambientale, materiale e immateriale di un territorio omogeneo, attraverso la partecipazione delle comunità locali in tutte le loro componenti.*

Art. 9. (Contributi regionali)

1. *La Giunta regionale concede ai soggetti gestori di cui all'articolo 3, comma 1, contributi per la spesa corrente al fine di sostenere la gestione, le attività di sviluppo e di valorizzazione degli ecomusei*

riconosciuti.

Art. 3-4-5 L.r. 13/2018:

*Il Consiglio regionale, su proposta della Giunta regionale, previo parere espresso del Comitato tecnico-scientifico previsto dall'art. 5 della L.r. 13/2018, riconosce con propria deliberazione gli ecomusei, esistenti o per i quali è proposta la candidatura, sulla base di un'esperienza locale documentabile, attivata da almeno tre anni sul territorio in cui ricade l'ecomuseo e gestita da Soggetti pubblici o privati che sono espressione del territorio considerato dall'ecomuseo.*

E' stata condotta una ricerca per valutare la possibile fattibilità economica del progetto di rifunzionalizzazione e sono stati individuati dei possibili finanziamenti come il seguente Bando del 2019: *"La Regione concede contributi economici ai Soggetti gestori, pubblici o privati, per la realizzazione delle attività istituzionali svolte dagli Ecomusei, in applicazione dell'art.11 "Norma transitoria" della Legge regionale n. 13 del 3 agosto 2018 "Riconoscimento degli ecomusei del Piemonte"*.

In aggiunta l'Art. 9-Legge regionale 3 agosto 2018, n. 13 cita: *"Sono previsti dei finanziamenti regionali per gli eco musei"*.

Un altro finanziamento rivolto ad enti locali ed enti pubblici viene finalizzato alla valorizzazione del distretto UNESCO piemontese - D.D. n. 102 del 24 aprile 2020 (scadenza ottobre 2020):

*"(...)finanziamento di interventi di valorizzazione dei beni culturali presenti nei Comuni del territorio regionale che rientrano in un riconoscimento UNESCO (siti iscritti nella lista del patrimonio mondiale, elementi iscritti nella lista rappresentativa del patrimonio immateriale, riserve della biosfera, geoparchi, città creative) tramite una*

i [www.bandiregione.piemonte.it](http://www.bandiregione.piemonte.it)

*procedura a sportello.*

*Gli interventi ammissibili consistono nel recupero, nel restauro, nella ristrutturazione e nella rifunzionalizzazione e valorizzazione di beni culturali (come definiti all'art. 2 co. 2 del D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42)."*<sup>ii</sup>

## 6.7 Tavole

(vedi allegato)

ii Ibidem

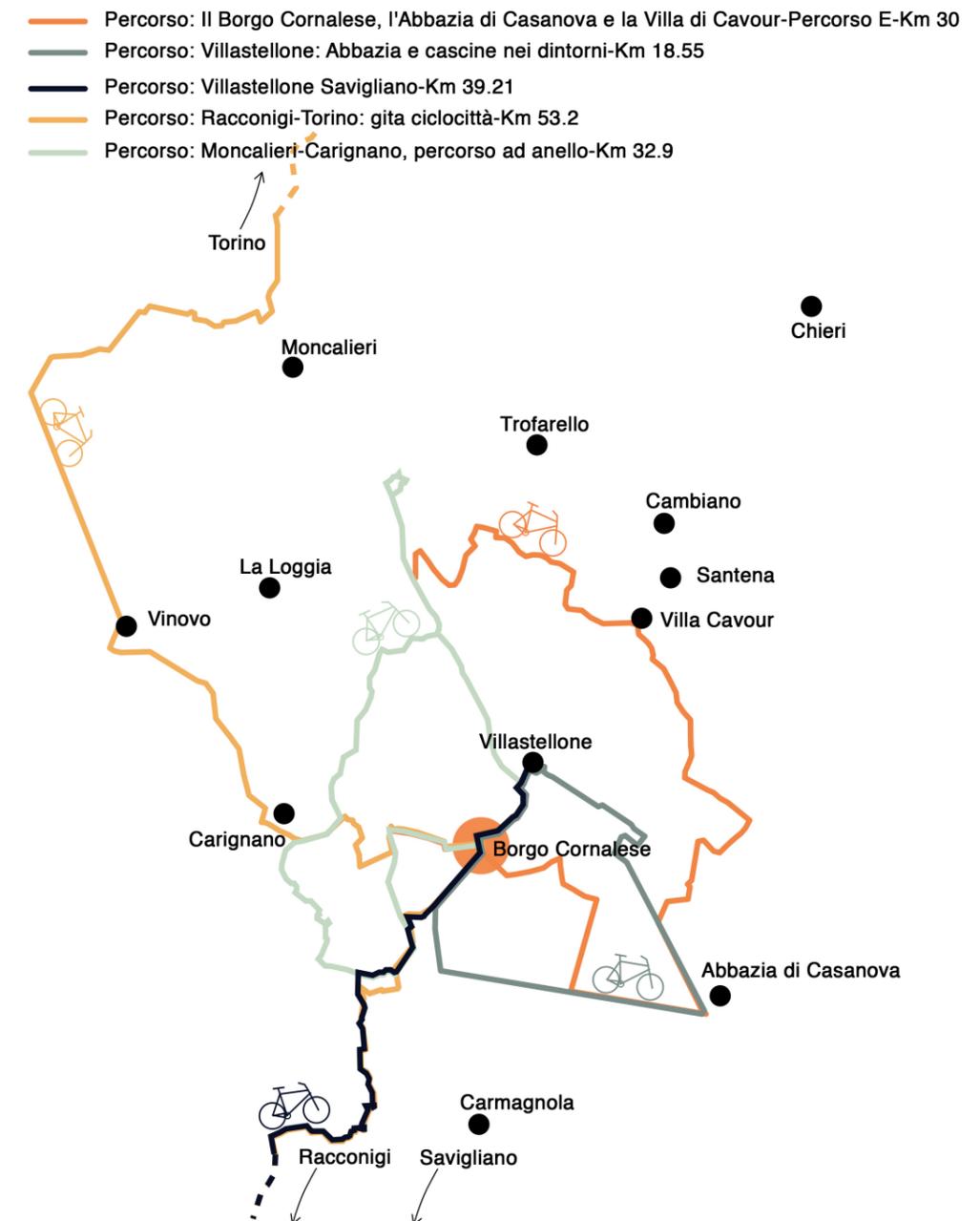


Figura 34: Rete di piste ciclabili passanti per Borgo Cornalese, elaborazione personale



Figura 35: Suggestioni progettuali, vista interno manica voltata est, evento degustazione di prodotti tipici, elaborazione personale

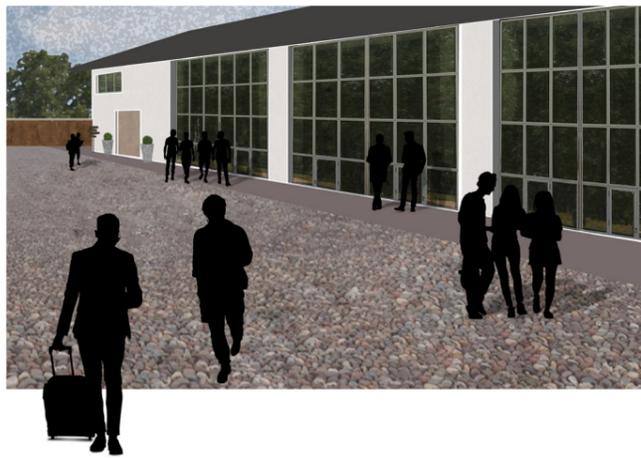


Figura 36: Suggestioni progettuali, vista cortile interno, elaborazione personale

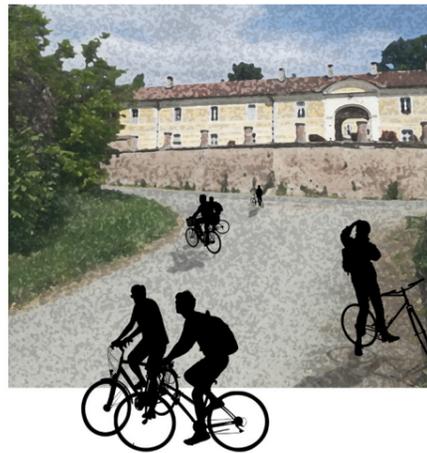


Figura 37: Suggestioni progettuali, vista interno manica voltata est, vista antistante alla villa De Maistre, elaborazione personale



Figura 38: Suggestioni progettuali, allea monumentale ciclabile

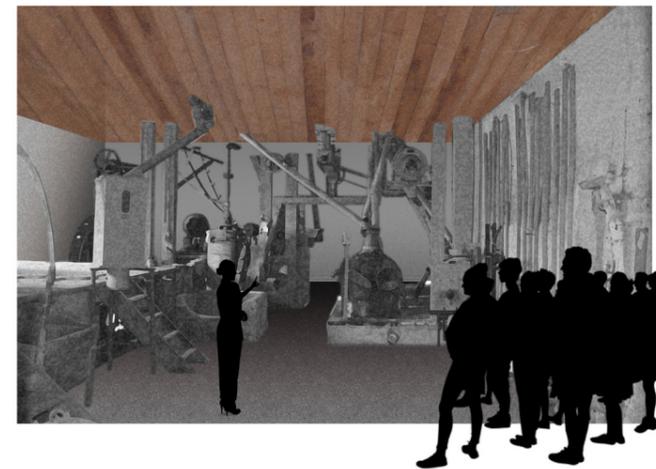


Figura 39: Suggestioni progettuali, sala espositiva ecomuseo, elaborazione personale

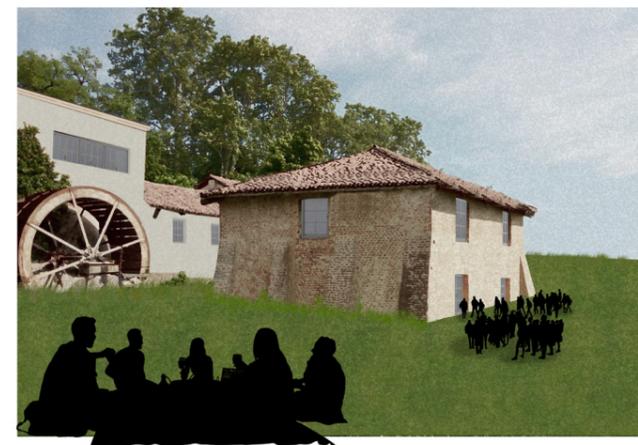


Figura 40: Suggestioni progettuali, evento culturale presso la Canapaia del mulino di Borgo, elaborazione personale

## Conclusioni

---

Lo studio effettuato ha voluto fin dal principio avere un approccio scientifico e mirato all'individuazione di una metodologia del restauro che rispettasse il mulino e il suo borgo per recuperarne la sua essenza rurale.

Il recupero di testimonianze della memoria storica diventa una traccia del lavoro agricolo di queste aree, che altrimenti andrebbero perdute. I complessi rurali sono l'ossatura portante del paesaggio nelle aree agricole, e sono elementi identificativi di questi territori ed è per questo motivo che diventano oggetto di tutela poiché portatrici di interesse storico ed etnoantropologico.

Lo studio si svolge tramite un lungo iter archivistico per cogliere tutti i passaggi riguardanti l'evoluzione della fabbrica.

Si è ritenuto fondamentale strutturare un accurato processo di conoscenza dell'oggetto, ecco perché la fase iniziale della stesura dell'elaborato è stata ampiamente dedicata alla ricerca archivistica. Passaggio fondamentale per la determinazione e il riconoscimento delle porzioni dell'edificato di maggior pregio e dal valore storico, le volte seicentesche al pian terreno, che da quel momento divennero le porzioni sui cui si svolsero le analisi successive.

L'approccio materico e lo studio dei dissesti hanno consentito l'individuazione di una problematica comune alle nuove e antiche costruzioni, la risalita capillare dell'umidità.

Lo studio si è concentrato poi sull'analisi di questa problematica, al fine di individuare tutte le casuali che intervengono alla determinazione del dissesto per indagare le tipologie di intervento fin ora conosciute, con i vantaggi e gli svantaggi che ciascuna risoluzione presenta.

Le metodologie scelte per contrastare l'umidità di risalita sono quindi due, che combinate simultaneamente si dimostrano risolutive.

La prima metodologia utilizzata nel caso prevede l'iniezione di una crema siliconica, tramite il sistema di sbarramento con iniezioni chimiche, che grazie all'effetto idrofobizzante bloccano orizzontalmente il passaggio dell'acqua tramite i pori costituenti il laterizio. Qui la scelta è stata veicolata dalla valutazione dell'efficienza e dalla risoluzione che questa offriva al problema.

La seconda metodologia consigliata è invece maggiormente innovativa, in quanto si tratta di un protettivo superficiale nanostrutturato, a base di nano particelle di SiO<sub>2</sub> funzionalizzate, sostenibile e a basso impatto ambientale.

L'ecosostenibilità è stata veicolante in questo secondo approccio visto che il composto è inorganico, di particelle di silice amorfa e non polimerico come la maggior parte dei prodotti e film idrorepellenti, inoltre è a base di solvente acquoso e non organico.

L'ecosostenibilità risiede anche nel ridotto quantitativo richiesto per l'efficacia del trattamento e per il poco materiale di impiego per la sua produzione.

Viene proposto successivamente un sistema innovativo per il monitoraggio dell'umidità post intervento, anche qui sono stati presi in considerazione tutti i sistemi di monitoraggio, con i pro e i contro di ciascuno per determinare la soluzione più idonea al caso in oggetto.

La scelta ricade su un sistema innovativo di monitoraggio che prevede l'impiego di micro sensori a base di allumina nanoporosa, metodologia che agisce nel totale rispetto della muratura, essendo questa non invasiva e tantomeno distruttiva. Nuovamente la scelta fa a capo al concetto di ecosostenibilità per la modesta richiesta di materiale per la produzione del sensore stesso, per la riproducibilità in serie una volta ottenuta la maschera di ritaglio del microsensore e per la scelta della membrana porosa

che rileva l'umidità, ancora una volta inorganica.

L'ultimo passaggio prevede l'avanzamento di scenari funzionali volti al restauro dell'area del mulino e al riuso degli spazi che lo compongono, divenendo ecomuseo dell'arte molitoria e agriturismo come punto di appoggio per il turismo ecosostenibile. Trasformandosi in un centro servizio per la fruizione ciclo turistica, culturale lungo le strade del Po, affiancandosi a importanti siti naturalistici come il Po Morto e aree archeologiche di pregio.

Un elemento che ha sempre guidato la determinazione delle scelte è la collocazione dell'oggetto all'interno della Riserva Parco Po e Collina Torinese che come ampiamente spiegato viene riconosciuta dal MaB UNESCO come riserva di biosfera, valore aggiuntivo alla già preesistente "dichiarazione di notevole interesse pubblico".

La riflessione sull'adattamento è stata svolta prendendo in considerazione uno studio di fattibilità che ha riguardato l'intero territorio di Villastellone, con i servizi e le attività già in atto sul suolo comunale, per creare collaborazioni e sfruttare al meglio le iniziative presenti.

Capire l'anima dell'architettura con cui si entra in contatto, per rispettarla e poterla valorizzare tramite il restauro è l'approccio che ha veicolato questa tesi. Queste valutazioni sono indispensabili per donare una nuova immagine alle architetture senza stravolgerne le volumetrie ma rendendole funzionali agli standard moderni.

## Ringraziamenti

---

Un grazie sentito alla mia relatrice, Paola Palmero, per il sostegno ricevuto durante la stesura dell'elaborato e per il supporto fornitomi, anche se a distanza vista la situazione pandemica globale, per avermi seguito passo dopo passo, in questo percorso.

Un ringraziamento agli architetti dello studio F.D.P, in particolare ad Anna Doleatto, per le correzioni, i continui stimoli e soprattutto gli insegnamenti che ha saputo darmi.

Un grazie alla mia famiglia, a cui devo veramente tutto. Grazie per la pazienza portata in questi mesi che hanno preceduto la laurea, grazie per non avermi butata fuori casa.

Grazie mami, papi e metti. Grazie zii e nonne.

Grazie nonno Andrea e grazie nonno Dalmi, dedico questo piccolo successo a voi.

Un grazie sentito a Lori, che sono la sua croce da quando è venuto al mondo ed è da sempre la mia spalla destra in tutto e per tutto.

Un grazie di cuore ai miei cari colleghi universitari, Darya, Riccardo, Daria, Nat, Ale e Marria con i quali ho condiviso non solo gli atelier al Politecnico e la carriera universitaria ma con cui ho passato i miei migliori momenti di vita a Torino. Ho amato questa città ed è grazie a voi.

Grazie alle mie colleghe della triennale, Irene e Michela, che sono state per me un punto di riferimento fondamentale nonostante i differenti percorsi intrapresi.

Grazie di tutto cuore anche a Giulia e alle mie amiche di sempre, Sara, Alessia, Elisa, Ingrid, Martius e Denise, per essermi sempre state accanto.

Ah, e grazie un pò anche a me.

## Bibliografia

---

### ABBREVIAZIONI

---

ASTo – Archivio Storico della città di Torino

BIBLIOGRAFIA  
(ordine alfabetico)

### ARCHIVI

ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di Famiglia, Villa di Villastellone, mazzo 11, mulino di Villastellone Anna Broglia

ASTo, Sezioni Corte, Inventario dell'abbazia di Casanova, mazzo 4

ASTo, Sezioni Corte, Inventario delle scritture dell'abbazia di Casanova-Borgaro, mazzo 4

ASTo, Sezioni Corte, Paesi per A e B, Villastellone, mazzo 31

ASTo, Sezioni Corte, Paesi per A e B, Carignano, mazzo 14

ASTo, Sezioni Corte, Paesi per A e B, Borgaro, mazzo 6

ASTo, Sezioni Corte, Paesi per A e B, Villastellone mazzo 31

ASTo, Sezioni Riunite, Libro in cui sono descritti tutti li particolari possidenti beni stabili nel luogo territori e fini di Arignano (...), mazzo 96

ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 11

ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di famiglia, Costa di Polonghera, Concessioni e Feudi, mazzo 27

ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 29

ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 31

ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di famiglia, Costa di Polonghera, mazzo 82

ASTo, Sezioni Riunite, Archivio di famiglia, Villa di Villastellone, mazzo 11

ASTo, Sezioni Riunite, Economato dell'Abbazia di Santa Maria di Casanova, mazzo 6, fascicolo 10

ASTo, Sezioni Riunite, Economato dell'Abbazia di Santa Maria di Casanova, mazzo 9

### TESTI

---

Alasia, A., *Storia e cronaca di Villastellone e dintorni, dalle Origini ai tempi moderni*, Ed. Grafiche Freddo, Poirino (Torino), 1990

Alfano, G., et al., *Long-term performance of chemical damp-proof courses: Twelve years of laboratory testing, Building and Environment*, Vol. 41, pp. 1060-1069, 2006

Alwis, L., Sun, T., Grattan, K. T. V., *Optical fibre-based sensor technology for humidity and moisture measurement: Review of recent progress*, «Measurement», 46, pp. 4052-4074, 2013

Banchio, G., *Il radicamento patrimoniale dell'abbazia di Casanova*, Torino, 1990

Battaglia, A., Rattazzi, A., Kafetsis, V., *Terra, Fuoco, Acqua, Aria: LA CALCE*, 2011

Belidor, B., *Architettura idraulica ovvero arte di condurre, innalzare e regolare le acque pei vari bisogni della vita: 1.1*, Volume 1, 1834

Borrelli, E., Bartolini, M., Festa, L., *Umidità*

nelle costruzioni: il ruolo delle normative tecniche per la misura, la diagnosi e la verifica degli interventi di risanamento., «Tecnologie per il recupero del costruito», pp. 195-205, Matera, 2019

Bracco, G., *Acque, ruote e mulini a Torino*, Torino, Città di Torino, Archivio Storico, 1987

Casalis, G., *Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli stati di S. M. il Re di Sardegna*, Volume IV, Torino 1837

Codice dei beni culturali e paesaggistici, D.L. 21 settembre 2019

Comba, R., *Boschi e alpeggi certosini e contadini nell'Italia centro-settentrionale: fine XII secolo e inizi XV*, Torino, L. Roux e C. Torino 1890

Comba, R., *Mulini da grano nel Piemonte Medievale, secoli XII – XV*, Cuneo, Società per gli studi storici, archeologici ed artistici della Provincia di Cuneo, 1993

Comba, R., Grillo, P., *Santa Maria di Casanova, Un'abbazia cistercense fra i marchesi di Saluzzo e il mondo dei comuni*, Cuneo, Società per gli studi storici, archeologici ed artistici della Provincia di Cuneo, Centro Studi Carmagnolesi, 2006

Comoli Mondracci, V., *L'architettura popolare in Italia –Piemonte*, Bari, Laterza, 1988

Coppola, L., *Umidità nelle Costruzioni. Diagnosi e Rimedi*, «Prefabbricati & Industrializzazione», aprile 1996

Dickey, E. C., Varghese, O.K., Ong, K.G., Gong, D., Paulose, M., Grimes, C.A., *Room Temperature Ammonia and Humidity Sensing Using Highly Ordered Nanoporous Alumina Films*, «Sensor», pp.92-110, 2002

Falcão Socoloski, R., Borges Masuero, A., *Evaluation of the efficiency of the treatment*

*for rising damp on walls through the insertion of chemical barriers by gravity*, «Construction and Building Materials», 210, pp.660–672, 2019

Franzoni, E., *Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge*, «Construction and Building Materials», 54, pp. 123–136, 2014

Franzoni, E., *State of the art for reducing rising damp in masonry*, «Journal of Cultural Heritage», 31, pp. S3-S9, 2018

Franzoni, E., Rirsch, E., Paselli, Y., *Which methods are suitable to assess the effectiveness of chemical injection treatments in the laboratory?*, «Journal of Building Engineering», 29, pp. 109-131, 2020

Galetti, P., *La forza delle acque: i mulini nell'Italia Medievale*, RIPARIA Vol.0, 2014

Guado, G., *Mulino ad acqua nell'alto Oltrepo Pavese. Il Mulino Pellegro: dall'energia meccanica all'energia elettrica*, «articolo su Geologia dell'Ambiente Periodico trimestrale», SIGEA, Supplemento al n. 3/2011, 2010

Gross, S., Graziola, F., *Materiali nanostrutturati ibridi inorganici-organici per rivestimenti in edilizia*, «Archi», pp. 63-65, 2007

Guasco, F., *Dizionario feudale degli antichi Stati Sardi e della Lombardia (dall'epoca carolingia ai nostri tempi 704-1909)*, Pinerolo, Tipografia già Chiantore-Mascarelli, 1911, 5 voll., pp. Compl. XVI-2370, Biblioteca della società storica subalpina, LIV-LVIII

Gisotti, G., *I mulini ad acqua di Vivaro Romano*, «Geologia dell'Ambiente», SIGEA, Supplemento al n. 3/2011, 2010

Hall, C., Hoff, W. D., *Rising damp: capillary rise dynamics in walls*, «The Royal Society», 463, pp. 1871–1884, 2007

Hall, C., Hoff, W. D., *Water Transport in Brick, Stone and Concrete*, Abingdon : Taylor and Francis, Londra, 2002

Harmati, N., Jakšić, Ž., Trivunic, M., Milovanovic, V., *Rising damp analysis and selection of optimal handling method in masonry construction*, «Periodica polytechnica», pp. 431-444, 2014

Ivliev, E. A., *Electroosmotic drying of building walls and basements*, «Surf Eng Appl Electrochem», 2007

La Regina, F., *Il restauro dell'architettura, l'architettura del restauro*, Liguori, 2005

Lodato, F., *Le nanotecnologie per l'edilizia*, «Archi», pp. 58-62, 2007

Li, Z., Zhang, H., Zheng, W., Wang, W., Huang, H., Wang, C., Alan, G., Wei, Y., *Highly Sensitive and Stable Humidity Nanosensors Based on LiCl Doped TiO<sub>2</sub> Electrospun Nanofibers*, «J. AM. CHEM. SOC.», 9, 130, pp. 5036–5037, 2008

Mason, G., *Rising Damp*, Vol. 9, pp. 227-231, 1974

Manno, A., *Dizionario feudale degli antichi stati continentali della monarchia di Savoia (Savoia, Aosta, Piemonte, Monferrato, Saluzzo, Novara, Lomellina, Nizza, Oneglia; 1720-1797)*, Stabilimento Giuseppe Cevelli, Firenze, 1895

Menochio, R., *Memorie storiche della Città di Carmagnola*, L. Roux e C., Torino, 1890

Monczynski, B., Ksit, B., Szymczak-Graczyk, A., *Assessment of The Effectiveness of Secondary orizontal Insulation Against Rising Damp Performed by Chemical Injection*, 2019, articolo libero accesso

Montanari Pesando, M., *Villaggi nuovi nel Piemonte Medievale. Due fondazioni chieresi nel secolo XIII: Villastellone Pecetto, Torino*, Deputazione subalpina di storia di patria, pp.180, 1990

Ottosen, L. M., Rørig-Dalgård, I., *Drying brick masonry by electro-osmosis*, in proceedings of the 7th International masonry conference, Londra, 2006

Petiti, V., *Malte storiche di Borgo Cornalese: caratterizzazione dei materiali e prove di confezionamento di malte compatibili*, tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2014/2015, relatore P. Palmero, correlatore A. Doleatto

PIANO PROVINCIALE DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE della Provincia di Torino, RELAZIONE GENERALE e ANALISI DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE, aggiornato al 2006

Programma Man and Biosphere UNESCO, Linee guida nazionali per le riserve di Biosfera

Restifo, A., *Mulini a Pietra nel Cuneese*, L'Artistica Editrice, Torino, settembre 2006

Ricci, G., *Materiali da costruzione e progetto di architettura*, Cuen, Napoli, 1996

Rosina, E., Romoli, E., Pili, A., Suma, M., *LESSON LEARNED ON MONITORING CULTURAL HERITAGE AT RISK UNDER CLIMATE CHANGES: STRATEGY, TECHNIQUES AND RESULTS*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», Volume XLII-2/W11, 2019 GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, pp. Milano, 2019

Rossetti, M., *Le nanotecnologie applicate all'edilizia*, «Codici del Disegno di Progetto. Appunti di studio», a cura di Luca Cipriani, 2009

Savi, P., Centonze, C., *Nanotecnologia bottom-up*, «Archi», pp. 66-67, 2007

Scalisi, F., Sposito, C., *TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE, TRADIZIONE,*

INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ, Roma, 2013

Scolari, A. C., Banchio, G., Massara, G. G., Mondo, D., Pipino, R., Amoretti, G., *Casanova arte, storia e territorio di una abbazia cistercense, Carmagnola*, Dario Musso Editore, GALATEA, 1990

Studi idraulici, relazione idrologica idraulica, PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE VARIANTE DI P.R.G.C., D.G.R. 15 luglio 2002

Tallone, A., *Cartario dell'abbazia di Casanova fino all'anno 1313*, Pinerolo, 1903

Todaro, G. L., *Valutazione dell'efficacia di protettivi nanostrutturati tramite tecniche di indagine non invasive: il caso studio del prospetto della Biblioteca "A. Mendola" di Favara*, tesi del Master di II Livello in "Ricerca esperta di Nanotecnologie e Nanomateriali per i Beni Culturali", Università degli studi di Palermo, relatore Alberghina, M. F., correlatori Tranchina, L., Fontana, D., a.a. 2011/2012

*Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte*, 2, 1983, Torino

*Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte*, 10, 1991, Torino

Vanetti, G., *I rii, le bealere e i mulini nella storia di Chieri*, Comune di Chieri, ottobre 1996

Vogel, T., Dusek, J., Dohnal, M., Snehota, M., *Moisture regime of historical sandstone masonry — A numerical study*, «Journal of Cultural Heritage», 42, pp. 99-107, 2020

Yang, B., Aksak, B., Lin, Q., Sitti, M., *Compliant and low-cost humidity nanosensors using nanoporous polymer membranes*, «Sensor Actuat B: Chemical», 114, pp. 254-262, 2006

Zhang, Z., *A Review of Rising Damp in Masonry Buildings*, «Advanced Polymer and Composites (APC) Research Group», University of Portsmouth, 2019

## SITOGRAFIA

<https://aiams.eu/storia/mulini-a-marea.html>  
data ultima consultazione: aprile 2020

<http://archeocarta.org/carmagnola-to-antica-abbazia-s-maria-casanova/>  
data ultima consultazione: febbraio 2020

[http://www.areeprotettepotorinese.it/itinerari-dettaglio.php?id\\_iti=893](http://www.areeprotettepotorinese.it/itinerari-dettaglio.php?id_iti=893)  
data ultima consultazione: luglio 2020

<https://battagliatermestoria.altervista.org/chi-va-al-mulino-sinfarina/2/>  
data ultima consultazione: aprile 2020

[www.beniculturalionline.it](http://www.beniculturalionline.it)  
data ultima consultazione: maggio 2020

<http://www.comune.villastellone.to.it/Home/Come-fare-per?ID=64024>  
data ultima consultazione: gennaio 2020

[http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA\\_INDIC\\_LAV](http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_INDIC_LAV)  
data ultima consultazione: luglio 2020

<http://www.ilgiornaledelpo.it/mulini-e-mugnai-di-mezzi-po-storia-del-po-2/>  
data ultima consultazione: marzo 2020

<https://mole24.it/2013/10/22/to-mi-ge-triangolo/>  
data ultima consultazione: febbraio 2020

<https://www.mulinopadano.it/blog/approfondimenti/il-processo-di-macinazione-del-grano-con-molino-a-pietra/>

data ultima consultazione: dicembre 2019  
<http://ottomilacensus.istat.it/comune/001/001308/>  
data ultima consultazione: luglio 2020

<https://www.piste-ciclabili.com/itinerari/3661-villastellone-abbazia-e-cascine-nei-dintorni>  
data ultima consultazione: luglio 2020

<https://scn.caiparma.it/il-mulino-a-ruota-orizzontale/>  
data ultima consultazione: aprile 2020

<https://www.tine.it/normal/normal.htm>  
data ultima consultazione: agosto 2020

<https://www.tuttitalia.it/piemonte/26-villastellone/statistiche/popolazione-andamento-demografico/>  
data ultima consultazione: luglio 2020

<http://www.unesco.it/it/ItaliaNellUnesco/Detail/186>  
data ultima consultazione: febbraio 2020

<http://www.museodelrubinetto.it/storia>  
data ultima consultazione: aprile 2020

## MAPPE CONSULTATE

Torino, Archivio di Stato Sezioni Riunite, Carte topografiche e disegni, Camerale Piemonte, Tipi articolo 663, *Mappa de Tenimenti e regioni esistenti ne' Territori di Villastellone, Chieri, Moncaglieri, Carignano, Truffarello, Cambiano, Santena, Rivera e Borgo ...*, Torino, 1765

Torino, Archivio di Stato Sezioni Riunite, Catasti, *Catasto Rabbini*, Circondario di Torino, Mappe, distribuzione dei fogli di mappa e linea territoriale, Torino, foglio 40, 1860

*PLAN GEOMETRIQUE De La COMMUNE De / VILLASTELLON, Departement du Pô / Arrondissem[en]t com[muna]l de Turin*, Carta in due parti del Territorio

di Villastellone stata levata per Ordine del Governo dei 12. Brumajo anno XI (3 novembre 1802) dall'Ing. Geometra G.B. Sappa sulla Scala di 1/5000

Torino, Archivio di Stato Sezioni Riunite, Catasti, *Catasto Rabbini*, Circondario di Torino, Mappe, distribuzione dei fogli di mappa e linea territoriale, Villastellone, Piano topografico del Comune di Villastellone, mappa originale del Comune di Villastellone, mazzo 217

Torino, Sezioni Riunite, Catasti, *Catasto Rabbini*, Circondario di Torino, Mappe, distribuzione dei fogli di mappa e linea territoriale, Piano topografico del Comune di Villastellone, mazzo 216, foglio II, Mappa originale del Comune di Villastellone



# Mapestop Cream

**Emulsione cremosa,  
a base di silano  
monomero per la  
realizzazione di barriere  
chimiche contro  
l'umidità di risalita  
capillare**



#### CAMPI DI APPLICAZIONE

Realizzazione di barriera chimica orizzontale per il risanamento di murature esistenti compatte in pietra, mattoni, tufo, calcestruzzo e miste, anche di pregio storico e artistico, o di recente costruzione, interessate dalla presenza di umidità di risalita capillare e sali solubili.

#### Alcuni esempi di applicazione

Il sistema può essere impiegato per interrompere e/o diminuire sensibilmente la risalita di umidità proveniente dagli elementi interrati, attraverso i pori capillari presenti in tutti i materiali da costruzione, in particolar modo per risanare:

- murature esistenti in pietra, mattoni pieni, tufo, calcestruzzo e miste poste in zone lagunari, in prossimità di corsi d'acqua o del mare;
- strutture in calcestruzzo;
- murature al cui interno sono presenti vuoti, purché preventivamente consolidate con boiacche da iniezione delle gamme **Mape-Antique** oppure **MapeWall**;
- murature dove non sono più efficaci gli interventi effettuati precedentemente, per esempio con cartoni bitumati o guaine bituminose;
- murature in blocchi di calcestruzzo cellulare;
- murature di recente costruzione;
- murature esistenti, anche di pregio storico ed artistico, sotto tutela delle Soprintendenze Belle Arti e Paesaggio.

#### CARATTERISTICHE TECNICHE

**Mapestop Cream** è un idrofobizzante in forma di gel a base di silano monomero, esente da solventi, pronto all'uso e di facile applicazione, efficace e duraturo nel tempo. Il prodotto viene iniettato in una serie di fori

praticati nella muratura, mediante semplice attrezzatura di estrusione. Dopo l'inserimento nella muratura, **Mapestop Cream** si diffonde in modo da formare una barriera idrorepellente, bloccando la risalita dell'umidità. I principi attivi di **Mapestop Cream** penetrando all'interno del supporto reagiscono con la silice presente nella muratura creando una barriera idrofobizzante che si espande, bloccando la risalita dell'acqua senza compromettere la traspirabilità della muratura.

#### AVVISI IMPORTANTI

- Dopo l'apertura della salsiccia o della cartuccia, **Mapestop Cream** deve essere utilizzato entro 24 ore.
- Non utilizzare **Mapestop Cream** in presenza di una muratura caotica e/o incoerente. Innanzitutto, procedere al riempimento di tutte le cavità interne, mediante iniezione di boiacche superfluide da scegliersi tra i prodotti delle linee **Mape-Antique** oppure **MapeWall**.
- Non utilizzare **Mapestop Cream** come trattamento protettivo idrorepellente di murature "faccia a vista" e di intonaci, contro l'acqua battente (impiegare **Antipluviol W** o **Antipluviol S**).
- Qualora sia prevista l'applicazione di un intonaco, attendere indicativamente una settimana dalla realizzazione della barriera chimica, in modo da favorire l'evaporazione dell'umidità presente nella parte soprastante alla zona dove è stato effettuato l'intervento.
- Nel caso in cui la struttura da risanare sia interessata da forte presenza di umidità di risalita capillare e da notevoli concentrazioni di sali solubili, si consiglia di applicare anche un intonaco deumidificante da scegliersi tra i prodotti delle linee **Mape-Antique** oppure **PoroMap**, al fine di "smaltire" anche quella

DATI TECNICI (valori tipici)	
DATI IDENTIFICATIVI DEL PRODOTTO	
Aspetto:	pasta cremosa
Colore:	bianco
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> ):	1
pH:	7-8
DATI APPLICATIVI DEL PRODOTTO	
Miscelazione:	prodotto pronto all'uso
Temperatura di applicazione:	da +5°C a +40°C



Realizzazione dei fori



Inserimento della salsiccia nella pistola e successivo taglio dell'estremità dalla parte dove verrà avvitata la ghiera



Fissaggio del tool di iniezione avvitando la ghiera alla pistola

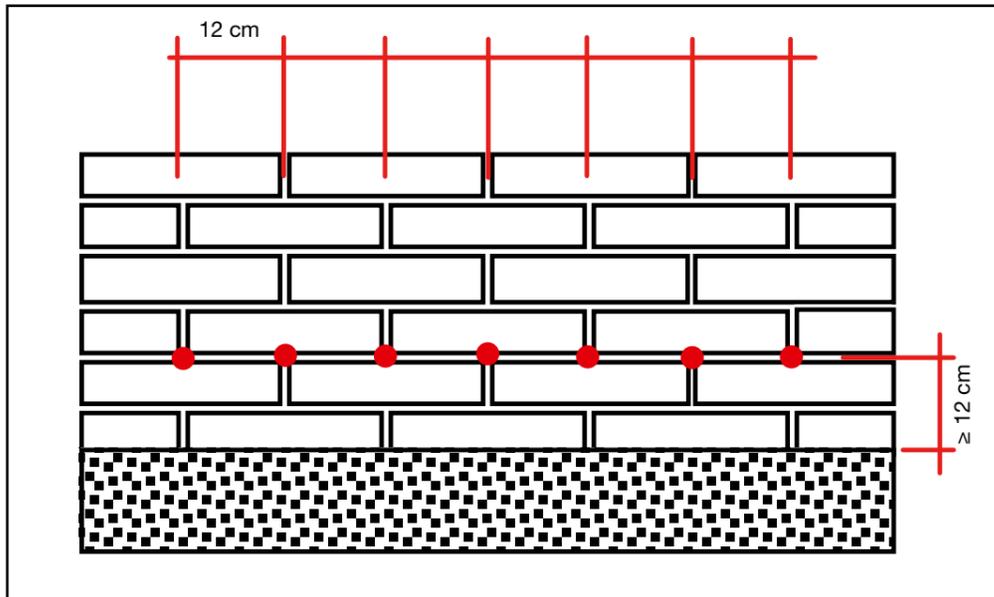


Figura 1

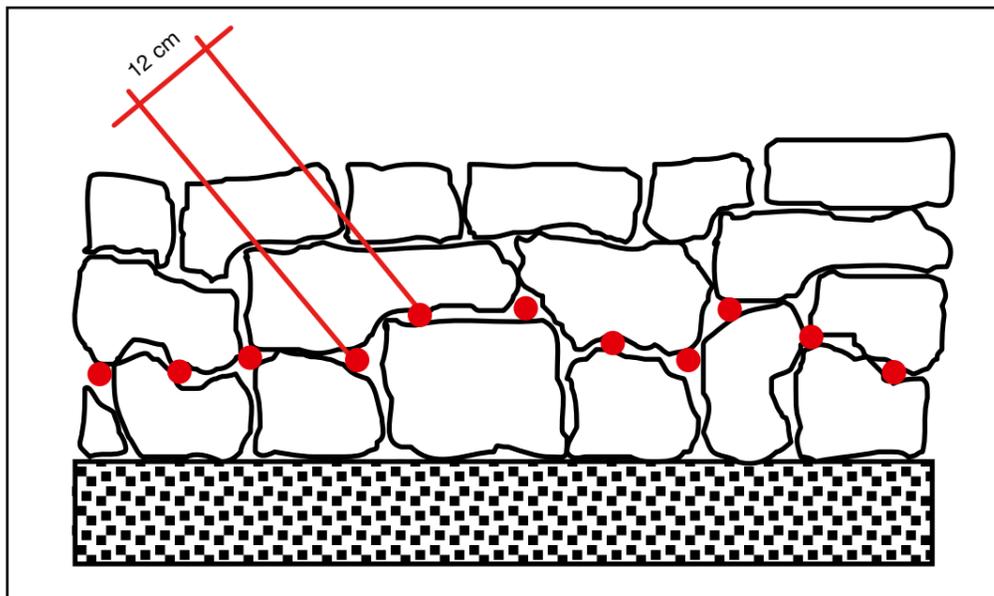


Figura 2

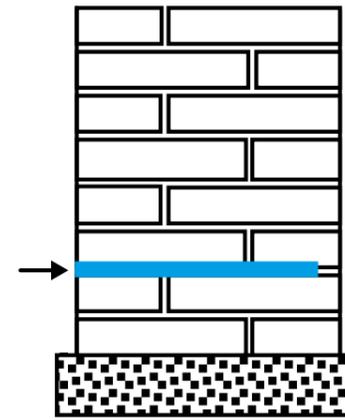


Figura 3

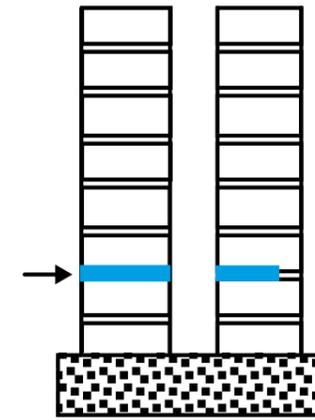


Figura 4

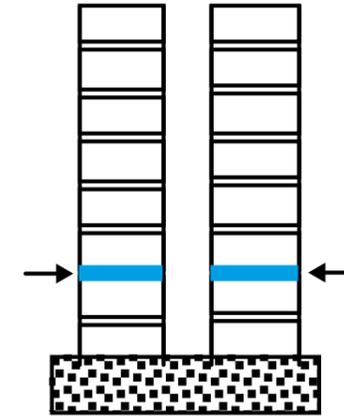


Figura 5

poca umidità che non dovesse essere intercettata dalla barriera chimica.

- Non utilizzare **Mapestop Cream** con temperature inferiori a +5°C.

### MODALITÀ DI APPLICAZIONE

#### Preparazione del supporto

Al fine di definire la corretta procedura di intervento, prima di realizzare la barriera chimica, è necessario verificare la tipologia della muratura. In presenza di una muratura caotica e/o incoerente con numerosi vuoti, procedere al riempimento di tutte le cavità interne, mediante iniezione di boiacche superfluide da scegliersi tra i prodotti delle linee **Mape-Antique** oppure **MapeWall**. Preferire **Mape-Antique F21** qualora la muratura presenti cavità anche di piccole dimensioni o risulti affrescata oppure **Mape-Antique I** o **Mape-Antique I-15** in presenza di grossi vuoti. Stuccare e "sigillare" tutte le eventuali fessure e discontinuità presenti sul paramento murario, che possano determinare la fuoriuscita della boiaccia, utilizzando una delle malte della linea **Mape-Antique**.

#### Realizzazione dei fori

Praticare nella muratura dei fori, mediante trapano a rotazione, come mostrato in Figura 1 e Figura 2, a seconda della tipologia della muratura. Tali fori dovranno avere un diametro di 12 mm e distanziati tra di loro non più di 12 cm, su un solo piano, ad almeno 12 cm oltre la quota del terreno. La profondità dei fori dovrà essere di ca. 5 cm inferiore rispetto allo spessore totale del muro.

Per le murature in mattoni, blocchi o pietra regolare, realizzare i fori orizzontalmente nei corsi di malta (Figura 1). Nei supporti composti da pietre irregolari o pietrisco, praticare i fori seguendo il corso di malta con un andamento il più possibile lineare (Figura 2). In presenza di elementi costruttivi fortemente porosi è possibile eseguire i fori direttamente negli stessi. Successivamente depolverizzare i fori con aria compressa, al fine di rimuovere polvere e residui di materiale incoerente.

#### Iniezione del prodotto Murature piene

Estrudere la crema riempiendo i fori (Figura 3), avendo cura di lasciare lo spazio necessario per la chiusura del foro con malata, per

uno spessore maggiore o uguale a 2 cm. Utilizzare per questa operazione il tubo di iniezione **Mapestop Cream Tool 280** (se si utilizza il prodotto in cartuccia) oppure **Mapestop Cream Tool 600** (nel caso si utilizzi il prodotto in salsiccia).

La confezione di **Mapestop Cream** in salsicce da 600 ml contiene al suo interno un tubo di iniezione in omaggio. Per l'applicazione del prodotto in cartucce si dovrà utilizzare una pistola per cartucce da 280 ml, mentre per il prodotto in salsicce si dovrà impiegare una pistola manuale per salsicce da 600 ml, tipo **Mapei Gun 600 Pro**.

#### "Murature a sacco" o con discontinuità

Estrudere la crema operando solo da un lato, oppure, se si preferisce, trattando ogni paramento separatamente. Nel primo caso (Figura 4), durante la realizzazione dei fori, consentire alla punta di oltrepassare l'intercapedine e quindi forare anche il secondo paramento. La consistenza tissotropica di **Mapestop Cream**, permette, durante l'estrusione del prodotto, di riempire il foro di ogni singolo paramento senza sprechi. Nel secondo caso si opererà su due lati trattando ogni parte come se fosse un singolo muro pieno (Figura 5).

#### Ripristino dell'intonaco

Dopo aver concluso l'iniezione di **Mapestop Cream**, effettuare la "sigillatura" di ciascun foro con una delle malte della linea **Mape-Antique**. Trascorse 24-48 ore dalla realizzazione della barriera chimica, rimuovere l'intonaco originale, qualora sia presente e successivamente attendere un periodo di tempo di circa una settimana, in modo da favorire l'evaporazione dell'umidità presente nella parte soprastante alla zona dove è stato effettuato l'intervento. Tale intervallo di tempo è in funzione del tenore di umidità presente nel paramento murario, del suo spessore e dei materiali che lo costituiscono, nonché della ventilazione e dell'irraggiamento solare ai quali è sottoposta la struttura. Nel caso in cui la struttura da risanare sia interessata da forte presenza di umidità di risalita capillare e da notevoli concentrazioni di sali solubili, si consiglia di applicare anche un intonaco deumidificante da scegliersi tra i prodotti delle linee **Mape-Antique** oppure **PoroMap**, al fine di "smaltire" anche quella



Estrusione della crema in salsiccia, riempiendo ciascun foro



Realizzazione barriera chimica in parete in CLS



Estrusione della crema in cartuccia riempiendo ciascun foro

# Mapestop Cream

poca umidità che non dovesse essere intercettata dalla barriera chimica.

## Pulizia

Le attrezzature utilizzate per la preparazione e l'iniezione di **Mapestop Cream** possono essere pulite con della carta o panni.

## CONFEZIONI

Scatola da 12 pezzi di cartucce da 280 ml. Scatola da 10 pezzi di salsicce da 600 ml che include n° 1 tubo di iniezione **Mapestop Cream Tool 600**, compatibile con la pistola manuale per salsicce **Mapei Gun 600 Pro**.

## CONSUMO

Il consumo dipende dallo spessore della muratura e dalla tipologia di supporto; che in presenza di murature poco compatte con presenza di grossi vuoti, potrebbe essere superiore a quello dichiarato. Di seguito riportiamo il numero indicativo di salsicce e cartucce necessarie per realizzare un metro di intervento, in funzione dello spessore della muratura.

Spessore della muratura (cm)	Numero di SALSICCE da 600 ml per metro lineare di muratura	Numero di CARTUCCE da 280 ml per metro lineare di muratura
14	0,2 pz	0,5 pz
27	0,5 pz	1 pz
40	0,7 pz	1,5 pz
50	0,8 pz	1,8 pz
60	1 pz	2,1 pz

Consumo generale: indicativamente 10 ml/m per ogni cm di spessore della muratura.

I valori si intendono puramente indicativi, in quanto possono variare in funzione del tipo di materiale di cui è composta la muratura, dello spessore e della quantità di vuoti presenti al suo interno.

## IMMAGAZZINAGGIO

12 mesi in luogo coperto ed asciutto, protetto dalla luce diretta del sole, indicativamente a temperature comprese tra +5°C e +30°C, negli imballi originali non aperti.

**ISTRUZIONI DI SICUREZZA PER LA PREPARAZIONE E LA MESSA IN OPERA**  
Mapestop Cream non è considerato

## VOCE DI PRODOTTO

Formazione di barriera chimica orizzontale in murature esistenti compatte in pietra, mattoni pieni, tufo, cls e miste, anche di pregio storico ed artistico, o di recente costruzione, interessate dalla presenza di umidità di risalita capillare e sali solubili, mediante iniezione con pistola manuale per salsicce da 600 ml o per cartucce da 280 ml, di emulsione cremosa, a base di silano monomero (tipo **Mapestop Cream** della MAPEI S.p.A.).

Il prodotto dovrà avere le seguenti caratteristiche:

Aspetto:	pasta cremosa
Colore:	bianco
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> ):	1
Temperatura di applicazione permessa:	da +5°C a +40°C
Consumo:	in funzione dell'assorbimento e dallo spessore della muratura. Indicativamente 10 ml/m per ogni cm di spessore della muratura

pericoloso ai sensi delle attuali normative sulla classificazione delle miscele. Si raccomanda di indossare guanti e occhiali protettivi e di utilizzare le consuete precauzioni per la manipolazione dei prodotti chimici.

Per ulteriori e complete informazioni riguardo l'utilizzo sicuro del prodotto si raccomanda di consultare l'ultima versione della Scheda Dati Sicurezza.

PRODOTTO PER USO PROFESSIONALE.

## AVVERTENZA

*Le informazioni e le prescrizioni sopra riportate, pur corrispondendo alla nostra migliore esperienza, sono da ritenersi, in ogni caso, puramente indicative e dovranno essere confermate da esaurienti applicazioni pratiche; pertanto, prima di adoperare il prodotto, chi intenda farne uso è tenuto a stabilire se esso sia o meno adatto all'impiego previsto e, comunque, si assume ogni responsabilità che possa derivare dal suo uso.*

**Fare sempre riferimento all'ultima versione aggiornata della scheda tecnica, disponibile sul sito [www.mapei.com](http://www.mapei.com)**

## INFORMATIVA LEGALE

**I contenuti della presente Scheda Tecnica possono essere riprodotti in altro documento progettuale, ma il documento così risultante non potrà in alcun modo sostituire o integrare la Scheda Tecnica in vigore al momento dell'applicazione del prodotto MAPEI.**

**La Scheda Tecnica più aggiornata è disponibile sul nostro sito [www.mapei.com](http://www.mapei.com).**

**QUALSIASI ALTERAZIONE DEL TESTO O DELLE CONDIZIONI PRESENTI IN QUESTA SCHEDA TECNICA O DA ESSA DERIVANTI ESCLUDE LA RESPONSABILITÀ DI MAPEI.**

**Le referenze relative a questo prodotto sono disponibili su richiesta e sul sito [www.mapei.it](http://www.mapei.it) e [www.mapei.com](http://www.mapei.com)**

# ECTOR

PROTETTIVO NANOTECNOLOGICO

## PP-10 e PP-50

Ector® PP-10 è una formulazione nanotecnologica veicolata da una base d'acqua da utilizzarsi per proteggere pavimentazioni minerali porose come: cotto, pietre arenarie, porose, calcaree, cemento, autobloccanti, tufo, marmo grezzo, fughe, ecc..

Ector® PP-10/PP-50 hanno di base matrice e caratteristiche simili ai protettivi per supporti verticali RP-10 e RP-50. La concentrazione di nano particelle in Ector® PP-10/PP-50 è

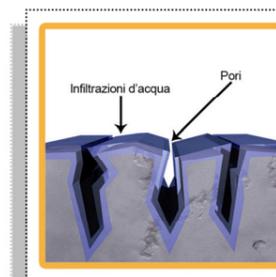


tuttavia più elevata e strutturata per consentire al trattamento di "resistere" alle sollecitazioni più forti a cui le pavimentazioni sono soggette: ripetuti passaggi pedonali, carrabili, ecc.

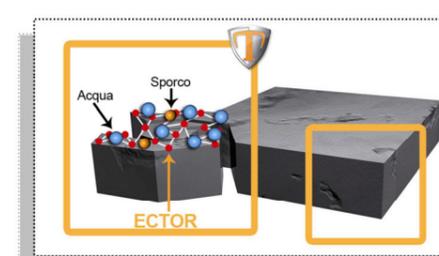
Ector PP-10 NON è un impregnante e NON pellicola, ma trasforma la tensione di superficie da attrattiva a repulsiva.

Le nano particelle di SiO<sub>2</sub> utilizzate, si dispongono all'interno delle microporosità ( le nano particelle hanno una dimensione pari a un milionesimo di millimetro) e creano una struttura bi-e tridimensionale in scala nanometrica, formando un **CAMPO DI BASSA TENSIONE**. Trasformare l'energia di superficie della materia da **alta a bassa**, è di primaria importanza perché permette agli agenti inquinanti ( acqua, sporco, muffe, batteri) di non penetrare nel substrato. Questi ultimi quindi restando in superficie, scivoleranno via in caso di pioggia o potranno essere asportati molto facilmente.

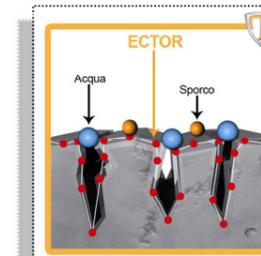
Questo sistema è unico poiché lascia pressoché invariata la traspirazione dei materiali porosi, proteggendoli.



Microporosità di una superficie non trattata soggetta a infiltrazioni d'acqua e sporco



Struttura bi e tridimensionale creato da Ector®. La superficie è assolutamente inattaccabile da parte di ogni contaminazione esterna.



Dettaglio della microporosità di una superficie trattata con Ector®. I puntini rossi evidenziano la presenza della protezione di Ector anche nella più piccola microporosità.

## CARATTERISTICHE E VANTAGGI DI ECTOR® PP-10/PP-50

- Per materiali minerali porosi sia interni che esterni.
- Non crea una pellicola, non tappa né sigilla la superficie, lasciandola quindi perfettamente **traspirante**
- **Non è un impregnante**, la sua applicazione è estremamente semplice, abbatte quindi i tempi e i costi di manodopera. ( E' sufficiente una sola mano).
- Evita la formazione di **muffe, muschi, funghi** in quanto la superficie trattata non subisce infiltrazioni d'acqua, impedendo alla vegetazione di proliferare.
- Grazie all'assenza di umidità **non si scateneranno reazioni di salnitro**.
- **Riduzione dell'umidità di risalita capillare**.
- **Elimina le infiltrazioni d'acqua**.

La riproduzione di testi, foto e illustrazioni di questa pubblicazione è vietata e viene perseguita ai sensi di legge

7668-1-2020 (I)



IL PARTNER MONDIALE DEI COSTRUTTORI

- Eccellente protezione delle fughe.
- Protegge dalle macchie d'olio su piazzali.
- E' resistente al **calore** (+ 450°C) al **gelo** (-35°C) e ai **raggi UV**
- Non cambia l'aspetto della superficie trattata
- Ector PP-10 è privo di solventi ed è inodore
- Ector@PP-10 è già pronto all'uso e si applica direttamente sulle superfici porose
- **Ector® PP-50** ha le stesse caratteristiche descritte in PP-10, ma con una maggior concentrazione di matrice attiva per supportare situazioni più critiche. ( ad esempio eccessiva porosità)
- **Questo sistema è unico poiché lascia pressoché invariata la traspirazione dei materiali porosi, proteggendoli.**

#### MODALITA' DI APPLICAZIONE

##### **Ector®PP-10 : versatile e facile da applicare**

**Ector®PP-10** è già pronto all'uso. Ai fini del trattamento, è fondamentale l'applicazione su una superficie pulita e priva di grassi, muffe, muschi..ecc. Si consiglia l'utilizzo di un dispositivo airless HVLP con ugelli dimensionati 0,5 -0,8 di diametro in quanto questi ultimi permettono di coprire una superficie maggiore senza dispersione di prodotto.

**Ector®PP-10** può essere applicato anche con pennello, rullo o spazzola, spruzzo, anche se queste tecniche porteranno ad un maggior consumo di prodotto.

Assicurarsi che il substrato sia pulito e che non vi siano residui di altri protettivi usati in precedenza (siliconici, silossanici) in quanto la presenza, seppur marginale degli stessi ( a chiazze) potrebbe inibire l'aggregazione delle nano particelle di Ector®.

Assicurarsi di coprire tutta la superficie in maniera uniforme. Se quest'ultima è molto porosa, è possibile/consigliabile effettuare una seconda mano entro massimo 2-3 minuti dalla prima applicazione ( bagnato su bagnato) evitando che il prodotto si asciughi.

In caso di aree ampie, bisogna procedere applicando il prodotto su metri quadrati limitati. Dopo il primo contatto **Ector®PP-10** entra immediatamente all'interno dei pori. La superficie una volta asciutta risulta già protetta, ma l'affetto ottimale si ottiene 24 ore dopo l'applicazione. ( a temperatura ambiente di 20°C). Consigliamo quindi di testare l'effetto dopo avere atteso questo tempo.

La superficie deve essere perfettamente asciutta prima di camminarvi sopra.

**INFILTRAZIONI D'ACQUA.** Ector® PP-10, risolve in maniera definitiva uno dei problemi più sentiti in edilizia. Questo fenomeno spesso si verifica per eccessiva porosità o degrado dei materiali. I normali additivi impregnanti pellicolanti spesso falliscono perché manca una perfetta adesione fra protettivo e materiale. ( sbalzi termici=crepe). Le proprietà di Ector® agiscono in dimensione atomica, permettono ai nano-componenti di aggregarsi alle molecole che formano la materia minerale del substrato, **manipolandola**. Sostanzialmente possiamo dire che creiamo "una nuova materia di superficie", dal valore aggiunto. Anche il più piccolo granellino di materia non attrae, ma respinge inquinanti come acqua, umidità e sporco.

**FUGHE CEMENTIZIE:** Ector® PP-10/PP-50 è ottimo per risolvere problemi di sporco e infiltrazioni. Consigliamo di asciugare il prodotto che sborda sulla piastrella per evitare eventuali aloni che risulterebbero più difficili da rimuovere successivamente.

**TERRAZZI:** anche su terrazzi nuovi o piastrellati si possono riscontrare problemi di infiltrazioni quasi sempre da imputare all'eccessiva porosità delle fughe. Assicurarsi che non vi siano crepe o distacchi eccessivi, nel caso, stuccare con cementizio idoneo, poi proteggere con **Ector®PP-10/PP-50**. Consigliamo in questi casi anche la protezione verticale del perimetro, fino a circa 1 metro.

#### Informazioni aggiuntive e consigli per l'utilizzatore:

- Prima dell'applicazione, per effettuare la pulizia, non utilizzare detergenti con PH inferiore a 3 o superiore a 12. ( acidi acuti o ad alta basicità). Nel caso, risciacquare attentamente la superficie e neutralizzare. Assicurarsi che non vi siano residui.
- Durata: se applicato in modo corretto la durata stimata è di 5/8 anni.

**Copertura:** da 20 a 30 mq/Litro a seconda del grado di assorbimento del substrato e della tecnica di applicazione utilizzata.

**Magazzinaggio:** Almeno 12 mesi nel suo contenitore originale e chiuso. Dopo l'apertura il prodotto deve essere applicato o consumato entro massimo 6 mesi.

**Temperature di stoccaggio:** da + 4°C a + 40°C A richiesta da -10°C fino a + 40°C

**Confezioni:** Litro - Tanica da 5 o 10 Litri – Fusto da 200 o 1000 Litri

**PH** 5 ; A richiesta a PH neutro.

**Nota bene:** Le informazioni contenute nella presente scheda, sono basate sulle migliori esperienze pratiche e di laboratorio. Non possono in nessun caso implicare una garanzia da parte nostra, né responsabilità circa l'utilizzazione dei nostri prodotti, non essendo le condizioni di impiego sotto il nostro controllo. Si raccomanda, prima dell'utilizzo del prodotto, di effettuare pratiche che ne confermino l'idoneità per l'uso previsto. I dati possono essere variati in qualsiasi momento senza obbligo di preavviso.



**Ector® Protettivo Nanotecnologico** è un prodotto R. & R. GROUP Srl Via F. Foscari,8 36016 – THIENE (VI)

Tel. 0445 366572 [www.ectorlab.com](http://www.ectorlab.com) [info@ectorlab.com](mailto:info@ectorlab.com)

