

## 5 IL RECUPERO

### 5.1 IL RECUPERO

#### 5.1.1 I MATERIALI UTILIZZATI NELL'EDIFICAZIONE DELL'IMPIANTO

**Le murature della centrale idroelettrica:** sono realizzate in laterizio pieno, considerata l'epoca a cui risale l'edificio e le informazioni ricavate da ricerche in ambito locale, si può sostenere che il formato dei mattoni sia simile all'attuale formato UNI. L'argilla a pasta, di cui sono composti i laterizi, in seguito alla cottura, ha assunto una colorazione bruno rosata (sinonimo di buona cottura e ricchezza di ferro).



**Fig. 1.** Mattoni del paramento murario del prospetto est dell'edificio.  
(Archivio Privato A. Nardiello)

La fattura più probabile è quella delle fornaci della vicina cittadina di Calitri (Provincia di Avellino), o dei centri della Valle dell'Ofanto, dove all'epoca erano presenti numerose fornaci. Il paramento murario presenta una tessitura a blocco con sfalsamento dei giunti verticali. Il suo spessore varia, rastremandosi verso l'alto e sotto le finestre (spessore minimo 30 cm, massimo 60 cm). Nel casotto laterale gli angoli sono rinforzati con blocchi quadrati di calcare autoctono, di dimensioni regolari. Lungo le pareti laterali dell'edificio sono ammorsate 10 lesene (5 per lato), che servivano a sostenere i binari su cui scorreva il carroponete.

**Gli intonaci e i cementi della centrale:** sono logicamente differenziati, a seconda delle parti dell'edificio.

All'esterno, lungo il corpo principale, l'intonaco è stato realizzato in due strati, usando calce quale legante, inerti, sabbia di granulometria medio-grande a seconda dello strato.

Le cariche sono sicuramente di natura calcarea, perché estratte in zona o provenienti da setacciamenti degli alvei fluviali.



**Fig. 2.** Campione di pietrisco calcareo. (Archivio Privato A. Nardiello)



**Fig. 3.** Particolare intonaco esterno della centrale. (Archivio Privato A. Nardiello)

Negli interni, gli intonaci sono composti da due strati: l'arriccio, confezionato con la stessa calce dell'esterno e con sabbia di fiume setacciata di granulometria fine, la finitura, realizzata con grassello e con le stesse cariche dell'arriccio .

**Gli intonaci della vasca:** sono realizzati con un impasto di cemento Portland, una dosatura bassa di sabbia di fiume e una cospicua quantità di acqua, per ridurre l'effetto di ritiro. La stesura è molto curata e lo spessore, elevato, di 3 cm circa.

**Le cornici delle finestre:** sono state eseguite in malta di cemento grassa, inerti di fiume di granulometria grossa, gretoncini e scagliette di laterizio; la finitura è in grassello (calce e acqua).



**Fig. 4.** Particolare cornice della finestra. *(Archivio Privato A. Nardiello)*



**Fig.5.** Campione di sabbia di fiume. *(Archivio Privato A. Nardiello)*



**Fig. 6.** Particolare dell'intonaco interno. (*Archivio Privato A. Nardiello*).

**Il tetto a capanna:** sono realizzate con tavelloni di laterizio semipieno, di lunghezza 120 cm, 25 cm di lato corto e spessore 8 cm, successivo strato di malta bastarda, finito con tegole marsigliesi.

**Gli acciai degli elementi strutturali della centrale.**

Fino ai primi del Novecento i materiali ferrosi venivano classificati come: ghisa, ferro ed acciaio, o ferro omogeneo. Sotto il nome di acciai si indicano le leghe ferro-carbonio, nelle quali quest'ultimo è presente fino al 1,7%, e di altri elementi (nocivi o migliorativi), in proporzioni massime prefissate. Di questi elementi i principali sono: il fosforo (P), lo zolfo (S), il silicio (Si), il manganese (Mn) ed il nichel (Ni). Per tenori di carbonio più elevati, le leghe prendono il nome di ghise. Le leghe metalliche, utilizzate agli inizi del '900 per gli elementi strutturali, erano costituite da un agglomerato di masse pastose e presentavano un tenore di carbonio compreso tra lo 0.05% e lo 0.2%. Tuttavia, la presenza di scorie conferiva al materiale una struttura fibrosa e non omogenea, che ne riduceva le prestazioni meccaniche (per questo nelle verifiche statiche si sono utilizzati valori di resistenze ridotti rispetto agli attuali in normativa).

In Italia, il primo documento normativo sulla resistenza del ferro, da utilizzare nelle travate dei ponti ferroviari, fu pubblicato dal Ministero LL.PP. nel 1887. Esso prescriveva le seguenti resistenze meccaniche, espresse in MPa: rottura = 320, limite elastico = 150. L'allungamento era limitato al 7%. Nel secolo scorso, per la maggior quantità d'acciaio, veniva prodotto dalla ghisa, eliminando o riducendo la presenza della maggior parte degli elementi che in questa lega accompagnano il ferro.

All'inizio del secolo, accanto ai tradizionali processi di produzione dell'acciaio nei convertitori Martin, Bessmer e Thomas, hanno avuto notevole impulso i forni elettrici.

**Sistema a capriata "Polonceau"**, molto utilizzato in quegli anni.

Camille Polonceau, ingegnere del corpo di ponti e strade di Francia, era partito, nella invenzione del suo sistema (1840), dal semplice problema della eliminazione delle spinte di due travi armate (ovvero costituite da una trave rinforzata da un tirante e un contraffisso), tra loro collegate al colmo. Trovò la soluzione unendo le basi dei due contraffissi con un tirante in ferro forgiato. Man mano che aumentavano gli arcarecci, aumentava il numero dei triangoli sul piano della capriata, in modo che ogni volta il carico sull'incavallatura agisse direttamente sul nodo e il sistema statico fosse il più vicino possibile allo schema reticolare. Tale modello aveva subito un forte sviluppo dopo la costruzione di diversi ponti ferroviari in Svizzera, e sembrava ormai senza concorrenza rispetto alle strutture a parete piena, anche grazie all'affinamento delle metodologie di calcolo delle strutture reticolari.



**Fig. 7.** Particolare capriata e travi. (*Archivio Privato A. Nardiello*)





Fig.8. Ingiunzione di pagamento alla Società Lucana per fornitura di acciaio.  
(Archivio Privato A. Nardiello)

Nelle giunzioni, i profili metallici sono saldati fra loro, questa è una caratteristica che necessita di molta cautela nelle valutazioni strutturali.

La saldatura, se pure nota da tempo e utilizzata in alcuni casi, per lo più in elementi non strutturali, può essere considerata una tecnologia abbastanza recente, largamente diffusa solo in costruzioni moderne.

Le ragioni che hanno limitato l'uso delle saldature in ferro sono da ricercare nella difficoltà di conoscere e dominare fenomeni legati alla tecnologia delle prime saldature, quali gli stati di coazione causati dalle alte temperature, la fragilità dei materiali in prossimità delle saldature e le variazioni di resistenza dei materiali. Di difficile valutazione erano anche gli stati tensionali pluriassiali, presenti nelle unioni saldate. La limitata conoscenza di tali fenomeni ha portato anche ad alcuni crolli, quale ad esempio quello del ponte di Hasselt, in Belgio, avvenuto dopo il collaudo, a struttura scarica, nel 1938. Tali eventi hanno aumentato la diffidenza, per tale tipo di unione, nei costruttori. Nel caso di vecchie strutture con unioni saldate, si dovrà pertanto procedere con particolare cautela, verificando, mediante indagini accurate, l'affidabilità delle saldature, utilizzando comunque stati tensionali ammissibili cautelativi.

**Gli altri elementi metallici**, fra cui le travi a “doppio T” della copertura e dei solai a voltine, i profili a “T” ed “U” della copertura, sono detti profili piatti. Già negli anni '60 dell'800, erano prodotti in forme molto simili a quelle odierne; alla fine del secolo la standardizzazione era quasi compiuta e nel 1925 esistevano, in Italia, tabelle unificate per molti profili e lamiera, anche se le travi a doppio T venivano spesso prodotte con profili diversi tra loro, a seconda delle ferriere. I ferri piatti (ferri universali), che si ottenevano dai cosiddetti “cilindri universali”, potevano raggiungere una larghezza di 80 cm. e una lunghezza di 14 m., ma normalmente non si andava oltre gli 8 m. I ferri piatti di lunghezza maggiore avevano un costo superiore alle lamiera, ma erano ritenuti preferibili, sia per la possibilità di avere una maggiore dimensione, sia per la migliore qualità del materiale. Per larghezze superiori agli 80 cm. (i cosiddetti “larghi piatti”) si usavano le lamiera, il cui spessore andava ordinariamente dai 7 ai 15 mm. e, eccezionalmente, fino a 25 mm., per piastre d'appoggio e per piastre di attacco. Alla fine del secolo XIX si producevano lamiera con spessore massimo di 25 mm., mentre i ferri piatti potevano raggiungere qualsiasi spessore.

Erano in catalogo anche ferri quadrati e circolari, dalle dimensioni del lato o dal diametro variabile da 5 a 150 mm., lunghezza da 5 a 14 m.; lunghezza normale da 5 a 6 metri.

I profili a “doppio T”, tra i più utilizzati in edilizia, sono designati con il simbolo seguito dall’altezza espressa in millimetri; i profili normali a doppio T (o “normalprofilo”, NP), fabbricati fino a tutti gli anni ‘50, erano forniti in altezze da 80 a 600 m.; negli anni ‘60 è cessata la produzione per altezze oltre i 200 mm. ed essi sono stati sostituiti dall’”IPE” (“profilo europeo”) da 80 a 600 mm. e dal profilo “HE”, ad ali larghe parallele, del tipo A, B, e C.

### **I solai a voltine:**

Come spiega Gustavo Giovannoni nei suoi appunti di “*Elementi delle Fabbriche*”, redatti per la Regia Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Roma nel 1919, il solaio con travi in ferro non è che una semplice variante del solaio ligneo, del quale riprende una serie di dettagli costruttivi, legati sia alla tipologia di appoggio che alla natura del materiale.

Il solaio che copre il casotto laterale della centrale e il piano rialzato del corpo principale è il tipo più comune, particolarmente in voga nei primi trent’anni del XX secolo. È costituito da travi a “doppio T”, sulle cui ali inferiori sono appoggiate delle voltine di mattoni disposte in foglio.

Le travi hanno in genere interasse variabile e il peso, proprio attribuibile al solaio, varierebbe da 200 a 300 kg/mq.

L’appoggio delle travi è in genere di 20-25 cm (si noti la corrispondenza con l’indicazione trattatistica che riguarda le travi in legno, che devono entrare per almeno un palmo nella muratura). Data la fragilità delle “volticciole”, dovuta all’essere molto ribassate, tali solai sono molto sensibili alle deformazioni degli appoggi e agli spostamenti laterali dei muri di estremità, talvolta causati dalle spinte delle “volticciole” stesse.

Nei manuali dell’epoca è frequente, pertanto, l’indicazione di collegare le putrelle tramite una catena perpendicolare, soprattutto per le “volticciole” di estremità, onde assorbire le spinte delle stesse ed evitare cedimenti.

Un’ulteriore deficienza, spesso presente, è l’eccessiva deformabilità, dovuta ad un inadeguato dimensionamento delle putrelle. Il consolidamento può, in genere, essere facilmente effettuato con la realizzazione di solette collaboranti.





**Fig. 9.** Particolare della copertura a voltine del casotto adiacente alla centrale.  
*(Archivio Privato A. Nardiello)*

**Gli infissi:** sono metallici, con un disegno utilizzato ad inizio '900 nella maggior parte degli edifici industriali. Tutta la superficie è coperta da vernice protettiva antiruggine, di colore grigio chiaro. I vetri venivano fissati al telaio con pasta di mastice.

**I pavimenti:** sono in gres industriale, di colore bordeaux e forma esagonale di lato 7 cm.



Fig. 10. Esploso assonometrico dell'edificio della centrale.  
(Elaborazione A. Nardiello)

**Il corpo diga:** è stato dimensionato in base alla semplice formula del cilindro e verificata per anelli elastici orizzontali, sovrapposti, indipendenti ed incastrati alle estremità. Gli sforzi massimi di compressione sono risultati inferiori a  $10 \text{ Kg/cm}^2$ , quelli di trazione contenuti entro  $2-3 \text{ Kg/cm}^2$ . Considerando le notevoli dimensioni di spessore del muro di sbarramento e la particolare conformazione della sua sezione, le sollecitazioni termiche possono essere ritenute trascurabili. Il corpo è monolitico, quindi privo di alcun giunto di dilatazione: nell' esecuzione dell'opera si è proceduto a getti orizzontali di circa 5 metri. **Gli inerti:** sono stati ricavati dalla macinazione della roccia calcarea locale; non vi sono dati in possesso che testimoniano lo studio di una curva delle graduazioni degli inerti.

Da considerazioni su studi effettuati, la pezzatura risulta essere troppo bassa e non omogenea.

**Il calcestruzzo:** utilizzato risulta essere il portland normale, come di consuetudine in quegli anni per la costruzione delle dighe.

**La dosatura di impasto:** è stata di 650 kg di cemento per 1 m<sup>3</sup> di sabbia ed 1,5 m<sup>3</sup> di pietrisco.

**Le prove di resistenza:** sulle malte, effettuate presso il laboratorio del Politecnico di Napoli, hanno dato, a 28 giorni di stagionatura, resistenze variabili da 302 a 466 Kg/cm<sup>2</sup> alla compressione e da 29 a 56 Kg/cm<sup>2</sup> alla trazione.

Nel 2003 sono state effettuate prove di resistenza su carotaggi di diametro 9,43 cm, estratti dal corpo diga.

La mancanza di una curva di graduazione, la presenza di vuoti, una classe di inerti di diametro basso, potrebbero far ritenere che il cls non sia di buona qualità, il che contrasta con i valori di compressione, ottenuti sperimentalmente. Ciò potrebbe far dedurre un rapporto acqua/cemento (utilizzato per l'idratazione) favorevolmente basso.

Si è ottenuto così un agglomerato a caratteristiche reologiche elevate, con una lavorabilità bassa, ma con la presenza di un legante di buona fattura, con valori contenuti dei vuoti capillari.

Anche ai dati forniti dallo Studio di fattibilità per il recupero dell'invaso prodotto dall'Università di Bari, si può sostenere che lo stato del materiale sia ottimale e che i valori di resistenza a compressione siano complessivamente validi.



Fig. 11. Copia della raccomandata originale del fornitore dei cementi della società lucana.  
 (Archivio Privato A. Nardiello)

Società Italiana e Società Anonima  
**FABBRICHE RIUNITE CEMENTO E CALCE**  
 Società Anonima - Capitale Sociale L. 70.000.000 - 424  
 Sede e Amministrazione in BERGAMO  
 Salerno, li 18 Settembre 1925

UFFICIO VENDITE  
 PER L'ITALIA MERIDIONALE  
 SALERNO

Spett. SOCIETA' LUCANA PER IMPRESE  
 IDROELETTRICHE  
 MURO LUCANO (Potenza)

Vi comuniciamo qui al seguito i prezzi che - colla osservanza delle nostre condizioni generali e particolari di vendita, la cui accettazione senza eccezioni o riserve, anche in rapporto alla competenza del Foro, si intenderà inequivocabilmente dichiarata nell'atto stesso di Vostre commissioni - avranno valore con decorrenza dal 18/9/1925 salvo diritto di revisione tri-  
 mensuale - al 31 Dicembre 1925

Nomenclatura dei Prodotti	Prezzi per ogni quintale di merce pasta											
	Officina Italiana		Officina Estera		Bianchi Cinghia		Bianchi Chiaro		Vapori Occore			
	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C
Cemento Bianco												
Cemento - Grigio												
Cemento Portland Superiore Artificiale												
Cemento Portland Normale Artificiale												
Cemento Portland Superiore Marco - Martello												
Cemento Portland Normale Marco - Martello												
Cemento Portland Superiore												
Cemento Portland Normale												
Cemento a presa press												
Calce emulsionante idraulica												

Quando usciranno i sacchi di carta il prezzo verrà aumentato di L. ... al qle ed il sacco non verrà fatturato.

Veggasi a lato le Condizioni Generali di Vendita e quelle per gli imballaggi.

SACCHI L. 8.00 ciascuno.

A vostro carico le tasse di bollo, quelle ferroviarie di trazione e manovra carri e le spese necessarie per la utilizzazione dei carri e dei copertoni, queste ultime in ragione di L. 25, = come spesa anticipata per ogni vagone.

Senza derogare al nostro domicilio legale in Bergamo, è consentito che la esecuzione materiale dei PAGAMENTI venga effettuata all'Ufficio di Salerno, in valuta legale a trenta giorni data fattura sconto 2 % ~~contante~~ ~~mediante~~ Lo sconto non è applicabile al valore dei sacchi, ai bolli, ad eventuali anticipi di nolo, ecc.

Distinti saluti.


UFFICIO VENDITA per l'ITALIA MERIDIONALE  
 IL GERENTE  


Fig. 12. Estratto del listino dei cementi, inviato alla società lucana per aggiornare i prezzi dei prodotti forniti in precedenza.  
 (Archivio Privato A. Nardiello)

**Il cemento Portland artificiale:** è un legante idraulico, in quanto, mescolato con acqua, dà luogo a una pasta che indurisce e rimane chimicamente stabile, anche se conservata sott'acqua. Questo è il più importante dei leganti idraulici; si ottiene per macinazione del clinker, con piccole aggiunte di gesso biidrato o di anidride, ed eventualmente di altri materiali, quali pozzolana, sabbia, calcare, loppa d'altoforno, ecc. La percentuale dei materiali aggiunti al clinker deve essere contenuta entro certi limiti. In particolare, se il tenore di pozzolana o di loppa d'altoforno raggiunge valori maggiori, il cemento è denominato rispettivamente pozzolanico o d'altoforno.

Il clinker, che è il costituente più importante del cemento Portland (85-95%), è il prodotto della cottura, a circa 1300-1500°C, di una miscela di argilla, calcare, sabbia, ceneri di pirite, ecc.

La produzione del cemento Portland consiste nel macinare e mescolare le materie prime, nel cuocere la miscela fino a ottenere una fusione parziale ("clinkerizzazione"), cioè fino a ottenere dal 20% al 30% di fase liquida, nel raffreddare piuttosto rapidamente il prodotto della cottura (clinker) e nel macinare il clinker in presenza di gesso biidrato o di anidride. I processi di fabbricazione si differenziano sostanzialmente nel metodo di mescolamento delle materie prime. Nel cosiddetto processo a secco, più diffuso, le materie prime sono frantumate con frantoi rotativi o a mascelle, dosate, mescolate, essiccate, macinate in mulini a sfere e omogeneizzate in silo per insufflamento di aria; la polvere così ottenuta (denominata "farina") viene, infine, inumidita per formare le graniglie che alimentano il forno. Subito dopo il mescolamento del cemento con l'acqua, la pasta si presenta come una massa plastica facilmente deformabile. Di solito, dopo qualche ora, essa diviene più consistente e comincia a perdere la sua deformabilità, cioè a far presa.

**Indurimento e resistenza meccanica del cemento Portland:**

Terminata la presa, la pasta di cemento Portland diventa sempre più rigida e dura, fino ad assumere l'aspetto di una pietra: questo processo prende il nome di indurimento. La sua misura viene effettuata sollecitando a compressione o a flessione il materiale indurito; il valore della tensione di carico, che ne provoca la rottura, prende il nome di resistenza meccanica a compressione o a flessione. La resistenza meccanica dei manufatti in cemento, e del calcestruzzo in particolare, è indubbiamente la loro proprietà più importante.



Sebbene da un punto di vista pratico si conosca ormai con sufficiente esattezza l'influenza dei vari parametri "tecnologici" (lavorabilità, compattazione, rapporto acqua/cemento, tipo e dosaggio di cemento, tipo di inerte, tipo di additivo, durata della stagionatura, temperatura e umidità relativa dell'ambiente) sulla resistenza del calcestruzzo, si è ancora molto lontani dal conoscere, da un punto di vista scientifico, il contributo di tutti i fattori che determinano la struttura della pasta di cemento a livello microscopico e atomico. Ciò dipende dal fatto che questi fattori sono molto numerosi e non tutti possono essere studiati singolarmente. I più importanti sono: il legame che tiene unite le particelle di cemento idratato, la superficie specifica, la porosità capillare, la forma delle particelle di cemento idratato, l'umidità presente nella pasta cementizia.

Il prodotto della reazione tra l'acqua e il cemento Portland è costituito da una matrice di gel idrosilicatico ( $C_3S$ ), di natura prevalentemente colloidale, nella quale sono dispersi cristalli di idrossido di calcio, di solfoalluminati idrati, ecc, che nell'insieme prende il nome di "gel di cemento".

La pasta cementizia, nella quale si forma il gel di cemento, presenta una struttura microporosa, cui si deve un grande sviluppo superficiale. Si distinguono solitamente due categorie di pori: i pori capillari, situati tra le particelle del gel, osservabili con il microscopio elettronico e aventi una dimensione compresa tra qualche decina di  $\mu\text{m}$  e qualche  $\text{mm}$ ; i pori del gel, presenti dentro il gel di cemento, di dimensione variabile da un minimo di qualche decimo di  $\text{mm}$  a un massimo di qualche decina di  $\text{mm}$  (con il valore più frequente situato a 1.5  $\text{mm}$ ). Ciò significa che più della metà delle superfici solide sono così vicine da risentire fortemente delle forze attrattive, dovute ai legami di van der Waals.

Si è molto discusso sulla natura dei legami chimici che tengono unite le particelle di cemento idratato. E' stato suggerito che la grande differenza tra la resistenza a trazione e quella a compressione, che sono approssimativamente in rapporto di 1:10, dipenda dalle diverse forze dei legami chimici in gioco. E' noto che le forze dei legami di van der Waals, dei legami a idrogeno e dei legami di valenza sono all'incirca in rapporto 1:10:100. Lea (6) ha proposto che nella rottura a trazione si debbano vincere le forze di van der Waals, mentre nella rottura a compressione siano coinvolte le forze di legami di valenza; in tal caso, però il rapporto tra la resistenza a trazione e

quella a compressione dovrebbe essere all'incirca 1:100. Questo disaccordo potrebbe però essere spiegato con il fatto che i legami di valenza, o legami chimici "primari", non interesserebbero estensivamente tutta la superficie di contatto tra le particelle.

Una teoria alternativa sulla natura dei legami interparticellari, esistenti nella pasta di cemento, è stata proposta da Feldmann e Serena. Questi autori ritengono che il legame che tiene unite le varie particelle nasca dal contatto solido-solido delle particelle stesse. Questo particolare legame differisce dal vero e proprio legame chimico primario, perché nella zona di contatto non esisterebbe una disposizione ordinata di atomi, come potrebbe verificarsi, per esempio, durante un processo di ricristallizzazione.

Per la struttura della pasta di cemento, Wittmann ha proposto il cosiddetto "modello di Monaco". Egli ha verificato che la forza attrattiva di van der Waals, tra due superfici solide, diminuisce con l'umidità relativa e con la distanza tra le superfici stesse, e ritiene che il legame che tiene unite le particelle di cemento idratato sia all'incirca per il 50% di tipo chimico e per il 50% dovuto alle forze di van der Waals.

Anche l'aspetto morfologico delle particelle di cemento idratato svolge un ruolo importante, sebbene in questo caso sia difficile valutare, in termini quantitativi, il contributo di questo parametro. Molti prodotti, che conferiscono caratteristiche leganti, si presentano prevalentemente sotto forma di fibre più o meno allungate. L'intreccio di queste fibre può contribuire, anche da un punto di vista semplicemente meccanico, alla resistenza della pasta di cemento.

Allo stato attuale delle conoscenze sul cemento idratato, il parametro di cui si può valutare meglio l'influenza sulla resistenza meccanica, a parità di tutte le altre condizioni, è forse la porosità capillare.

In conclusione, possiamo dire che la resistenza meccanica aumenta all'aumentare del grado di idratazione e al diminuire del rapporto acqua/cemento ( $a/c$ ). Al fine di ottenere la massima resistenza meccanica, il rapporto  $a/c$  deve essere il più basso possibile: anche se esso diviene così basso (per es. 0.30) che l'idratazione del cemento non può essere completata, si può egualmente raggiungere un'elevatissima resistenza meccanica. D'altra parte, la completa idratazione del cemento non può essere in pratica realizzata, anche con rapporti  $a/c$  molto maggiori di 0,42, a causa dell'impedimento frapposto dalla pellicola dei prodotti idratati che avvolge i granuli di cemento.

Si calcola che, persino con rapporti a/c molto elevati, nell'ordine di 0.5-1, quali sovente si impiegano nella pratica, la percentuale di cemento, idratato al massimo, difficilmente supera l'80%, pure dopo stagionature di diversi anni. Il motivo per cui nella pratica calcestruzzi con rapporti a/c di 0.30 non vengono impiegati, se non in casi eccezionali, è legato al fatto che l'impasto fresco risulterebbe così asciutto da renderne impossibile la messa in opera. Se però esistono sistemi di vibrazione molto efficienti, o se la lavorabilità del calcestruzzo ( grazie all'impiego di additivi fluidificanti o superfluidificanti) è molto elevata, e comunque tale da rendere possibile una completa compattazione, anche con sistemi di vibrazione ordinari, nessuna preclusione dovrebbe esistere all'impiego di calcestruzzi con rapporti a/c molto bassi: in queste condizioni, infatti, l'incompleta idratazione del cemento, che d'altra parte si verificherà comunque, anche con rapporti a/c più elevati, non influenza negativamente né la resistenza meccanica, né le altre proprietà del calcestruzzo.

Alla luce della ricerca svolta per comprendere le problematiche manifestate nel paramento della diga, si giustificano le osservazioni fatte nel capitolo 3, relative alle indagini della società Acqua S.p.a.

Quindi si avvalorà, nuovamente, la tesi sulla buona qualità costruttiva dell'oggetto, che avendo un rapporto a/c molto basso ed essendo realizzato con un buon cemento, non dovrebbe avere problemi di durezza nel tempo.



**Fig. 13.** particolare del carotaggio nel paramento di monte.

*(Archivio Privato A. Nardiello)*

**La parete di monte:** era inizialmente protetta, oltre che da uno strato di intonaco cementizio dello spessore di 3 cm, da una doppia mano di vernice di Siderestene Lubrose.

Nel 1930, in seguito alla constatazione di perdite dell'ordine di 100 l/s, furono praticate 55 iniezioni di cement-gun, eseguite alle quote 547,5-568,8-572,8 m.s.l.m.

Per l'operazione vennero utilizzati in totale 500 quintali di miscela.

Nel periodo 1955-65 le perdite dipendenti dal paramento murario salirono gradualmente fino a 24 l/s, in concomitanza con il massimo invasivo.

Sulla parete verticale fu realizzato uno strato di intonaco cementizio della massima compattezza, con dosaggio di cemento non inferiore a 250 Kg/m<sup>3</sup>, armato con una sottile lamiera stirata, ricoperta da doppia mano di vernice elastomera neoprene, il tutto per uno spessore di 3 cm.



**Fig. 14.** Particolare del carotaggio nel paramento di monte.

*(Archivio Privato A. Nardiello)*

### **Gli scarichi:**

Lo scarico di fondo è costituito da una tubazione in acciaio del diametro di 1 m, con asse a quota 548,3 m s.l.m., che attraversa la diga nel suo punto più profondo, ormai totalmente interrato.

L'imbocco della tubazione fu protetto da un torrino addossato al paramento a monte, a mezzo di una griglia orizzontale a cupola, installata nel 1944. La sua luce superiore fu aumentata e, quindi, fissata a quota 564,00 m s.l.m. L'intercettazione è effettuata da una saracinesca del diametro di metri 0,60 e da una valvola a farfalla del diametro di 0,40 m in serie.

Il comando è manuale ed elettrico, effettuato da apposita camera di manovra, ed è possibile azionarlo anche a distanza.

Lo scarico sussidiario consisteva in una derivazione dalla condotta forzata, a monte degli argani di intercettazione della condotta stessa, circa 10 m a valle della diga. L'organo di intercettazione era formato da una saracinesca della luce di passaggio di 0,40 m di diametro, con griglia di protezione.

La piena evacuabile, nella configurazione originaria, corrispondeva ad un contributo unitario superiore a  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Attualmente, in seguito alle modifiche effettuate, si è aumentata la capacità fino a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , grazie all'impiego di due tronchi di tubazione subverticali, che collegano il circuito di presa al fondo alveo di valle.

#### **Le condotte:**

Il corpo diga è attraversato in due punti corrispondenti ai due scarichi, dalle condotte. Il primo è ormai totalmente occluso, in seguito all'interrimento dell'invaso; il secondo risulta deviato nel torrente e aumentato di portata, dopo la chiusura dell'impianto.

Le tubazioni in lamiera di acciaio risultano dello spessore di 5 mm e sono costituite da tronchi sovrapposti e chiodati lungo le giunzioni.



**Fig. 15.** Particolare delle condotte dell'opera di presa.

*(Archivio Privato A. Nardiello)*





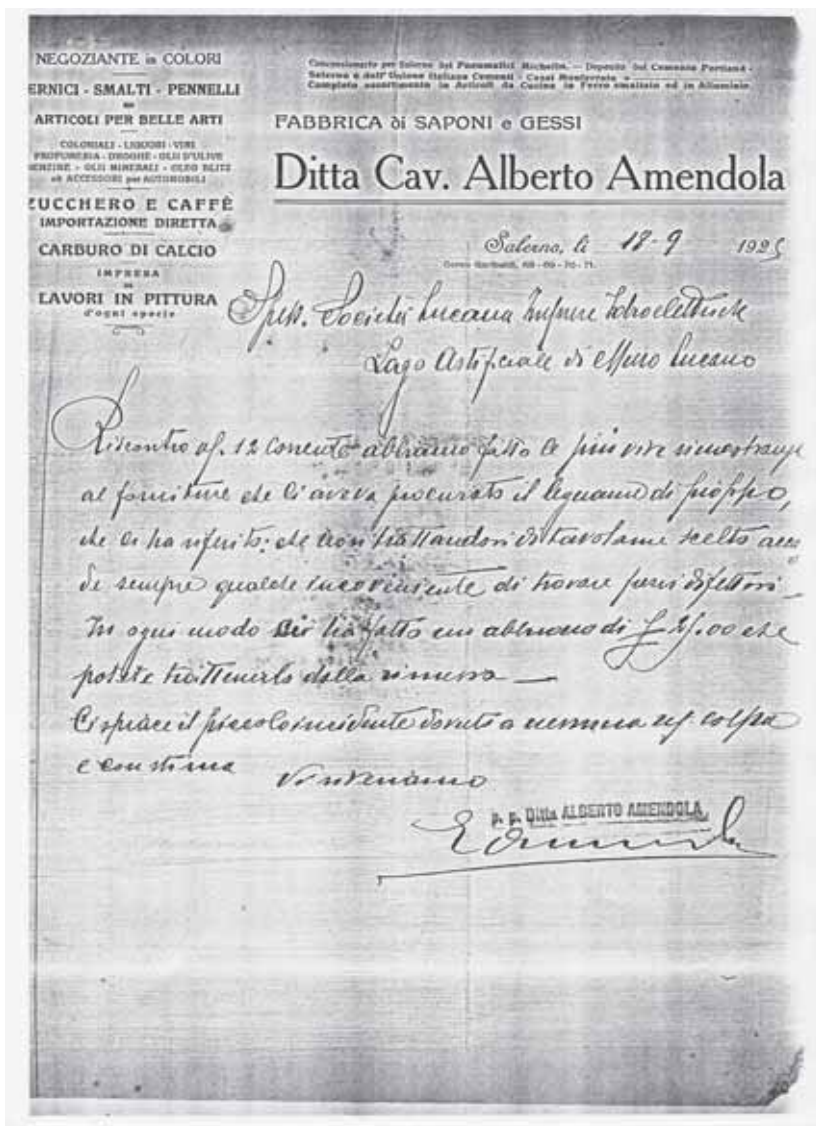


Fig. 16 e 17. Copia della raccomandata originale del  
 fornitore di vernici della Società Lucana.  
 (Archivio Privato A. Nardiello)

### 5.1.2 I FENOMENI DI DEGRADO PRESENTI SULL'EDIFICIO DELLA CENTRALE

La centrale presenta forme di degrado legate allo stato di abbandono dell'edificio e alla mancanza di manutenzione. Dopo il terremoto dell'Irpinia la struttura è stata chiusa, cessando l'attività.

Descriveremo in breve le fenomenologie riscontrate sulle diverse superfici dell'edificio, riportando i rimedi e le operazioni di recupero.

#### **Distacco degli strati superficiali di intonaco (sia interno che esterno):**

Gli intonaci, oltre a subire fenomeni di degrado che possono comprometterne la forma, resistenza e coesione, hanno in più punti perso l'aderenza dal supporto, mettendo a nudo e a rischio la sottostante muratura.

Quando al distacco non è ancora seguita la caduta, è possibile fare nuovamente aderire l'intonaco al supporto. La tecnica di cui si tratta ottiene tale scopo riempiendo le cavità create tra supporto e intonaco, tramite iniezioni di prodotti e malte consolidanti, in modo da ottenere un'azione adesiva tra le superfici distaccate. La ricostituzione di una continuità tra il materiale delle due componenti costruttive restituisce loro, in tutto o in parte, le caratteristiche fisiche e meccaniche perdute e le loro prestazioni tecnologiche, concorrendo alla conservazione dell'architettura e alla sua durabilità.

L'applicazione della tecnica di riadesione prevede una sequenza di operazioni:

a) Localizzare la porzione di intonaco distaccato da fare riaderire ed eseguire un foro di piccole dimensioni (2-4 mm), scegliendo con cura il punto più adatto poiché, soprattutto nel caso in cui l'ampiezza del distacco sia molto limitata e, quindi, la possibilità di inserimento del consolidante nella lente di distacco risulti ridotta, la quantità di materiale che si riuscirà a introdurre può dipendere dalla buona scelta del punto d'iniezione.

I fori possono non essere necessari, se la zona di distacco è agevolmente raggiungibile con le iniezioni, anche utilizzando le discontinuità già presenti sulla superficie esterna, quali lesioni, fratture, crepe o bordi.

Se i distacchi interessano superfici ampie, sono necessari diversi fori d'iniezione, che saranno praticati iniziando dal basso e proseguendo man mano verso l'alto, in modo che i prodotti iniettati possano riempire progressivamente tutto il vuoto esistente tra intonaco e supporto.

I fori devono essere eseguiti sfruttando il più possibile le zone in cui si sono verificate cadute o abrasioni e possono essere realizzati tramite punteruoli

o piccoli trapani ad alta velocità, con punte molto sottili, come ad esempio quelli usati in odontoiatria. Tra la punta del trapano e la superficie dell'intonaco deve essere interposta una spugna inumidita, per raccogliere la polvere prodotta con la perforazione. Occorre inoltre evitare che la forza e il movimento, esercitati per praticare il foro, inducano stress tali nell'intonaco da determinare la rottura e la caduta della parte sollevata.

b) Aspirare la polvere rimasta intorno alle pareti del foro e quella presente all'interno del vuoto, utilizzando cateteri flessibili di dimensioni adeguate.

c) Pulire le superfici interne alla lente di distacco e favorire lo scorrimento e la presa del consolidante al suo interno, iniettandovi, con una siringa o con una peretta, acqua deionizzata o una miscela d'acqua e alcool, che defluirà all'esterno attraverso i fori della zona inferiore o rifluirà dal foro di iniezione stesso.

d) Stuccare tutti i bordi dell'intonaco, le fessure, i fori e le zone dalle quali è uscito il liquido iniettato. Questa operazione serve anche a individuare i punti di possibile fuoriuscita del materiale sigillante da iniettare e a creare, con le stuccature, una condizione di "camera stagna" per la lente di distacco.

e) Iniettare, infine, il prodotto consolidante, introducendo nel foro un piccolo tubo di gomma o un ago di dimensioni e forma adeguati al tipo di fluido utilizzato e alle condizioni del distacco.

Effettuate le forature e ripulite le superfici dalle polveri, si procede all'iniezione dell'adesivo, con molta lentezza, controllando costantemente che la porzione d'intonaco sollevata non rigonfi in seguito alla pressione provocata all'interno del vuoto dal consolidante stesso.

In particolar modo quando si usa una malta fluida, occorre evitare che il peso del nuovo materiale, soprattutto nel caso di distacchi molto pronunciati, gravi sull'intonaco sollevato, aumentando il distacco.

È opportuno, allora, esercitare una pressione continua ma leggera dall'esterno, sulla superficie dell'intonaco. Quest'operazione può essere agevolata da una pompa per sottovuoto (blando sottovuoto), oppure utilizzando dei puntelli di alluminio (di tipo leggero), formati da più sezioni tubolari uniti da una barra filettata, la cui lunghezza è regolabile con l'aiuto di manopole girevoli. Per proteggere la superficie e uniformare la pressione, s'interporrà tra i puntelli e la parete un pannello di dimensioni adeguate o

uno strato di ovatta, il tutto ricoperto con un foglio di polietilene, affinché le azioni di spinta e di controspinta che si generano sull'intonaco siano attuate e non provochino ulteriori danni.

I prodotti da utilizzarsi dovranno essere dotati di particolari caratteristiche di fluidità, rapidi tempi di presa, pronunciata tenacità, scarso ritiro, porosità simile a quella dell'intonaco esistente, oltre a tutte le caratteristiche proprie dei materiali usati nel restauro, tra le quali, in primo luogo, l'assenza al loro interno di sostanze solubili e la compatibilità con i materiali su cui si agisce. Per questo si propone l'utilizzo di iniezioni con malte aeree a presa autogena. Si tratta di una malta in grado di dar luogo, con un processo d'idrolisi, cioè di rottura delle molecole d'acqua in ambiente alcalino, alla lenta formazione di anidride carbonica. Per ottenere tale reazione, che riproduce in modo artificiale il naturale processo della carbonatazione, si è fatto uso della reazione d'idrolisi dell'uretano etilico, nello specifico una malta composta da calce e sabbia in rapporto 1:1 in volume, con l'aggiunta dal 2,5% al 5% in peso di uretano etilico e 100 ml d'acqua satura d'azoto. Questa percentuale assicura il miglior processo di presa, poiché determina un pH alcalino nel sistema, permettendo così che la reazione avvenga lentamente. Inoltre, essa conferisce un'adeguata consistenza alla malta, una volta consolidata. Per raggiungere una fluidità che permetta l'intervento a iniezione, alla malta è aggiunto un additivo (un sale di calcio del polinaftalensolfonato) che, unendosi alle particelle della malta mediante la parte ionica, provoca la repulsione tra le particelle stesse, aumentando la fluidità del composto.

**Mancanza di parti di intonaco (sia interno che esterno):**

La perdita di porzioni di intonaco provoca talvolta lacune sulle superfici parietali, più o meno profonde e dai bordi più o meno stabili e coesi, mettendo a nudo in alcuni casi le sottostanti strutture murarie, con notevoli rischi per la durabilità della fabbrica. In questi casi, si può intervenire applicando sulle parti scoperte del muro un nuovo intonaco, realizzando il cosiddetto "rappezzo" altrimenti detto "macrostuccatura".

Tale operazione ha innanzitutto una motivazione di tipo tecnico, poiché ogni fessura, ogni lacuna o ciascuna discontinuità rappresenta un indebolimento del manufatto, una via di penetrazione dell'acqua, che a sua volta veicola agenti inquinanti aggressivi, e un potenziale punto di innesco di molti fenomeni di degrado superficiale e profondo.

Non si può, tuttavia, ignorare che, a fronte di tale motivazione, ne esistono altre di natura estetico-formale che chiamano in causa rilevanti problemi di ordine culturale e teoretico. Affinché vi sia compatibilità fra nuovo intonaco e supporto, i rispettivi coefficienti di dilatazione termica e di resistenza meccanica debbono essere comparabili, quindi sarà preferibile utilizzare lo stesso tipo di cemento con cui è realizzato l'intonaco originale, cioè la calce aerea. Le principali fasi di lavoro per l'esecuzione dell'intervento sono di seguito sintetizzate, anche se occorre tener presente che la molteplicità delle situazioni e dei relativi problemi possono richiedere aggiustamenti tecnici e metodologici significativi.

La tecnica richiede comunque il rispetto di alcune norme, o quanto meno di alcuni criteri generali nelle sue diverse fasi esecutive.

*La preparazione della parete:*

Prima di realizzare un rappezzo di intonaco è anzitutto buona norma preparare accuratamente il supporto su cui si deve applicare la nuova malta. In particolare, occorre valutare le caratteristiche del supporto murario, che deve essere sufficientemente asciutto.

Inoltre, la superficie del muro deve essere pulita, in modo da non provocare forme di inquinamento dei materiali dello strato aggiunto e non deve contenere patine, sali o altre sostanze che possano favorirne il distacco a breve o a lungo termine.

Successivamente, occorre creare sulla parete le condizioni ideali per l'applicazione della malta del rappezzo. A tal fine è fondamentale l'inumidimento della superficie, eseguito con un pennello imbevuto d'acqua, senza eccedere con la distribuzione del liquido. L'inumidimento è necessario per ovviare ai problemi derivanti dal contatto fra materiali con qualità igrometriche diverse: l'acqua contenuta nell'impasto sarebbe infatti subito assorbita dalla parete asciutta, inducendo una precoce disidratazione della nuova porzione di intonaco e, quindi, l'inefficacia tecnologica dell'intervento. Questa operazione ha anche lo scopo di far uscire l'aria racchiusa negli interstizi e nelle discontinuità del supporto; diversamente, l'aria uscirebbe durante la stesura dell'impasto, riducendone la coesione e vanificando in parte l'efficacia dell'operazione.

Nel dosaggio degli ingredienti di una malta da rappezzo, le variazioni del rapporto legante/inerte fanno d'altra parte assumere all'impasto determinate caratteristiche, ricercate in relazione al risultato desiderato.

Per ottenere una qualità uniforme delle malte impiegate nelle macrostucature entro uno stesso cantiere è, quindi, consigliabile esercitare un attento controllo sul grado di umidità contenuta nei materiali, utilizzando quelli allo stato più secco possibile, sull'esatta determinazione delle quantità di ingredienti da utilizzare, tramite l'impiego di strumenti di misurazione rigorosi e, infine, sulla qualità stessa degli ingredienti prescelti.

### **L'applicazione:**

Una volta determinato, sulla base delle caratteristiche dell'intonaco da integrare, il tipo di impasto di nuovo apporto e preparata la parete da intonacare, si passa alla stesura in opera dell'intonaco. Per una corretta applicazione, occorre anzitutto tener conto delle condizioni ambientali in cui si opera, prestando particolare attenzione affinché la temperatura esterna sia compresa tra i 5 e i 30 °C.

Se il vuoto da colmare è ampio e profondo, come per i capitelli delle lesene all'interno o le cornici della copertura del casotto, la maggior parte della lacuna può essere in una prima fase costipata, stendendo uno strato di malta idraulica, tipo calce/pozzolana o cocchiopesto, in grado di far presa sul supporto più velocemente e in assenza di anidride carbonica, con schegge grosse di aggregato, costituite ad esempio da pezzi di laterizio o da scaglie di pietra. La macrostuccatura superficiale, invece, può essere eseguita applicando uno strato sottile di malta di calce aerea, con aggregati tali da raggiungere le caratteristiche materiali e tecnologiche desiderate.

### **Erosione dello strato superficiale di intonaco:**

Questa tipologia di degrado, che deriva dall'azione meccanica e chimica di agenti esterni, porta alla polverizzazione dello strato superficiale dell'intonaco liscio dell'interno della centrale. In generale le prescrizioni e i rimedi da utilizzare per ovviare a questo problema sono gli stessi che saranno utilizzati per le due patologie precedenti.

### **Efflorescenze:**

I sali presenti nel terreno e nelle murature stesse vengono portati in superficie della parete dall'umidità che risale per capillarità. In superficie, asciugandosi, essi cristallizzano, dando origine ad una patina biancastra e polverulenta e ad una progressiva erosione, con distacco dell'intonaco.

Per prima cosa andranno eliminati meccanicamente le parti di intonaco che presentano un inizio di distacco, poi si dovrà iniziare la pulitura della parete con acqua atomizzata e spazzole.



Si tratta di una tecnica di pulitura che sfrutta la capacità solvente ed emolliente dell'acqua ridotta in nebbia di erissime goccioline. Può essere considerata un ulteriore perfezionamento dei sistemi di nebulizzazione tradizionali: le goccioline d'acqua prodotte da apposite camere di atomizzazione, infatti, sono ancora più minute, svolgono un'azione chimico-fisica molto delicata e possiedono un'elevata capacità di solubilizzazione dei depositi aderenti alle superfici. Gli atomizzatori riducono l'acqua in un aerosol costituito da un numero elevato di finissime goccioline, dotate di una grande superficie specifica e capaci quindi di aumentare considerevolmente i punti di contatto con i materiali verso cui sono proiettate, quasi prive di pressione.

L'atomizzazione è assicurata da apposite camere di miscelazione, all'interno delle quali avviene l'unione tra l'aria e l'acqua provenienti dai rispettivi sistemi di alimentazione. L'aerosol di minute goccioline è indirizzato verso la superficie mediante ugelli, connessi ai lati delle camere per mezzo di condutture flessibili. La regolazione del flusso aria-acqua e della pressione del getto, che non supera i due bar, è agevolata da manometri sistemati anch'essi sulla parte superiore del dispositivo di miscelazione. Rispetto ai tradizionali sistemi di nebulizzazione, l'azione solvente ed emolliente esercitata dall'acqua nei confronti dei sali solubili è notevolmente aumentata, mentre l'azione meccanica è ulteriormente ridotta e limitata al debole ruscellamento sulle superfici sottostanti. Regolando opportunamente la pressione dell'aria, si possono eseguire puliture con volumi d'acqua pari al 10% di quelli necessari alla nebulizzazione ottenuta con ugelli di tipo tradizionale. Il minore quantitativo d'acqua non si traduce solamente in un apprezzabile risparmio economico, ma anche in una riduzione dei rischi legati all'impregnazione dei substrati lapidei e, di conseguenza, in una diminuzione dei pericoli connessi a nuovi processi di alterazione. Come si può vedere dalle tavole tematiche, l'efflorescenza interessa tutto il perimetro delle murature interne, fino ad un'altezza massima di 1 metro. Per ovviare a questo problema, una volta terminata la pulitura delle pareti e la stonatura, potrà risultare conveniente apporre una barriera chimica alla risalita capillare dell'umidità, a mezzo di iniezioni di siliconi o acilalcolossilani. Occorre, quindi, eseguire dei fori nella muratura ad un'interasse che oscilla di 20 cm e con un diametro di almeno 10-12 mm e un'altezza di circa una ventina di centimetri dal piano di calpestio. I fori vengono praticati su una fila o su due file sovrapposte e disassate.

**Deposito superficiale:**

Sempre sugli intonaci dell'interno dell'edificio, si notano depositi di sostanze di varia natura, per lo più polveri e sostanze organiche di vario genere. Per questa problematica l'intervento proposto è quello della semplice pulitura con uno spray d'acqua.

**Reintegrazione di lacuna con tecnica impropria:**

Nel passato furono effettuati piccoli lavori di manutenzione.

Questi punti sono visibili, perché i materiali e le tecniche utilizzate si differenziano nettamente da quelli usati in origine durante la costruzione dell'edificio.

Perciò risulterà necessario estirpare questi "rattoppi" con mezzi meccanici e poi, seguendo le indicazioni illustrate nel paragrafo relativo alle mancanze, operare un nuovo intervento di intonacatura.

**Graffiti:**

Su un paramento murario all'interno dell'edificio sono stati eseguiti dei graffiti rappresentanti un'iscrizione.

La vernice utilizzata ha una composizione chimica sconosciuta.

Per eliminare questo atto di vandalismo, bisognerà pulire la superficie con spray d'acqua e getto di vapore e spazzole di nylon.

Associando lo spray al getto di vapore si riduce la quantità d'acqua normalmente necessaria per portare a termine una generica idropulitura, e allo stesso tempo si attenua la brusca variazione di temperatura prodotta dal vapore sulla superficie. In questo sistema di pulitura lo spray d'acqua è utilizzato unicamente per ottenere un generale ammorbidimento dei depositi. Il definitivo distacco del deposito dalla superficie è invece affidato all'azione fisica prodotta dal getto di vapore (dalla temperatura) e dall'abrasione della spazzola. La tecnica permette di ridurre in modo considerevole il volume di liquido richiesto per un intervento eseguito esclusivamente mediante spray d'acqua, e consente di mantenere sotto controllo il calore generato dal getto di vapore. Quest'ultimo, infatti, se usato separatamente e senza il preliminare inumidimento, può determinare pericolosi innalzamenti della temperatura superficiale del materiale lapideo e, di conseguenza, situazioni di dilatazione e contrazione termica differenziale nella struttura cristallina della pietra. Generalmente, lo spray è fornito da un'idropulitrice o da un impianto a ugelli fissi, mentre il vapore è prodotto da un boiler e indirizzato sulla superficie per mezzo di una lancia metallica.

Lo spray d'acqua, necessario per il preliminare ammorbidimento dei depositi, dovrebbe essere erogato sfruttando pressioni di esercizio comprese tra 2,5 e 3 bar. La pressione d'impatto del vapore dovrebbe aggirarsi attorno ai 0,5 kg/cm<sup>2</sup> e, su una superficie liscia di circa un metro quadrato, l'azione del getto dovrebbe protrarsi per tempi mai superiori ai 6-10 minuti.

La lancia d'erogazione del flusso va mantenuta a debita distanza dal paramento lapideo e l'operatore stesso deve attentamente cautelarsi, onde prevenire contatti con il getto ad alta temperatura.

L'azione termica e meccanica generata dal vapore, se contenuta entro i parametri indicati, può essere sufficientemente controllata; viceversa, se i valori della pressione e i tempi d'applicazione non sono attentamente ponderati, potrebbero verificarsi distacchi o rimozioni anche consistenti del materiale.

### **Patina biologica:**

Si effettua la disinfezione per rimuovere le colonie di microrganismi, muschi, funghi e licheni, che sulle superfici formano delle pellicole, patine e incrostazioni di colore giallo, bruno dorato, marrone, verde e nero.

Trattando con spatole in legno, si asporta la massa più abbondante delle colonie di microrganismi e si spazzola poi la superficie, con spazzole di saggina, affinché possa assorbire il disinfettante. L'applicazione del prodotto può essere effettuata a pennello, per irrorazione o vaporizzazione, in qualsiasi periodo stagionale. Nel periodo estivo è consigliabile utilizzare il biocida al mattino presto, per evitarne la repentina evaporazione. Dopo una settimana, la superficie trattata deve essere spazzolata e irrorata con acqua pura, oppure con acqua e biocida, per asportare le colonie in corso di essiccazione; dopo tre settimane dal trattamento la superficie potrà essere spazzolata e sciacquata definitivamente. Sono da evitare sempre spatole di metallo e spazzole di ferro, perché producono più danni dei microrganismi.

*Indicazioni sui prodotti:* le colonie di microrganismi da rimuovere meccanicamente possono essere ammorbidite con una soluzione di ammoniaca in acqua al 5%; questo trattamento deve essere effettuato solo dopo l'applicazione di un disinfettante. Per il controllo della crescita biologica si preferiscono disinfettanti solubili in acqua a basse concentrazioni (da 0.1% a 3%), come battericidi e fungicidi sono da preferire i sali di ammonio quaternario.

### **Presenza di vegetazione:**

Le specie vegetali che nella crescita hanno inglobato l'edificio sono molto aggressive, in quanto si tratta di edere, rovi di more e acacie, mentre le graminacee e altre specie, se pur presenti, sono meno preoccupanti.

Trattamenti:

*Taglio manuale di sfoltimento e riduzione.* Quando la crescita delle piante è molto ricca e diffusa è necessario prima sfoltire la biomassa con un taglio manuale, per favorire la completa distribuzione del prodotto diserbante.

*Applicazione del prodotto diserbante.* Il trattamento di diserbo va effettuato in primavera o in autunno, quando le piante sono in pieno rigoglio e presentano le parti aeree ben sviluppate; il prodotto va applicato al mattino presto e comunque nelle ore meno calde della giornata, in assenza di vento e di pioggia. Il diserbante viene diluito in acqua e irrorato con innaffiatoi, pompe manuali da verderame, nebulizzatori o iniezioni. L'assorbimento del diserbante avviene attraverso le foglie o l'apparato radicale e produce effetti diversi in tempi diversi.

Il trattamento foliare non raggiunge le radici della pianta: ha pertanto una azione temporanea. Diversamente, il trattamento per assorbimento radicale consente la riduzione di volume delle radici e l'estrazione completa della pianta dalla struttura muraria, con minor perdita di materiale originale. Molto spesso questo trattamento si deve accompagnare alla stuccatura delle parti pericolanti.

### **Ossidazione dei metalli (strutture, attrezzature della centrale, infissi,...):**

La natura elettrochimica della corrosione porta alla realizzazione di forme diverse di attacco, in dipendenza dalla maggiore o minore tendenza alla localizzazione delle aree anodiche e catodiche e delle densità di corrente fluenti attraverso gli elementi galvanici. Ciò è determinato dal concorso di una serie di fattori ambientali, metallografici, meccanici e geometrici, il cui differente contributo crea le premesse per la realizzazione delle diverse forme di attacco. L'identificazione delle forme di corrosione è di assoluta necessità per la diagnosi delle cause che hanno determinato il processo.

1. *Corrosione generalizzata:* parte esterna degli infissi, tubazioni, travi NP solaio casotto, metalli nella diga.

2. *Corrosione localizzata:* alcune travature, parte interna degli infissi, cappiate metalliche.

### 3. *Corrosione selettiva*: capriate metalliche.

La *corrosione generalizzata* interessa tutta la superficie del metallo e si traduce in un assottigliamento più o meno veloce della parete metallica a contatto con l'elettrolita. A seconda della maggiore o minore uniformità di attacco superficiale si distingue tra corrosione generalizzata uniforme o disuniforme. La *corrosione localizzata* interessa parti limitate della superficie metallica e si realizza con formazione di cavità che, a seconda del rapporto diametro esterno/profondità, vengono indicate con terminologie diverse: ulcere, crateri, "pits", cricche. La *corrosione selettiva* produce la dissoluzione preferenziale di parti determinate del metallo, che per ragioni chimiche o metallografiche risultano più facilmente attaccabili; si usa distinguere tra corrosione cristallografica, intergranulare ed interdentricita.

Un'altra forma di corrosione selettiva, il "dealloying", si realizza quando si verifica la dissoluzione preferenziale di uno dei componenti di una lega, lasciando un residuo inconsistente e spugnoso dell'altro metallo della lega.

In generale, tutti i processi di corrosione che interessano il nostro caso di studio sono autostimolanti, si riferiscono cioè, a casi di intervento di fattori che stimolano la dissoluzione del metallo. Questi sono classificati in: fisici, metallurgici, ambientali e geometrici. Tutti i metalli che si trovano nella centrale hanno come principale fattore di corrosione quello ambientale, in cui il ruolo dell'acqua è di fondamentale importanza, in quanto la reazione tra metallo ed ossigeno, a bassa temperatura, avviene con meccanismo elettrochimico solo in presenza di acqua. Un criterio per la classificazione della corrosione atmosferica si può riferire al grado di umidità cui il metallo si viene a trovare durante l'esposizione atmosferica.

Possiamo quindi distinguere tra:

1. Corrosione atmosferica in presenza di acqua di precipitazione o di condensa (sotto il punto di rugiada): tubazioni esterne, metalli della diga, infissi, elementi strutturali casotto.

2. Corrosione atmosferica in aria umida (sopra il punto di rugiada): capriate e elementi strutturali.

La prima si riferisce alle condizioni di esposizione del metallo a piogge, condense, infiltrazioni dalle coperture: la presenza di acqua è evidente e visibile.

La seconda si riferisce all'esposizione del metallo ad ambienti con umidità relativa  $\leq 100\%$ : l'acqua è presente come film assorbito in superficie o come

acqua assorbita da sali igroscopici in superficie, oppure come condense invisibili formate e trattenute per capillarità nelle microporosità superficiali del metallo.

Ricordiamo come l'umidità relativa critica per l'ossidazione sia  $\geq 60\%$ , ma con valori compresi tra il 40% e il 60% i processi possono innescarsi.

La situazione ambientale dell'area, per la vicinanza a corsi d'acqua e per la scarsa esposizione alla luce solare, presenta condizioni molto sfavorevoli.

Le parti strutturali in metallo dell'edificio centrale non sembrano soggette a tensocorrosione. Non sono visibili, infatti, fenomeni di "cricche": le capriate, nello specifico, risultano poco attaccate dal fenomeno, mentre le altre travature sembrano soggette maggiormente a corrosione per cause ambientali come l'umidità.

Non essendoci chiodature, su questi elementi è scongiurato qualsiasi tipo di fenomeno di corrosione interstiziale, presente invece nelle giunture degli infissi. In questi casi si consiglia, successivamente all'asportazione e alla verniciatura, di sigillare gli interstizi con guaine apposite.

Per le condotte dell'invaso sono numerosi i fattori da considerare: la velocità di flusso dell'acqua può influenzare in vari modi il processo di corrosione e talvolta determinare un forte effetto localizzante. Essa può determinare l'afflusso della specie corrosiva, può rimuovere i prodotti di corrosione impedendo la formazione di strati protettivi, oppure può provocare la rottura di film protettivi già esistenti.

Quest'ultimo evento si verifica con grande facilità nel caso in cui nel fluido siano presenti solidi sospesi (es. sabbia, limo provenienti da prelievi durante mareggiate o piene dei fiumi), che, trascinati ad alta velocità, esercitano un notevole effetto abrasivo sulla superficie metallica.

Nel nostro caso, poi, (acciaio inossidabile in ambienti naturali) l'aumento della velocità di flusso entro limiti determinati, tende a rafforzare la stabilità del film di passività per il maggior apporto di ossigeno sulla superficie metallica. L'aumento della pressione nelle condotte forzate favorisce la solubilità dell'ossigeno nell'acqua, permettendo maggiori correnti limite di diffusione e quindi maggiore velocità di corrosione per ossigeno. L'opposto accade per diminuzione della pressione che, inoltre, può provocare il degasamento della soluzione, con formazione di bollicine aderenti al metallo, che possono provocare azione di schermo e relativa corrosione localizzata. Molto pericolose sono le forti oscillazioni di pressione in



corrispondenza delle valvole, delle palette di turbine, delle strozzature di condotte ecc., che possono dar luogo a fenomeni di “cavitazione”.

Le rapide variazioni di pressione create dal moto turbolento provocano alternativamente condizioni di vaporizzazione e ricondensazione della fase liquida, con produzione e riassorbimento di bollicine di vapore aderenti alla superficie del metallo. Ciò determina, alternativamente, il distacco e l’impatto del liquido sulla superficie del metallo, con intensità tale da provocare notevole azione erosiva oltre che corrosiva, con distruzione del film protettivo superficiale e formazione di profonde cavità nel metallo. La cavitazione si manifesta quando la pressione scende localmente sotto il valore della tensione di vapore dell’acqua; ne consegue che, diminuendo la pressione a valle della zona turbolenta (per opera della colonna barometrica o tubo piezometrico sottostante) o chiudendo una valvola a monte, si possono creare delle condizioni molto pericolose di corrosione per cavitazione.

Per ridurre questi fenomeni si realizzano circuiti a pressione forzata (come nel nostro caso) che, però, dopo lunghi anni manifestano ugualmente questi fenomeni. Si ricorda, inoltre, che in questi casi le tecniche di protezione attiva (protezione catodica) non risultano sufficientemente efficaci.

Altro elemento di deficienza dell’impianto di condotte è costituito dalle giunzioni a mezzo di chiodature, che costituiscono elemento di innesco per la già citata corrosione interstiziale. Le sollecitazioni meccaniche agenti su un metallo possono dar luogo a forme di corrosione specifiche, tenso corrosione, corrosione per fatica, ecc.

Le sollecitazioni possono essere interne al metallo, (es. deformazioni elastiche residue prodotte da avvenuta deformazione plastica) o esterne al metallo (es. deformazioni plastiche od elastiche per i motivi più svariati: peso proprio, forze applicate, dilatazione termica di elementi a diverso coefficiente di dilatazione, vibrazioni, ecc.).

Ricordiamo poi la possibilità di intervento di fattori biologici che possono produrre notevoli danni, dovuti sia all’azione schermante di macroorganismi (es. molluschi), che all’azione abrasiva di alghe e dall’attività di funghi e batteri. Quando, poi, nel sistema metallo-ambiente circolano correnti elettriche di origine esterna, si possono verificare fenomeni di dissoluzione anodica del metallo, che può raggiungere elevati livelli di localizzazione ed elevate velocità di sviluppo (corrosione per correnti disperse).

Concludiamo affermando che, per gli usi che si propongono, risulta necessaria la sostituzione delle tubazioni che vanno dallo scarico sussidiario sino alle nuove turbine, mentre le restanti possono essere sottoposte ad un semplice trattamento antiossidante con vernici a pellicola organica.

Si specifica che quanto detto per il degrado dell'edificio della centrale idroelettrica vale anche per la camera di manovra dello scarico sussidiario. Inoltre il paragrafo sulla corrosione dei metalli si riferisce, come riportato, anche agli elementi presenti nel sistema della diga di ritenuta.

### *5.1.3 I FENOMENI DI DEGRADO PRESENTI SUL COMPLESSO DIGA E SUGLI SCARICHI DI SUPERFICIE*

#### **Considerazioni sul degrado dei cementi:**

Come abbiamo visto, il corpo diga è costituito da cemento Portland artificiale gettato in strati successivi, che costituiscono gli anelli principali, privi di giunti di dilatazione. Le cause di aggressione al calcestruzzo dovute all'ambiente possono essere formalmente suddivise in: chimiche, fisiche e meccaniche. In realtà, difficilmente in un processo di degradazione esiste un solo fenomeno aggressivo, spesso sono più cause che concorrono al deterioramento del materiale, esaltandosi vicendevolmente. Tuttavia, esiste sempre quella che può essere definita la causa fondamentale che innesca il processo. Tra le **cause chimiche** occorre innanzitutto distinguere quelle riguardanti gli agenti aggressivi naturali, quali, per esempio, l'acqua fangosa, oltre alle cause concernenti gli agenti chimici "artificiali" prodotti dall'uomo, quali gli acidi inorganici, le sostanze organiche ecc., derivanti quasi sempre dall'inquinamento.

In linea di massima, è sempre possibile confezionare un calcestruzzo durevole capace di resistere all'azione aggressiva degli agenti definiti "naturali". Più difficile è, invece, garantire la durabilità di un calcestruzzo a contatto con agenti aggressivi "artificiali", a meno che non si ricorra ad un rivestimento protettivo. Naturalmente l'azione aggressiva sarà tanto più rapida quanto più lungo è il contatto e quanto più basso è il pH, cioè quanto maggiore è la concentrazione dell'acido. In questi casi è necessario prevedere un adeguato trattamento protettivo antiacido del calcestruzzo che verrà a contatto con tali agenti aggressivi. Tra tutti gli agenti aggressivi, i solfati sono indubbiamente i più importanti, sia per la frequenza con cui si può manifestare il loro attacco, sia per le conseguenze estremamente negative che essi sono capaci di provocare.

L'attacco solfatico si manifesta attraverso un rigonfiamento esagerato del conglomerato. Quando il calcestruzzo è immerso in acqua, esso tende a rigonfiarsi di alcune centinaia di micron per metro in qualche anno: il rigonfiamento dovuto all'ingresso di acqua nella pasta di cemento è esattamente l'opposto del fenomeno di ritiro che si manifesta, sia pure con una variazione dimensionale molto maggiore, allorché il calcestruzzo è esposto in un ambiente asciutto e l'acqua evapora dalla pasta cementizia verso l'ambiente. Il rigonfiamento che si manifesta in un calcestruzzo immerso in un'acqua solfatica, molto maggiore di quello concernente l'immersione in acqua potabile, è di tale entità che possono verificarsi fessurazioni o distacchi nel materiale. Si potrebbe pensare di definire patologico il rigonfiamento in acqua solfatica e fisiologico quello in acqua potabile. Occorre, inoltre, tener conto che un eccessivo rigonfiamento del calcestruzzo, causato dall'azione dei solfati, è condizione necessaria ma non sufficiente per provocare la degradazione dello stesso. Le reazioni distruttive del calcestruzzo dovute alla presenza di solfati nell'ambiente sono fondamentalmente tre: quella che porta alla formazione di gesso biidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), quella che provoca la formazione di ettringite ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) e quella che porta alla formazione di thaumasite ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ). Il solfato può essere presente in natura nei terreni, nelle acque di falda, di palude o di fogna. Esso può presentarsi come sale (per es. solfuro di ferro o pirite  $\text{FeS}_2$ ) o come acido (idrogeno solforato o acido solfidrico  $\text{H}_2\text{S}$ ). In realtà il solfato non sembra avere di per sé un'azione aggressiva nei confronti del calcestruzzo. Tuttavia, la sua trasformazione in altri composti può provocare il deterioramento del conglomerato. In realtà, molto spesso la presenza del solfato conduce alla formazione di acidi, ai quali in definitiva si deve l'azione aggressiva nei confronti del materiale.

Altri acidi che spesso attaccano i cementi immersi in acque sono i solfuri, anche se molto più raramente rispetto al solfato. In sostanza l'attacco dei solfuri è circoscritto ad una situazione ambientale presente nel caso in questione: terreni argillosi ricchi di pirite.

Nei terreni argillosi il solfuro è presente sotto forma di pirite, la quale in presenza di aria ed umidità può essere ossidata e dar luogo a solfati, acido solforico ed anidride carbonica che, per ragioni diverse, possono attaccare il calcestruzzo.

In generale ciò accade nei terreni paludosi, dove si verifica un attacco alla pasta di cemento che viene asportata, mettendo a nudo gli inerti. L'attacco si dimostra meno aggressivo nei confronti dei calcestruzzi ben compattati e densi per il basso rapporto acqua/cemento e l'elevato dosaggio di cemento, mentre il cemento Portland non modifica significativamente il risultato delle prove. Qualsiasi rivestimento protettivo, a base di asfalto, bitume, catrame o resina fenolformaldeide, risulta distrutto dopo circa 7 anni. E' probabile che una resina epossidica possa garantire una più lunga protezione. In ogni caso, indipendentemente dal tipo di rivestimento, i risultati migliori si ottengono quando il calcestruzzo presenta un'elevata resistenza meccanica iniziale prima dell'attacco e quando è stato sottoposto ad un'accurata stagionatura.

Altro elemento degradante è l'anidride carbonica, che è presente nell'acqua e nell'aria. Tutte le acque naturali contengono una certa quantità di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Essa può essere presente sotto forma di acido carbonico, oppure sotto forma di sali carbonatici, ed in particolare di bicarbonato di calcio. La CO<sub>2</sub> che si trova disciolta in acqua sotto forma di sali prende il nome di anidride carbonica combinata, presente sotto forma di acido carbonico, di anidride carbonica libera.

Il carbonato di calcio (CaCO<sub>3</sub>) che è normalmente presente in una pasta di cemento o in un calcestruzzo, per la trasformazione del Ca(OH)<sub>2</sub> a contatto con l'anidride carbonica dell'aria, è considerato normalmente un sale insolubile. In realtà, esso presenta una solubilità pure modesta, che, in acqua pura priva di anidride carbonica libera, è di 0,0131 g/l.

L'acqua a contatto con un'atmosfera contenente anidride carbonica (come si verifica, per esempio, con aria normale) aumenta sensibilmente la solubilità del CaCO<sub>3</sub>. Quando il carbonato di calcio solido è in contatto con un'acqua relativamente ricca di CO<sub>2</sub> libera, si trasforma in Ca(HCO<sub>3</sub>) disciolto in acqua, ( si dirà che quest' acqua è aggressiva).

Se, al contrario, il carbonato di calcio è a contatto con acqua relativamente povera in CO<sub>2</sub> libera, si verificherà il processo inverso con la formazione del Ca-CO<sub>3</sub> solido, a spese del bicarbonato disciolto nell'acqua: si dirà, in tal caso, che l'acqua è incrostante. Un'acqua incrostante non è, ovviamente, da considerarsi pericolosa ai fini della degradazione del calcestruzzo.

Il miglior modo per prevenire il dilavamento della pasta di cemento, o del calcestruzzo, da parte delle acque contenenti anidride carbonica aggressiva

è quello di rendere l'impasto il meno permeabile possibile all'acqua. Gli impasti che reagiscono meglio al contatto con l'acqua sono quelli di altoforno e pozzolanici; purtroppo non è molto indicato il Portland, utilizzato nella diga.

Ciò dipende dal fatto che la loppa d'altoforno, e soprattutto la pozzolana a base di cenere volante, trasformano l'idrossido di calcio in silicati di calcio idrati, composti meno solubili in acqua e più difficilmente dilavabili dall'anidride carbonica aggressiva.

Le **cause fisiche** di degrado del calcestruzzo sono imputabili sostanzialmente due fenomeni: a) variazione di temperatura; b) variazione di umidità relativa. Le alternanze termiche naturali possono avere conseguenze completamente diverse, a seconda che la temperatura cambi o meno intorno allo 0°C.

Il calcestruzzo, anche se ben mescolato e di composizione costante, è costituito da elementi (pasta di cemento ed aggregati) che presentano coefficienti di dilatazione termica diversa. La pasta di cemento, per esempio, ha un coefficiente di dilatazione termica di circa  $9,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , mentre gli aggregati (calcarei come nella diga) presentano un coefficiente di dilatazione termica circa uguale a  $5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Da ciò si può desumere che, variando ciclicamente la temperatura, per esempio tra 10 e 40°C, insorgono delle sollecitazioni a fatica all'interfaccia pasta-aggregato, soprattutto in calcestruzzi con aggregati calcarei come il nostro.

Questi effetti sono, tuttavia, trascurabili rispetto a quelli molto più severi che si manifestano quando la temperatura cambia ciclicamente intorno allo 0°C ed il calcestruzzo è saturo di umidità. Infatti, quando l'acqua congela il suo volume aumenta di circa il 9% ed è in grado di provocare una pressione capace di distruggere progressivamente il calcestruzzo, soprattutto se il fenomeno si ripete ciclicamente, per effetto di una tipica rottura a fatica.

L'azione alternata dei cicli di gelo e disgelo può provocare danni molto gravi nelle strutture delle opere marittime, idrauliche ed autostradali situate in climi molto rigidi. Il fenomeno degradante si manifesta sotto forma di fessurazioni, sfaldamenti e distacchi superficiali.

Affinché si manifesti il degrado, è necessario che il grado di saturazione (cioè la percentuale in volume di acqua presente nei pori del materiale rispetto al volume dei pori stessi) superi il 91,7%. In queste condizioni (grado di saturazione critica), infatti, l'aumento di volume dell'acqua provocato dal

congelamento non è più in grado di essere ospitato all'interno dei pori non ancora saturi di acqua.

Nel nostro caso il fenomeno del gelo è aggravato dalle copiose quantità di acqua che infiltrano i paramenti.

La valutazione della resistenza ai cicli di gelo-disgelo di un calcestruzzo viene eseguita attraverso la misura del modulo elastico dinamico, determinato mediante la rilevazione della velocità degli ultrasuoni nell'oggetto in analisi. Prima di iniziare i cicli di gelo-disgelo, viene misurato il modulo elastico ( $E_t$ ), quindi sull'opera bisognerebbe effettuare indagini in laboratorio su carotaggi, per constatarne la relativa attaccabilità a questo degrado.

### **Rimedi e materiali:**

Il materiale da impiegare nel **rifacimento dell'intonaco di monte** (armato con rete in fibra di vetro su supporti in acciaio inossidabile) deve aggiuntivamente presentare un'ottima aderenza al calcestruzzo originale: da questo punto di vista i materiali per il restauro a base cementizia presentano l'inconveniente del ritiro, a causa del quale essi subiscono una contrazione differenziale rispetto al calcestruzzo originale, nel quale il ritiro si è ormai quasi completamente concluso.

Da ciò deriva l'esigenza, per i prodotti a base cementizia da impiegare nel restauro, di compensare il ritiro attraverso l'impiego di agenti espansivi. Sulla base di queste considerazioni, i calcestruzzi da impiegare nel restauro sono caratterizzati in generale dai seguenti parametri composizionali:

- impiego di superfluidificanti, per abbassare il rapporto a/c ed ottenere quindi un calcestruzzo impermeabile;
- impiego di fumo di silice, per migliorare ulteriormente la resistenza agli attacchi chimici ( solfati, alcali);
- impiego di agenti espansivi, per compensare il ritiro ed evitare lesioni.

In aggiunta a questi, possono essere adottati altri particolari accorgimenti composizionali per soddisfare le specifiche esigenze prestazionali:

- impiego di cementi Portland a basso tenore di C\la per resistere ai solfati;
- impiego di agenti aeranti per contrastare gli effetti dei cicli di gelo-disgelo.

Le tecniche di intervento e applicazione del materiale saranno:

- a spruzzo per il rifacimento dell'intonaco di monte con malte;
- con iniezioni, nel paramento di valle, per consolidare il calcestruzzo e per occludere i vespai interni o macrofessure (> 1 mm).

Le caratteristiche tecniche e prestazionali del conglomerato per l'intonaco



devono essere:

- la resistenza meccanica a compressione generalmente compresa tra 60 e 100 MPa;
- la resistenza meccanica a flessione generalmente compresa tra 8 e 10 MPa;
- il modulo elastico variabile da 25000-30000 MPa per le malte e 35000-40000 MPa per i calcestruzzi;
- l'impermeabilità, valutata attraverso la penetrazione all'acqua sotto pressione (da 1 a 7 bar, secondo la norma DIN 1048 o ISO 7031), al di sotto di 20 mm;
- la resistenza agli attacchi chimici provocati dal solfato, dagli alcali e dall'anidride carbonica aggressiva;
- la compensazione del ritiro attraverso un'espansione contrastata (secondo le norme UNI 8147 e 8148) superiore a 300 mm/m per le malte e 200 mm/m per i calcestruzzi;
- l'assenza di fessure da ritiro plastico (grazie alla presenza di fibre polimeriche) per le malte da applicare a spruzzo;
- la resistenza all'abrasione da valutare mediante riduzione dello spessore di una lastra sottoposta ad usura standardizzata (abrasimelo di Amsler o di Taber);
- la resistenza alla formazione del ghiaccio (grazie alla presenza di agenti aeranti) nei materiali destinati al restauro di opere esposte ai cicli di gelo-disgelo (UNI 7087).

*Descrizione dell'intervento:*

L'intervento comprende:

- preparazione del sottofondo;
- supporti e installazione della rete;
- produzione della malta;
- applicazione della malta;
- stesura.

### **Preparazione del sottofondo:**

In linea di massima è necessario che il sottofondo di calcestruzzo sul quale si deve applicare la malta da restauro si presenti sano, irruvidito e saturo di acqua.

Occorre, pertanto:

- Rimuovere, mediante scarnificazione meccanica o idrodemolizione, il vecchio intonaco e il sottostante materiale ammalorato, fino ad arrivare ad un calcestruzzo meccanicamente resistente e irruvidito. Lo spessore di

calcestruzzo rimosso deve essere almeno eguale a quello che, in base alle indagini, risulta essere ormai penetrato dagli agenti aggressivi (cloruro, solfato, ecc.), anche se ancora non completamente danneggiato. I residui di precedenti interventi non perfettamente aderenti dovranno essere ugualmente rimossi. Un irruvidimento ideale del sottofondo corrisponde ad una superficie con asperità di circa 5 mm.

- Saturare di umidità il sottofondo, bagnando con acqua a pressione, al fine di evitare sottrazione di acqua alla malta da applicare, con conseguente perdita delle caratteristiche espansive: una tecnologia ottimale è quella basata sull'impiego delle macchine per lavaggio ad acqua delle autovetture, con rimozione dell'eccesso di acqua mediante aria compressa o stracci per ottenere un sottofondo saturo di acqua a superficie asciutta.

Si procede, quindi, alla miscelazione della malta in betoniera.

#### **Supporti ed installazione della rete in fibra di vetro:**

Verranno inseriti nel supporto (in almeno 4 punti ogni m<sup>2</sup>), tasselli ad espansione, su cui verrà fatto scorrere un tondino di acciaio inox del diametro di 6 mm, al quale saranno ancorate le reti tramite grappe in resina. Le reti in fibra di vetro dovranno essere montate sfalsando i giunti.

#### *Applicazione della malta:*

L'applicazione può essere eseguita a spruzzo con macchina intonacatrice. Immediatamente si può procedere, con una spatola di legno, a rendere più o meno planare la superficie rimuovendo la malta dalle zone di maggior accumulo. La finitura finale (con frattazzo di legno, di ferro o di spugna sintetica) può essere eseguita in un tempo successivo (circa 30-60 min) quando, appoggiando la mano sulla superficie, le dita non affondano, ma lasciano solo una leggera impronta.

Se la malta ha da poco iniziato la presa l'operazione di frattazzatura superficiale può essere agevolata, se accompagnata dall'applicazione di acqua nebulizzata.

A protezione dell'intonaco si potrà utilizzare una membrana impermeabile, come le tante reperibili in commercio, che vengono applicate come vernici liquide (come PP-DAM di permaproof AG).

Il materiale impiegato per delle **iniezioni sul paramento di valle**, da effettuare nei punti in cui si notano copiose infiltrazioni, sarà a base polimerica. I fori, del diametro minimo di 15 mm, saranno riempiti con sostanze polimeriche, cioè resine epossidiche o poliuretaniche.

Queste sono costituite da molecole di prodotti organici, collegate tra loro fino a formare una catena lineare più o meno ramificata, o anche una struttura reticolata tridimensionale.

Esistono vari tipi di polimeri ed hanno molteplici applicazioni in tutti i settori della nostra vita quotidiana (utensili, macchine, autovetture, componenti per elettronica, pneumatici, mobili, ecc). Molti di essi sono destinati al settore delle costruzioni. Quelli che maggiormente interessano il campo del restauro delle costruzioni sono prodotti solidi ottenuti per polimerizzazione di un monomero liquido.

Il monomero liquido può essere applicato sulla superficie di una muratura in calcestruzzo o in mattoni per dar luogo, a polimerizzazione terminata, ad un film solido, più o meno impermeabile ed aderente al supporto. E' questo il caso di un rivestimento pellicolare applicato sulla superficie del materiale da proteggere. Se il liquido monomero è caricato con materiale in polvere o granulare si può ottenere una pasta o una malta da applicare come intonaco a spessore centimetrico. Se la carica è costituita da aggregati più grossi di 5 mm si ottiene un vero e proprio calcestruzzo polimerico.

Per le iniezioni si utilizzerà una miscela poco viscosa, come il PIC, "calcestruzzo polimerico impregnato". La polimerizzazione in situ (per assicurare la presa dei polimeri al calcestruzzo) è la migliore, per il caso di cui si discute. Una polimerizzazione di un liquido monomero monocomponente può avvenire solo grazie all'aggiunta, eseguita poco prima dell'impiego, di un catalizzatore capace di innescare la trasformazione del monomero liquido nel polimero solido. Il monomero rimane liquido durante lo stoccaggio prima dell'impiego e solidifica solo dopo l'aggiunta del catalizzatore (molto spesso coadiuvato da un riscaldamento, che favorisce la polimerizzazione) una volta che sia stato iniettato all'interno o applicato sulla superficie del calcestruzzo.

### **La patina biologica:**

Le colonie vegetali presenti sulla struttura sono composte nella quasi totalità da licheni, per l'alto tasso di umidità dell'aria e lo scarso inquinamento atmosferico. I licheni sono costituiti dall'unione, in una stessa forma associativa infestante, di funghi con cianobatteri o con alghe.

Sulla superficie del cemento si riscontrano specie differenti: fogliosi, crostosi, endolitici.

*Metodi meccanici:* La rimozione meccanica è sufficiente solo quando si

è in presenza di licheni fogliosi, poiché questi, avendo un tallo a forma fogliacea attaccato al substrato per mezzo di rizine, hanno un rapporto particolarmente labile con il substrato. Il trattamento meccanico è, in genere, preferibile anche nel caso di licheni endolitici (con tallo interno al substrato), poiché l'applicazione di un biocida, pur determinando la morte di alghe e funghi, provoca una degenerazione del tallo secondo una desquamazione progressiva dello strato corticale, che si stacca in piccole scaglie; si ha quindi l'esposizione all'atmosfera di una superficie del manufatto litico maggiore di quella originaria, con un sensibile aumento del rischio che s'innescino altri processi di degrado a suo carico. La rimozione meccanica è in genere effettuata con l'impiego di bisturi e spazzole e può essere facilitata dall'applicazione di una soluzione di ammoniaca debolmente concentrata (2% a 5%), poiché l'ammoniaca provoca il rigonfiamento e l'ammorbidimento del tallo, ne diminuisce l'adesione al substrato e ne facilita quindi la rimozione.

*Metodi chimici:* In presenza di licheni crostosi (con tallo a forma crostosa tenacemente ancorato al substrato e senza rizine), è necessario applicare un biocida e, solo dopo la loro morte, è possibile rimuoverli meccanicamente. Anche per i licheni sorediati (licheni che hanno riproduzione agamica attraverso i soredi, formati da un'alga contornata da ife fungine, che sono dispersi dal vento favorendo la propagazione del tallo) è preferibile l'impiego di un biocida. Un'asportazione dei talli con metodi meccanici, infatti, in questi casi causerebbe la dispersione nell'aria d'innomerevoli propagoli vegetativi. I biocidi comunemente utilizzati per l'eliminazione dei licheni sono solubili in acqua e sono pertanto applicati in soluzioni acquose debolmente concentrate (1-3%). Le soluzioni sono preparate al momento dell'uso, perché, se conservate per lungo tempo, l'efficacia del principio attivo in esse presente può sensibilmente diminuire. I prodotti lichenicidi impiegati comprendono, essenzialmente: a) sali di ammonio quaternario, b) enzimi proteolitici.

La classe di prodotti più largamente impiegata come lichenicidi è quella dei sali di ammonio quaternario, applicati a spruzzo, a pennello o a impacco. Generalmente, le soluzioni di sali di ammonio quaternario sono applicate con un'irrorazione spray a bassa pressione.

5.1.4 ESTRATTI DELLE TAVOLE DI PROGETTO

**La mappatura del degrado sui fotopiani dei prospetti della centrale**

*(Elaborazioni A. Nardiello):*



**Fig. 1.** Il prospetto SUD della centrale.



**Fig. 2.** Il prospetto Ovest della Centrale.

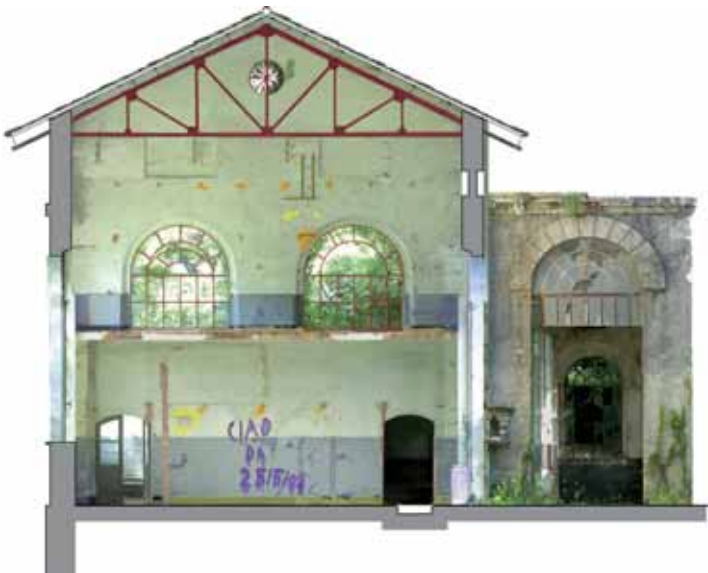


**Fig. 3.** Il prospetto EST della Centrale.

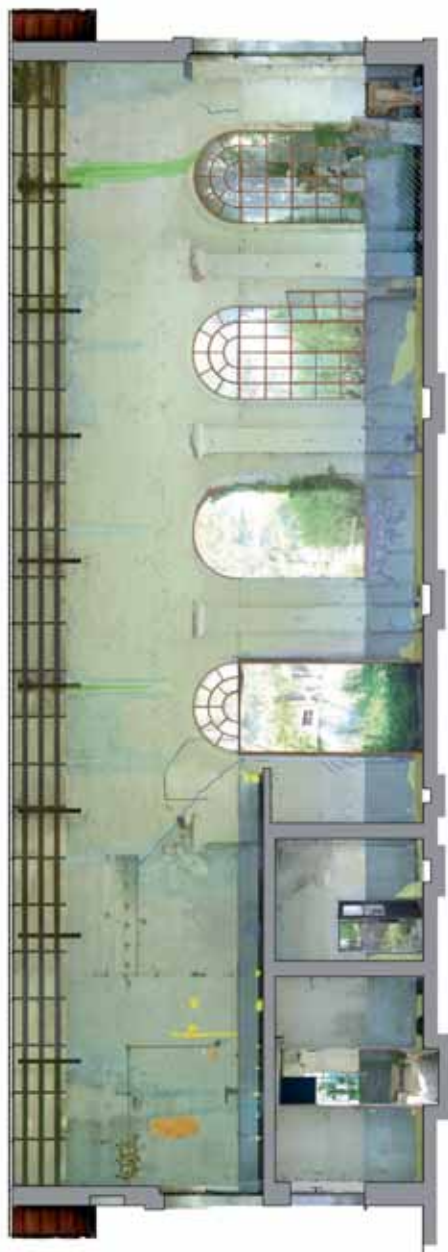




**Fig. 4.** Il prospetto NORD della Centrale.



**Fig. 5.** Sezione lungo il lato corto.



**Fig. 6.** Sezione lato lungo.

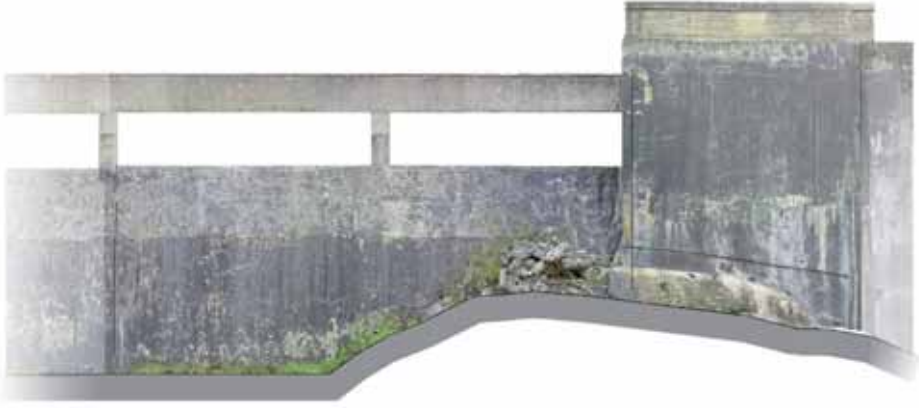
**Fotopiani dei prospetti della diga** (*Elaborazioni A. Nardiello*):



**Fig. 7.** Prospetto di valle corpo diga



**Fig. 8.** Prospetto di monte corpo diga



**Fig. 9.** Prospetto sfioratore



**Fig. 10.** Prospetto paratoia



**Fig. 11.** Prospetto camera di manovra opera di presa



**Fig. 12.** Sezione camera di manovra opera di presa

## **5.2 PROPOSTE PROGETTUALI**

**Tutti i dati di seguito riportati vanno aggiornati, considerando la data in cui tale studio è stato compiuto.**

### *5.2.1 LA CONVERSIONE A BIOMASSE DELLA CENTRALE*

Nelle valutazioni, per uno studio di fattibilità di una centrale a biomasse non si può prescindere dall'analisi climatologica.

Le condizioni climatiche e geografiche del comune di Muro Lucano sono:

Quota media = 600 m s.l.m.

Temperatura minima invernale (20 percentile) = -8 °C

Muro Lucano rientra nella zona climatica: D

- num. Gradi-giorno= 2000

- periodo di riscaldamento: dal 1 Novembre al 15 Aprile giorni= 165 max

- h/g ammesse= 12 max

- La temperatura interna prevista per le utenze private (abitazioni) è pari a 20°C.

Da ciò consegue che la differenza tra temperatura interna e temperatura esterna (delta T) è pari a:

- Delta T medio nell'arco della stagione invernale= 25 °C
- Delta T massimo nel 20 percentile dei giorni più freddi= 35 °C

Su questi dati di partenza è stato impostato il calcolo della potenza di caldaia, tenendo conto delle caratteristiche medie di dispersione termica degli edifici considerati.

Il Dimensionamento dell'impianto, tutte le valutazioni sui costi, per avere un valore di prezzo indicativo e quindi capire le fattibilità dell'opera, sono state effettuate con il Software D.E.M.O.N.E.

Questo prezioso strumento è stato sviluppato nel 2002 da Corintea per conto della Regione Piemonte, che come la Basilicata, stanno realizzando un efficientissimo programma di sviluppo dei distretti energetici, basati sull'impiego delle biomasse, nell'ambito del progetto nazionale PROBIO. Ora illustreremo tutte le variabili necessarie al software per l'elaborazione ed il risultato.

#### **Scelta delle utenze:**

L'area da servire con il teleriscaldamento, è quella prossima alla centrale, con una possibilità di allacciare circa 130 unità abitative.



L'idoneità dei singoli edifici, riguarda aspetti di natura tecnico/costruttiva, di fabbisogno energetico e di loro posizionamento rispetto ad una possibile rete di distribuzione.

I criteri principali adottati in questa fase di identificazione sono stati:

- tipologia costruttiva e posizione degli edifici rispetto ai possibili tracciati di una rete di teleriscaldamento.
- consistenza dei consumi prevedibili, per gli edifici allacciabili.
- stato geotecnico dei terreni interessati dal tracciato della rete.

#### *5.2.2 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI DISPERSIONE TERMICA*

Per ogni edificio è stato definito il massimo coefficiente di dispersione termica ammissibile (DM 27/07/2005) in base alla zona climatica di appartenenza (DPR 412) ed alle caratteristiche morfologiche (rapporto tra superficie esterna e volume dell'edificio). E' stato quindi valutato il fabbisogno termico teorico, che è quello richiesto dalle normative vigenti per edifici di nuova costruzione. Il fabbisogno teorico è stato poi corretto per ogni edificio con un coefficiente (variabile tra 1 e 4, ove 1 rappresenta edifici con le caratteristiche di dispersione termica prescritte dalla legge, mentre 4 rappresenta edifici obsoleti e con mediocri caratteristiche di isolamento termico).

L'applicazione di tale parametro è stata ponderata per ogni edificio, tenendo conto delle caratteristiche costruttive (stato attuale, materiali, finestrate, etc.), e si è giunti così a definire il fabbisogno termico effettivo, che include anche la fornitura di acqua calda sanitaria per 365 giorni all'anno.

#### **Acqua calda sanitaria:**

L'acqua calda sanitaria, in prima approssimazione, rappresenta il 10% del consumo energetico annuo dovuto al riscaldamento e, per tenere in considerazione il relativo fabbisogno, il coefficiente correttivo applicato per la dispersione termica è stato incrementato del 10%.

#### **Utenze:**

Oltre al Fabbisogno di potenza, di energia e spesa annua per le utenze private sono stati poi valutati i fabbisogni totali di potenza termica, ottenuti considerando i coefficienti di dispersione effettivi ed il rapporto superficie/volume di ogni singola utenza.

Questo tramite D.E.M.O.N.E., ha portato a determinare i parametri netti totali:

Volumetria totale ipotizzata (mc):	72.000
Potenza media richiesta (kW):	1.400
Potenza da installare (KW):	2.880

Il fabbisogno netto totale di potenza (kW 3.430), necessario per far fronte ai picchi di richiesta, è stato ridotto: questo è necessario per evitare un sovradimensionamento della caldaia. Infatti, nel caso in cui un'unica generatore debba provvedere al riscaldamento di numerose utenze, la potenza corrisponde alla somma dei fabbisogni di potenza di tutte le utenze, diminuita di un coefficiente di contemporaneità che tenga conto delle caratteristiche temporali e del prelievo termico delle varie unità.

Il valore di questo coefficiente va valutato caso per caso: in questo progetto è stato considerato pari al 30%.

A valle di tutte queste considerazioni, risulta un fabbisogno netto totale di potenza pari a 2.400 kW.

Sulla base degli specifici fabbisogni termici/consumi, è stata valutata la spesa annua che ogni utenza avrebbe affrontato utilizzando combustibili fossili (gasolio o GPL) nei singoli impianti di riscaldamento. La considerazione si basa sul numero di ore e di gradi-giorno previsti dalla normativa relativamente alla zona di Muro Lucano.

Per la determinazione degli approvvigionamenti energetici delle utenze private sono state prese in considerazione le ore di funzionamento prescritte dal DPR 412; la valutazione dei consumi annui ha tenuto conto (tramite opportuno coefficiente) che la caldaia non opera sempre alla massima potenza.

Funzionamento giornaliero su 12 ore (per 165 gg): fabbisogno di energia "privato" annuo per le utenze considerate pari a circa 3.700.000 kWh.

Su questa base è riportata, nella tabella che segue, la spesa annua che si otterrà utilizzando il calore distribuito dal teleriscaldamento a biomassa e quello con un classico impianto a combustibili fossili.

Consumo utenze	Costo di 3.700.000 kWh
Spesa annua con teleriscaldamento a biomassa	413.000 Euro
Spesa annua con combustibili fossili	516.000 Euro
<b>Risparmio annuo</b>	<b>103.000 Euro</b>

### 5.2.3 DIMENSIONAMENTO CENTRALE

La somma dei fabbisogni netti effettivi di tutte le utenze considerate è risultata, dopo l'applicazione del coefficiente di contemporaneità, pari a 2.400 kW. La potenza lorda della caldaia, tenendo in dovuto conto i rendimenti di generazione (90%) e di distribuzione (90%) è pari a 3 MW.

I componenti da mettere in opera sono:

1. Complesso di trasporto del combustibile al silo finale di alimentazione caldaia;
2. Silo finale di alimentazione caldaia;
3. Sistema di estrazione del combustibile dal silo;
4. Generatore di calore a biomassa (caldaia);
5. Scambiatore fumo / fluido termovettore;
6. Impianto di depurazione dei fumi, con eventuale connesso recupero di calore;
7. Camino;
8. Impianto di estrazione delle ceneri;
9. Quadro elettrico di comando e accessori;
10. Circuiti idraulici ed elettrici di centrale;
11. Sistemi di sicurezza ed eventuale accumulatore inerziale e bollitore per acqua sanitaria;
12. Edificio della centrale e capannoni di copertura e contenimento cippato.

L'area necessaria per l'installazione della centrale (escluso il centro di stoccaggio) è di circa 500 mq, inclusi gli spazi per la movimentazione dei mezzi di trasporto combustibile.

La soluzione progettuale tecnica prevede l'installazione di una caldaia di ultima generazione, gestita da microprocessore, con valori del rendimento termico superiori al 90% ed impianto ad alta tecnologia per l'abbattimento delle polveri e delle altre emissioni secondo le norme di legge.

L'impianto di depurazione dei fumi deve essere in grado di abbassare il contenuto di polveri nei fumi al di sotto delle soglie consentite dalla legislazione vigente (D.M. 05/02/98 n. 72 e D.P.C.M. 08/03/02).

Il ciclone - o multiciclone - è solitamente sufficiente a garantire il rispetto del valore limite di emissione per gli impianti di potenza inferiore ai 3 MW (Polveri totali < 100 mg/Nm<sub>3</sub>).

Per il rispetto della soglia più restrittiva, per gli impianti di potenza compresa tra i 3 e i 6 MW ( $< 30 \text{ mg/ Nm}^3$ ), il ciclone è di norma insufficiente; perciò verrà installato un elettrofiltro, o un filtro a maniche.

L'installazione ottimale di una caldaia a biomassa prevede la presenza di un accumulatore inerziale.

È costituito da un serbatoio d'acqua termicamente isolato, collegato direttamente alla mandata della caldaia tramite un'apposita pompa. L'acqua contenuta nell'accumulatore è pertanto la stessa che circola in caldaia e nell'impianto di riscaldamento.

L'accumulatore inerziale svolge le seguenti importanti funzioni:

- consente alla caldaia di funzionare in modo regolare, evitando interruzioni dovute a insufficiente richiesta di energia da parte dell'impianto di riscaldamento: in queste condizioni, invece di bloccare la combustione o surriscaldare gli ambienti, la caldaia può continuare a funzionare immagazzinando energia nel serbatoio di accumulo. Questa energia si renderà disponibile successivamente quando il progressivo esaurimento del combustibile determinerà una riduzione della potenza erogata dalla caldaia. Il funzionamento senza interruzioni riduce la fumosità delle emissioni e lo sporcamento del camino, protegge la caldaia da dannose formazioni di condensati catramosi, e aumenta il rendimento globale dell'impianto;
- costituisce un "volano" termico per l'impianto di riscaldamento e fa aumentare il comfort di esercizio, rendendolo del tutto simile a quello di impianti automatici a gas/gasolio. Infatti, l'energia contenuta nell'accumulatore sotto forma di acqua calda viene automaticamente ceduta all'impianto nel momento in cui questo la richiede.

Questo assicura alcune ore di riscaldamento anche a caldaia spenta, ad esempio nelle prime ore del mattino.

La caldaia a biomassa sarà del tipo a griglia vibrante (o mobile), per permettere un migliore mescolamento tra aria comburente e combustibile durante la combustione e potrà essere alimentata automaticamente da cippato (pezzatura fino a 4 cm) con umidità fino al 50%.

Per quanto riguarda il costo di investimento, per una l'allestimento di una centrale termica i dettagli sono presentati nel relativo foglio di calcolo.

#### *5.2.4 LA RETE DI DISTRIBUZIONE: DESCRIZIONE E DIMENSIONAMENTO*

Nel caso del teleriscaldamento, il dimensionamento della caldaia è collegato alla progettazione della rete di distribuzione del calore. Avendo individuato in prima approssimazione l'utenza, la sua localizzazione e la potenza da installare, occorre valutare se la lunghezza della rete è in un rapporto ragionevole con la potenza della caldaia. La rete non deve essere "troppo lunga" rispetto alla potenza e all'energia erogata, perché ciò sarebbe sconsigliato dal punto di vista economico (dispersioni termiche). Si può utilizzare il criterio secondo cui deve esservi almeno 1 kW di potenza d'allacciamento per metro lineare di condotta termica principale di mandata/ritorno (lunghezza del canale).

La rete di distribuzione è la parte in genere più costosa dell'impianto di teleriscaldamento ed è costituita da un circuito principale di tubazioni coibentate di andata e ritorno dell'acqua calda, dal quale si diramano i collegamenti con le varie utenze.

La tipologia di rete, maggiormente affidabile e più favorevole è quella "ad anello", costituita da un circuito chiuso (sia sul percorso di andata che su quello di ritorno), con possibilità di alimentazione da entrambi i lati e con una conseguente più omogenea distribuzione della pressione.

Essa è alimentata da una stazione di pompaggio collegata alla caldaia: la pressione di esercizio dipende dai dislivelli e dallo sviluppo della stessa e dalle sue diramazioni.

Il diametro dei tubi dipende dalla potenza termica trasmessa, dalla differenza di temperatura tra la mandata ed il ritorno e dalla velocità dell'acqua che non deve di norma superare, nella ramo principale, i 3 m/s.

Le utenze dovranno essere collegate attraverso una serie di sottostazioni, situate come se fossero tante differenti caldaie centralizzate, all'interno dei diversi edifici, in locali tecnici, senza particolari esigenze di ventilazione o di sicurezza. Nel caso di piccole utenze contigue, si installerà un'unica sottostazione, con una breve rete secondaria di distribuzione alle abitazioni collegate. In conclusione, il costo stimato della rete, potrebbe aggirarsi intorno ai 700.000 Euro, inclusi gli scavi e le opere civili, esclusi gli allacciamenti e le sottostazioni, le opere di distribuzione del calore interne alle singole abitazioni/utenze pubbliche. La voce di costo principale è legata all'acquisto ed alla posa in opera delle tubazioni coibentate (circa il 70% del costo totale della rete).

### **Le tipologie di biomassa:**

Le tipologie principali di biomassa stoccabili in un simile impianto sono tutte quelle idonee alla combustione nella caldaia di una centrale termica. In base alle caratteristiche delle risorse locali disponibili:

#### **A) Biomassa forestale:**

- Materiale di scarto della legna da ardere
- Materiale di risulta delle utilizzazioni forestali
- Materiale legnoso abbandonato

#### **B) Biomassa Agricola:**

- Residui di potatura
- Materiale da coltivazioni dedicate

#### **C) Biomassa industriale e artigianale:**

- Materiale di scarto (sfridi industria legno, cassetame e pallets usati)

#### **D) Biomassa da verde pubblico**

- Potature
- Manutenzioni varie

Il materiale potrà essere conferito al Centro di stoccaggio sia “intero” (tronchi, rami, ramaglie, tavole, cassetame, etc.) sia già cippato. Per il materiale “intero” sarà prevista la sua cippatura nello stesso Centro, prima di essere alimentato alla caldaia.

### *5.2.5 DESCRIZIONE E DIMENSIONAMENTO DEL CENTRO DI STOCCAGGIO*

Il Centro di stoccaggio è fondamentale per garantire l'alimentazione e l'autonomia della caldaia ed ovviare ad ogni condizione, che limiterebbe l'uso per difficoltà di approvvigionamento.

È costituito da un vasto piazzale sterrato e compattato, con una parte pavimentata e coperta da una tettoia per proteggere il materiale, prima della sua combustione.

Il dovrà essere localizzato in una posizione ottimale rispetto sia alla logistica dei conferimenti della biomassa sia al sistema di alimentazione della caldaia. Potrebbe essere realizzata, quest'area, nel vicino deposito comunale di attrezzature per la nettezza urbana, e quindi dovrebbe essere necessario attrezzarla con un sistema basato su containers scarrabili da 20 mc, che verrebbero caricati nel Centro di stoccaggio e posizionati poi in Centrale (vuoto per pieno), prossimi al silo finale ed alla coclea di alimentazione della caldaia. Ciascun container scarrabile sarà dotato di un sistema di

avanzamento della biomassa cippata, in modo che lo scarico nel silo di Centrale avvenga gradualmente e senza emissione di polveri e rumori. Per garantire una sufficiente autonomia alla caldaia (90 giorni) si è considerato di stoccare un quantitativo di biomassa pari a circa 1.000 t, che corrispondono al consumo della caldaia per tre mesi di funzionamento. L'area necessaria corrisponde a circa 3.000 mc. Una parte della stessa area dovrà essere coperta da una tettoia, per permettere una migliore essiccazione naturale della biomassa immagazzinata. Sarà necessaria una tettoia di almeno 700 mq, per conservare al coperto il combustibile per un periodo di 3 settimane prima della sua alimentazione in caldaia. La tettoia coprirà mucchi di biomassa cippata alti da 2 a 3 metri, disposti in modo tale da consentire una facile movimentazione ed una sicura predisposizione antincendio. Anche nella restante area scoperta dello stoccaggio l'altezza dei cumuli sarà di circa 3 m. I costi di investimento per la realizzazione del Centro di stoccaggio sarebbero pari a circa 260.000 Euro (includono anche i prevedibili oneri per l'acquisizione dell'area) e comprenderebbero: le strutture, la cippatrice, gli scarrabili, la motrice per gli scarrabili, un trattore attrezzato per la carica frontale della coclea di alimentazione caldaia e una pesa a ponte.

#### *5.2.6 LA DISPONIBILITA' DELLE BIOMASSE*

Le fonti che possono garantire l'approvvigionamento della Centrale sono costituite da:

**A) Biomassa forestale:**

- Materiale di scarto della legna da ardere
- Materiale di risulta delle utilizzazioni forestali
- Materiale legnoso abbandonato

**B) Biomassa agricola:**

- Residui di potatura
- Materiale da coltivazioni dedicate

**C) Biomassa industriale e artigianale:**

- Materiale di scarto (sfridi industria del legno e del mobile, cassettame e pallets usati, etc.)

**D) Biomassa da verde pubblico:**

- Potature
- Manutenzioni varie



L'organizzazione dell'approvvigionamento della biomassa richiede di determinare i metodi più razionali di approvvigionamento del combustibile al fine di ottimizzarne tempi e costi attraverso uno studio tecnico della filiera bosco-legno-energia suddiviso nei seguenti punti:

- scelta di adeguati cantieri per la raccolta di biomassa di origine agricola e forestale;
- ottimizzazione del trasporto mediante lo studio della viabilità stradale esistente e dei collegamenti imposto/impianto;
- studio delle modalità e dei tempi relativi alla fase di stoccaggio (permanenza, preutilizzo) con particolare riferimento ad umidità e p.c.i della biomassa.

L'organizzazione di un approvvigionamento regolare per quantità e qualità per un numero congruo di anni deve scontare difficoltà imprevedute delle più diverse nature: climatiche (annate in cui le utilizzazioni forestali o l'esbosco siano più o meno difficili), contrattuali (variazioni di prezzo che rendano difficile l'acquisto di legname in piedi, difficoltà nel reperimento della proprietà), normative (nuove norme o interpretazioni differenti di norme), di disponibilità di manodopera.

L'acquisto di biomasse di origine agricola o industriale o proveniente da altri territori sconta, oltre ad analoghe possibili variazioni nella disponibilità e nella qualità, anche problemi di tipo ambientale.

Si fa qui riferimento alle garanzie di non contaminazione o assenza di sostanze tossiche a seguito di combustione per le biomasse di origine industriale e a garanzie sulle condizioni di utilizzazione (sostenibilità dei prelievi rispetto delle normative selvicolturali e della sicurezza sul lavoro) per quelle di provenienza diretta dal bosco.

Nell'impostazione dell'intervento di sviluppo della filiera legno-energia occorre ben chiarire fin dall'inizio quali siano gli obiettivi e le politiche che si intendono perseguire, ovvero quanto privilegiare lo sviluppo della filiera locale, quanto il risparmio dovuto all'acquisto di biomasse di origine industriale, quali garanzie ambientali e sociali perseguire.

Trattandosi di approvvigionamenti di fonti per la produzione di energia occorre anche valutare la sicurezza e la costanza degli stessi.

La biomassa proveniente dal bosco è quella che, nella logica di una corretta gestione dei soprassuoli, consente di ottenere consistenti quantitativi annui di biomassa, sia sottoforma di residui (dai tagli, anche di diradamento o

dalle potature nelle fustaie), sia da un incremento delle utilizzazioni nei cedui.

A tal proposito si è condotta un'analisi delle cartografie del comune di Muro Lucano per valutare, la disponibilità di biomassa ligno-cellulosica ottenibile nell'area.

I boschi di proprietà comunale, per tutti i quali vige un piano di assestamento, sono per la maggior parte fustaie di cerro, roverella, querce e soprattutto di faggio.

Per la valutazione del materiale ligno-cellulosico disponibile ci si è attenuti a valutazioni poco specifiche, relative alla superficie ricoperta da foreste del comune pari ad un totale di 111.000 Km<sup>2</sup>, di cui ad alto fusto, pari a circa 13.000 mq, vale a dire che all'interno della compresa stessa, questo è il quantitativo prelevabile ammesso.

Per calcolare, in linea di massima, la biomassa disponibile per la conversione in energia si è ipotizzato, che il 70% della massa legnosa sia costituita da legname da opera ed il restante 30 % da residui; per la conversione in tonnellate si è applicata l'equivalenza 1 mc= 0,6t di tal quale.

Da tale risorsa si stima quindi che possano derivare tra 200 e 300 t/anno di bio massa legnosa. In una eventuale fase esecutiva del progetto, l'indagine si dovrà estendere alla valutazione della disponibilità di biomassa agroforestale in tutta l'area della Comunità Montana ed alla valutazione di altre risorse legnose (potature urbane, scarti di cassetame, residui di segheria, etc.) conferibili da aree adiacenti.

#### *5.2.7 RISULTATI DEL CALCOLO CON IL SOFTWARE D.E.M.O.N.E.*

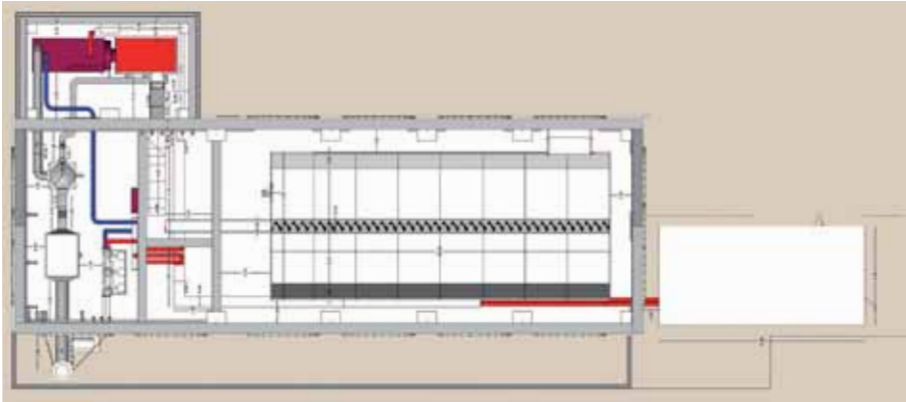
**(Sviluppato nel 2002 da Corintea per conto della Regione Piemonte, nell'ambito del progetto nazionale PROBIO)**

Nei precedenti paragrafi abbiamo utilizzato e commentato gran parte dei dati e delle cifre ottenute tramite questo strumento, ed inseriti in esso per effettuare i calcoli.

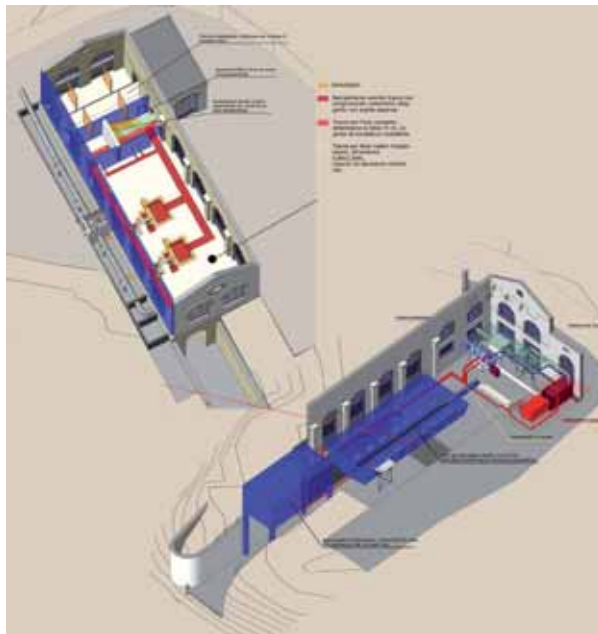
Al termine dell'elaborazione, il programma redige un piano economico, necessario per stabilire la fattibilità di una simile operazione.

Sulla base di un investimento iniziale, necessario per la realizzazione dell'impianto, ipotizzato pari a 2.000.000 di Euro e un costo di gestione annuo pari a circa 200.000 Euro, il Kwh di energia generato avrebbe un costo di circa 0,12 Euro.

Alla luce dell'enorme vantaggio ambientale e soprattutto del prezzo medio del gas metano, ad oggi il più utilizzato per l'utenza privata, la cifra espressione del calcolo può ritenersi accettabile.



**Fig.1.** Pianta progetto centrale. *(Elaborazione A. Nardiello)*



**Fig.2.** Viste di progetto centrale. *(Elaborazione A. Nardiello)*

### 5.2.8 PROGETTO DI UN IMPIANTO MINI IDROELETTRICO AL PIEDE DEL CORPO DIGA

Il progetto definitivo di un impianto di “Mini Idroelettrico” è il risultato di un complesso processo iterativo dove, avendo sempre presente le problematiche di impatto ambientale, vengono valutate le diverse soluzioni tecniche da un punto di vista meramente economico.

Per Mini-idro si intende un impianto con una potenza non maggiore di 1.000 kW secondo l’indicazione fornita dall’ ESHA (European Small Hydro Association), la configurazione particolare del sito oggetto di studio permette la realizzazione di un impianto a piccola portata (inferiore a 10 m<sup>3</sup>/s) e a bassa caduta (salto utile compreso tra 2 e 30 metri).

Vista l’impossibilità di utilizzare la diga di ritenuta esistente per quanto già illustrato, si realizzerà un sistema ad acqua fluente con centralina al piede del corpo, riutilizzando le condotte forzate del vecchio impianto e deviando l’acqua da turbinare dalla saracinesca posizionata nella camera di manovra.

Lo studio realizzato non può, per ovvie motivazioni essere totalmente esauriente, ai fini di una corretta realizzazione di una piccola centrale idroelettrica.

Rappresenta un progetto di massima, si riporta un breve elenco delle parti che potrebbero integrarlo e quindi renderlo esaustivo:

- Topografia e geomorfologia del sito.
- Valutazione della risorsa idrica e del suo potenziale energetico.
- Selezione del sito e schema base d’impianto.
- Turbine idrauliche, generatori elettrici e loro regolazione.
- Studio d’Impatto Ambientale e misure di mitigazione.
- Valutazione economica del progetto e possibilità di finanziamento.
- Ambito istituzionale e procedure amministrative per l’ottenimento delle autorizzazioni.

#### **Richiami Normativi:**

In Italia l’avventura energetica e lo scenario delle rinnovabili è stato iniziato con la Legge 308 del 1982, la quale permetteva inoltre di accedere a finanziamenti (anche cumulabili) fino ad un massimo del 75% del costo complessivo di investimento a fondo perduto. Con essa però venivano imposti anche alcuni limiti sugli impianti, ed in particolare per quelli idroelettrici veniva fissata la soglia dei 3 MW. L’importante processo di

liberalizzazione del mercato dell'energia da fonti energetiche rinnovabili e assimilate (in cui è inclusa la cogenerazione) viene anticipato in Italia dalla Legge n. 9/91 che ne consente la libera circolazione in ambito consortile (eliminando anche la soglia dei 3.000 KW) e impone all'ENEL l'obbligo di acquisto dell'eccedenza non consumata per i fabbisogni propri dal produttore, di soggetti facenti parte del medesimo gruppo industriale, di membri di consorzi o di società consortili cui partecipa il produttore stesso. I prezzi relativi alla cessione, alla produzione per conto dell'ENEL, al vettoriamento ed i parametri relativi allo scambio vengono invece definiti nel provvedimento CIP 6/92 che ha provveduto a stabilire dei valori certi, da riconoscere all'energia prodotta da fonti alternative, differenziati per tipologia di tecnologia utilizzata, validi per i primi otto anni di funzionamento dell'impianto. L'importanza ed il successo di questo provvedimento sono testimoniati dal fatto che circa 3.000 dei 18.000 MW proposti provengono da fonti energetiche rinnovabili vere e proprie, mentre approssimativamente 8.000 sono il totale dei MW ammessi a godere dell'incentivo. Con tale provvedimento però, il costo dell'incentivazione è a carico dei consumatori e viene recuperato su alcuni oneri che compongono la tariffa elettrica.

Nel 1997 durante la conferenza tenutasi a Kyoto, l'Italia, insieme a circa altri 170 paesi di tutto il mondo, ha assunto l'impegno di ridurre del 6,5% entro il 2010 le proprie emissioni di gas serra rispetto a quelle del 1990.

A compimento di tale impegno si sono sviluppate una serie di decisioni che applicano in Italia la direttiva europea 96/92/CE per la liberalizzazione del mercato elettrico, note come decreto legislativo 16 marzo 1999, n.79 o Decreto Bersani. Con questo decreto si passa da un sistema di incentivazione delle fonti energetiche rinnovabili finanziato dai consumatori, ad un nuovo modello sostenuto dai produttori di energia da fonti convenzionali. Nell'articolo 3 viene istituito il GRTN, che esercita le attività di trasmissione e dispacciamento dell'energia elettrica e che ha l'obbligo di connettere alla rete di trasmissione nazionale tutti i soggetti che ne facciano richiesta. All'articolo 11 invece, viene imposto l'obbligo per i grandi produttori o importatori di energia tradizionale, di immettere nel mercato, a partire dal 2002, una quota pari al 2% della suddetta energia eccedente i 100 GWh, da fonti rinnovabili. L'adempimento di tale impegno può avvenire anche tramite l'acquisto da terzi dei diritti di produzione da rinnovabili.

Questa quota deve provenire da impianti messi in funzione o ripotenziati in data successiva al 01 Aprile 1999.

I Certificati Verdi (CV) vengono però effettivamente introdotti solo tramite il decreto del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato 11 novembre 1999, direttive per l'attuazione delle norme in materia di energia elettrica da fonti rinnovabili di cui ai commi 1,2 e 3 dell'articolo 11 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79 (DM11/11/99).

Vengono così stabiliti:

- gli impianti aventi diritto alla fruizione dei CV;
- le modalità per la qualificazione di tali impianti per poter richiedere CV;
- l'affidamento al GRTN (Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale, società S.p.A. del Ministero del Tesoro) di qualificare gli impianti, emettere i CV agli aventi diritto e verificare, da parte dei produttori di energia da fonti convenzionali, l'adempimento degli obblighi imposti dal Decreto Bersani.

Il mercato dei CV viene definito con l'aggiunta del decreto del Ministero delle Attività Produttive 18 marzo 2002, modifiche ed integrazioni al decreto del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, di concerto con il Ministero dell'Ambiente, 11 novembre 1999, "direttive per l'attuazione delle norme in materia di energia elettrica da fonti rinnovabili di cui ai commi 1, 2 e 3 dell'art.11 del decreto legislativo 1999, n.79 , in cui si introduce la regolamentazione dei rifacimenti parziali degli impianti idroelettrici (e geotermici) ai fini della fruizione dei CV, oltre che altri aspetti relativi la co-combustione, la cogenerazione e l'esenzione degli obblighi dei CV per impianti di produzione o importazione di energia rinnovabile.

E' importante inoltre ricordare la deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 8 giugno 1999, numero 81 in cui vengono aggiornati i prezzi di cessione dell'energia elettrica e dei contributi riconosciuti alla nuova energia prodotta da impianti utilizzando fonti rinnovabili e il numero 82 della stessa deliberazione in cui vengono determinati i prezzi di cessione dell'energia elettrica, prodotta da impianti idroelettrici ad acqua fluente con potenza fino a 3 MW.

*5.2.9 LEGISLAZIONE SULLENERGIA IDROELETTRICA E L'UTILIZZO DELLE ACQUE*

**RD 14 agosto 1920, n. 1285**, Regolamento per le derivazioni ed utilizzazioni delle acque pubbliche.

**RP 11 dicembre 1933, n. 1775**, Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici.

**Legge 5 gennaio 1994, n. 36 “Galli”**, Disposizioni in materia di risorse idriche.

**Dlgs 31 marzo 1998, n. 112**, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali in attuazione del Capo I della legge 15 marzo 1997, n.59.

**Dlgs 11 maggio 1999, n. 152**, Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

**Dlgs 18 agosto 2000, n. 258**, Disposizioni correttive e d integrative del DLgs 152 dell'I 1 maggio 1999.

**Legge 24 novembre 2000, n. 340**, Disposizione per la delegificazione di norme e per la semplificazione di procedimenti amministrativi.

**Principali disposizioni normative relative all'ambiente**

**Legge 1497/1939**, Protezione delle bellezze naturali.

**Legge 8 Agosto 1985, n. 431 “legge Galasso”**, Stabilisce vincoli ambientali su determinati territori, come ad es. sponde fluviali e zone montane. Per eseguire i lavori di costruzione o modifica è necessario, preventivamente, un atto autorizzativi di nulla osta della Regione.

**Legge 18 maggio 1989, n.183**, Norme per il riassetto organizzativa e funzionale della difesa del suolo.

**VIA** (valutazione d'impatto ambientale)

**Legge 08 luglio 1986, n.349**. Istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale (art.6).

**DPCM 10 agosto 1988, n.377**. Regolamentazione delle pronunce di compatibilita ambientale di cui all'art.6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, recante istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale.

**DPCM 27/12/1988**, Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilita di cui



all art.6. L. 8 luglio 1986, n.349, adottate ai sensi dell'art. 3 del DPCM 10 agosto 1988, n.377.

**DPR del 12/04/1996**, Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell' art.40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale.

**PPCM 03/09/1999**, Atto di indirizzo e coordinamento che modifica ed integra il precedente atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell' art.40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione dell'impatto ambientale.

#### *5.2.10 RISORSA IDRICA E POTENZIALE SVILUPPABILE*

La produzione d'energia idroelettrica dipende dalla disponibilità di acqua defluente sotto un certo dislivello. L'acqua è il "combustibile" dell'impianto senza il quale non si ha produzione. Pertanto lo studio di qualsiasi impianto idroelettrico deve innanzitutto indagare la disponibilità di portate adeguate. Laddove il corso d'acqua è privo di stazioni di misura si ricorre all'idrologia, con lo studio del regime delle piogge e dei deflussi, le misure dei bacini imbriferi e di drenaggio e della geologia superficiale. L'acqua defluendo da un punto A ad un punto B, indipendentemente dal percorso seguito, sia esso un corso d'acqua, un canale o una condotta forzata, perde energia potenziale in accordo con l'equazione

$$P = Q \cdot H_g \cdot \gamma$$

Dove P è la potenza, in kW, perduta dall'acqua, Q la portata in m<sup>3</sup>/s,  $H_g$  il salto netto in metri e  $\gamma$  il peso specifico dell'acqua, pari al prodotto della sua densità per l'accelerazione di gravità ( $g = 9,81 \text{ kN/m}^3$ ).

L'acqua può seguire l'andamento dell'alveo naturale, dissipando l'energia potenziale in attriti e turbolenza, oppure andare da A a B in un tubo al termine del quale sia posta una turbina. In questo secondo caso l'acqua perde la stessa potenza negli attriti nel tubo, in turbolenza all'imbocco, nelle curve, nelle valvole, etc. ed infine nel muovere le pale delle turbine.

È proprio quest'ultima porzione della potenza che sarà convertita in energia meccanica e, mediante l'accoppiamento con un generatore, consentirà la produzione d'energia elettrica. Per stimare il potenziale idroelettrico si deve poter conoscere la variazione delle portate durante l'anno e quale sia il salto lordo disponibile. Nel nostro caso non vi sono servizi idrografici installati, quindi non esistono dati ufficiali.

### 5.2.11 DETERMINAZIONE DELLA CURVA DELLE DURATE

Riportiamo di seguito la valutazione della curva delle portate relativa al torrente San Pietro, purtroppo per mancanza di dati igrometrici (sarebbe stata necessaria almeno una serie di dieci anni), l'attendibilità del risultato è più bassa. Il metodo che ci ha permesso di ottenere questo risultato, si rifà ad uno studio precedentemente condotto dall'Ing. Ilaria D'Urso del Dipartimento di Geologia della Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, su un fiume di regime paragonabile al nostro.

Al fine di valutare la tendenza evolutiva del corso d'acqua, cerchiamo ora di stimare il trasporto solido annuo relativamente al sottobacino. Assumendo di conoscere le caratteristiche geometriche, sedimentologiche ed idrauliche del tratto che ci interessa, in genere il calcolo del trasporto solido su base annua si effettua integrando i contributi elementari che nel tempo  $dt$  forniscono un volume solido pari a:

$$dV = Q_t dt$$

dove  $Q_t$  è il trasporto solido relativo al tempo  $dt$  e calcolabile mediante una formula opportunamente scelta in base alle caratteristiche del corso d'acqua. Le variabili che intervengono in tale calcolo sono da riferirsi, naturalmente, al tempo  $dt$ .

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche e sedimentologiche è praticamente impossibile disporre di misure di tipo "istantaneo", e si fa spesso riferimento ai valori medi; i dati sono comunque da ritenersi significativi poiché le variazioni, rispetto a tali valori, non risultano in genere rilevanti. Le caratteristiche idrauliche, viceversa, subiscono variazioni relative molto più importanti e tali da non poter essere trascurate; pertanto la variabilità del trasporto solido è associata unicamente alla variabilità delle grandezze idrauliche.

Avendo quindi a disposizione la portata solida complessiva si otterrà il corrispondente volume in un determinato tempo  $T$  per integrazione:

$$V_t = \int_0^T Q_t dt \quad (1);$$

L'equazione (1) va integrata, come già detto, conoscendo l'andamento delle portate solide nel tempo: tutte le formule a nostra disposizione per ricavare tale informazione prevedono però la conoscenza della *curva di durata* cioè una curva del tipo  $Q = Q(t)$  che associa ad ogni portata liquida

verificatasi la corrispondente durata, cioè il periodo in cui tale portata è stata uguagliata o superata. Per ottenere tale funzione è necessario, non avendo a disposizione osservazioni dirette, interpolare opportunamente un certo numero di coppie di valori durata - portata ; a tale proposito risulta piuttosto adeguata la *trasformazione a tre parametri di Gibrat* che ad ogni valore della portata Q associa la variabile ausiliaria z definita dalla:

$$z = a \log ( Q - Q_0 ) + b$$

alla quale è assegnata una distribuzione di frequenza gaussiana e, quindi, una durata espressa in giorni / anno da:

$$\Phi ( z ) = \frac{365}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz.$$

Si presenta però ora il problema della stima dei parametri a,b,  $Q_0$  che influenzano in modo decisivo l'andamento della curva di durata: noi abbiamo tentato prima un tipo di approccio e poi, dato che questo dava risultati non realistici (sovrastima della curva di durata e conseguente sovrastima del trasporto solido), ne abbiamo tentato un altro; riportiamo, nei sottoparagrafi successivi, il lavoro effettuato per ambedue le metodologie. Tale metodo si basa sull'elaborazione dei dati relativi all'altezza di pioggia caduta in un anno e del numero di giorni piovosi dell'anno stesso.

Ci è stato possibile, in questo caso utilizzare i dati della stazione di Bella San Antonio Canalini disponibili presso l'A.R.P.A. della Basilicata, la stazione più vicina (circa 10 Km) al bacino imbrifero in oggetto. Nella seguente tabella riportiamo i valori relativi al periodo 2000 - 2006 ricavati dagli annali idrologici, purtroppo la serie storica non è sufficiente per questo tipo di studi, in quanto necessiterebbero almeno dati relativi a 10 anni, ma nell'area interessata l'istallazione del pluviometro risale al 2000.

TAB. 4.I

ANNO	Altezza di pioggia caduta (mm)	Giorni piovosi
2000	761	113
2001	846	132
2002	1058	148
2003	1263	138
2004	1209	143
2005	1382	157
2006	1021	133

Si ipotizza un comportamento della distribuzione di probabilità di non superamento di un evento di pioggia  $h$  di tipo esponenziale:

$$P(h) = 1 - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\alpha h}.$$

Per calcolare i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$ , occorre prima conoscere alcune grandezze:

$h_m$ : altezza di acqua mediamente piovuta in un anno = 1077 mm;

$g_m$ : media dei giorni piovosi = 138;

$f_p$ : frequenza di pioggia = 0,38;

$f_{np}$ : frequenza di non pioggia = 0,62;

$g_g$ : altezza di pioggia giornaliera = 7,8.

Definiamo così:

$$\alpha = \frac{f_{np}}{h_g} = 0,079613179,$$

$$\beta = \frac{\alpha}{f_p} = 0,211007958$$

Considerata quindi  $S(h) = 1 - P(h)$ , funzione che descrive la probabilità di superamento della pioggia  $h$ , introdotta dalla relazione

$$S = t / 365,$$

otteniamo la funzione che descrive l'altezza di pioggia  $h$  in mm, associata ad una determinata frequenza  $t / 365$ :

$$h = -\frac{1}{\alpha} \log \frac{t \beta}{365 \alpha} \Rightarrow h = -\frac{1}{0,079} \log \left( \frac{t}{365 \cdot 0,377} \right).$$

A questo punto si sceglie un certo numero di durate  $t$  e si ricavano le corrispondenti altezza di pioggia  $h$ .

TAB. 4. II

<b>t (giorni)</b>	<b>h (mm)</b>
0,01	51,99
0,05	43,21
0,1	39,43
0,5	30,65
1	26,87
1,5	24,66
2	23,09
5	18,09
10	14,31
20	10,53
40	6,74
60	0,7665
100	1,75
120	0,75
130	0,31

Dividendo per il tempo di corrivazione ( 54 min = 3240 sec ) le varie  $h$  espresse in m, ottengo le rispettive intensità di pioggia  $I$  in m / sec.

TAB. 4.III

<b>t (giorni)</b>	<b>I (m / sec)</b>
0,01	$1,66 \cdot 10^{-5}$
0,05	$1,33 \cdot 10^{-5}$
0,1	$1,22 \cdot 10^{-5}$
0,5	$9,46 \cdot 10^{-6}$
1	$8,29 \cdot 10^{-6}$
1,5	$7,61 \cdot 10^{-6}$
2	$7,13 \cdot 10^{-6}$
5	$5,58 \cdot 10^{-6}$
10	$4,42 \cdot 10^{-6}$
20	$3,25 \cdot 10^{-6}$
40	$2,08 \cdot 10^{-6}$
60	$1,4 \cdot 10^{-6}$
100	$5,39 \cdot 10^{-7}$
120	$2,32 \cdot 10^{-7}$
130	$9,71 \cdot 10^{-8}$

Moltiplicando infine l'intensità di pioggia per l'area del bacino e per il coefficiente correttivo ( pari a 0,7 - ) che permette di tener conto della pioggia che non contribuisce alla portata, trovo le coppie: durata - portata, che cercavo.

TAB 4.IV

t ( giorni )	Q ( m <sup>3</sup> / sec )
0,01	393,12
0,05	326,73
0,1	298,14
0,5	231,75
1	203,16
1,5	186,43
2	174,57
5	136,77
10	108,18
20	79,59
40	50,99
60	34,27
100	13,2
120	5,68
130	2,38

Si riporta in figura 2 l'andamento della curva di durata ottenuta interpolando tali dati. Volendo rappresentare analiticamente la curva di durata attraverso una curva di frequenza, come già detto, è possibile utilizzare la trasformazione a tre parametri di Gibrat; si ricorda che tale trasformazione utilizza la variabile

$$z = \log ( Q - Q_0 ) + b, \quad (*)$$

a cui è associata la funzione

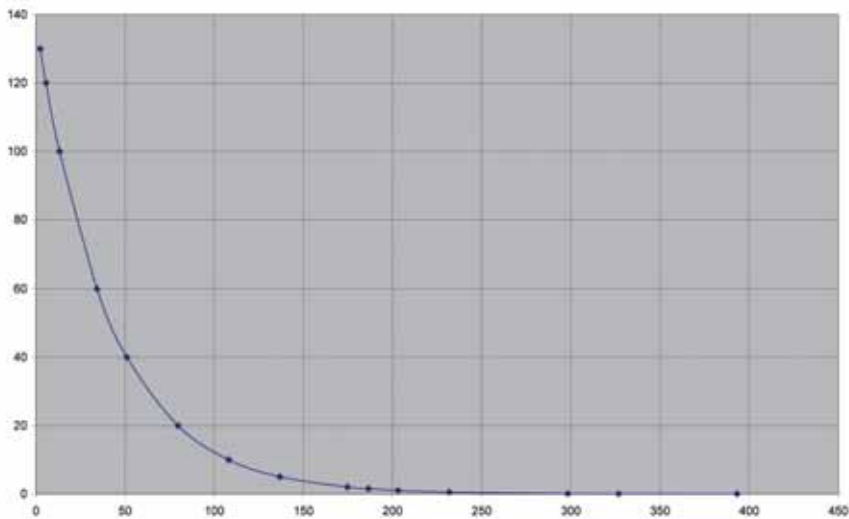
$$\Phi ( z ) = \frac{365}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz.$$

Si può procedere dunque alla stima dei parametri a , b , Q<sub>0</sub> . Per quanto riguarda Q<sub>0</sub> viene assunto pari a 0 (quest'approssimazione risulta abbastanza lecita se consideriamo che la curva di durata sarà usata soltanto ai fini dell'integrazione dei valori di portata che risultano superiori alla portata critica e perciò si utilizza solo il ramo che è caratterizzato dalle portate più alte ). Per quanto riguarda i coefficienti a e b possono essere facilmente

determinati attraverso una regressione su un piano semi-logaritmico; infatti conoscendo i valori di  $\Phi(z)$ , dati dalla relazione  $t / 365$ , consultando le apposite tabelle è possibile ricavare i corrispondenti valori di  $z$ . Nel piano  $\log(q) - z$  l'espressione (\*) diventa una retta il cui coefficiente angolare è "a" e la cui intercetta con l'asse delle ordinate è "b". Effettuando la suddetta regressione nel nostro caso abbiamo ottenuto i seguenti valori:

$$a = - 1,3819$$

$$b = - 0,0768.$$



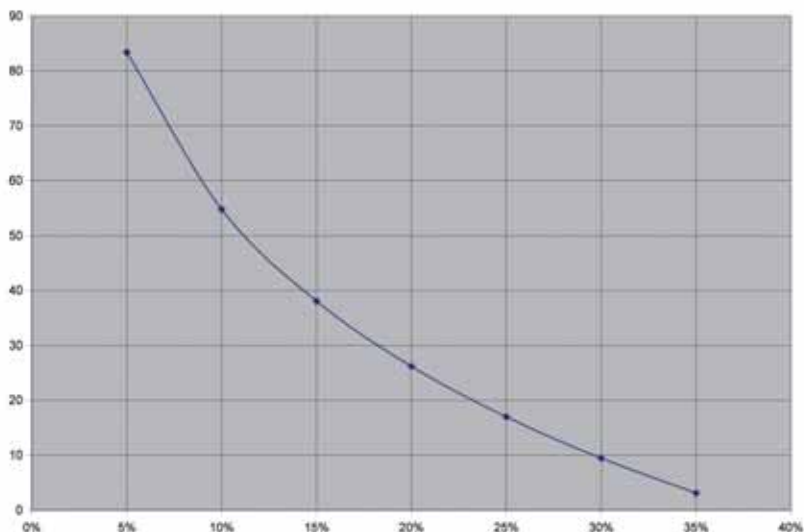
**Fig.1.** curva delle portate. *(Elaborazione A. Nardiello)*

### **Determinazione della curva di durata Standardizzata:**

Per poter confrontare le curve di vari fiumi e utilizzare software e applicativi occorre rendere la curva in un formato standard.

Per far ciò esprimeremo le portate relazionandole ad una percentuale che esprime il lasso temporale di un anno pari al 100% e decrescendo fino al singolo giorno.





**Fig.2.** Curva delle portate standard. (Elaborazione A. Nardiello)

#### 5.2.12 DEFLUSSO MINIMO VITALE

Rappresenta il flusso minimo di acqua necessario alla vita del torrente. Infatti, nel caso di una derivazione incontrollata ad un corso d'acqua, per produrre energia attraverso una turbina, anche se l'acqua fosse restituita in alveo vicino alla presa, farebbe sì che alcune parti del fiume verrebbero lasciate pressoché asciutte causando seri danni alla vita acquatica. Per evitare che ciò accada, nelle concessioni d'acqua per uso idroelettrico è sempre prescritto che una certa portata residua venga lasciata defluire nel corso d'acqua.

#### **Richiami normativi:**

La prima citazione, in norme, di tale argomentazione risale alla legge 183 del 1989, contenente "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo". Questa legge prescrive, all'articolo 3, tra gli obiettivi dell'attività di programmazione, pianificazione ed attuazione, la «razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali e profonde [...] garantendo, comunque, che l'insieme delle derivazioni non pregiudichi il minimo deflusso costante vitale negli alvei sottesi».

L'indicazione del minimo deflusso costante vitale creò, però, molta

confusione e polemiche, in quanto lasciava intendere che la salvaguardia dei processi idrobiologici potesse essere garantita assicurando un deflusso minimo costante nell'arco di tutto l'anno. Questa determinazione certamente è poco confacente alle dinamiche fenomenologiche di portata e di popolamento biotico.

La legge 36 del 1994, riportante "Disposizioni in materia di risorse idriche", tenta di chiarire il significato del deflusso minimo, con la specificazione riportata all'articolo 3.

Il concetto di DMV viene ripreso nel nuovo Testo Unico sulle Acque, il Decreto Legislativo 152 del 1999. Tale decreto menziona il DMV quale fattore imprescindibile nella stesura dei "piani di tutela dei corsi d'acqua" e dispone che la sua valutazione sia eseguita dalle Autorità di Bacino, in seno alla determinazione del Bilancio Idrico. La norma, però, non si preoccupa di definire il DMV, rimandandone la descrizione a linee guida, che, sono state emanate nel D.M del 28 luglio del 2004. Il Decreto Legislativo 258/2000, all'allegato 1 riporta i criteri per il monitoraggio quali-quantitativo dei corpi idrici, mediante il controllo degli stati ecologico, chimico e ambientale. Nel su detto D.M. nell'Allegato 1 art. 3.3 relativo alla valutazione delle risorse idriche potenziali ed utilizzabili si dice:

*"Le esigenze di tutela delle acque e di salvaguardia e recupero degli ecosistemi, i vincoli di carattere socio economico, di compatibilità ambientale e di carattere tecnologico e infrastrutturale, rendono la risorsa naturale non interamente sfruttabile; inoltre l'utilizzabilità delle risorsa dipende dalla possibilità di trasferimento della stessa nel tempo con serbatoi di regolazione, oltre che nello spazio, secondo l'andamento della richiesta.*

*La risorsa idrica potenziale è così quantificata:*

$$R_{pot} \leq R_{nat} + R_{n.c.} + V_{est} \pm \Delta V - V_{trasf}$$

*Concorrono al soddisfacimento dei fabbisogni anche i volumi restituiti dopo l'utilizzo nonché quelli derivanti da acque reflue trattate in modo da consentire un successivo riutilizzo di cui si tiene conto nell'equazione che esprime le condizioni di equilibrio del bilancio idrico.*

*La risorsa idrica utilizzabile è così quantificata:*

$$R_{ut} \leq R_{pot} - V_{dmv}$$

*I termini delle disequazioni rappresentano i volumi totali, riferiti al periodo considerato (di norma l'anno, oppure periodi più brevi), con i significati seguenti:*

*Rpot, risorsa idrica potenziale nel bacino o sottobacino Rnat, risorsa idrica naturale nella sezione di chiusura del bacino o sottobacino Rn.c., risorsa idrica non convenzionale nel bacino o sottobacino Vest, apporti idrici al bacino o sottobacino dovuti ad usi antropici provenienti da altri bacini  $\Delta V$ , differenza tra i volumi idrici superficiali e sotterranei invasati nel bacino o sottobacino all'inizio ed alla fine del periodo (positiva se i primi sono maggiori); Vtrasf, volumi idrici dovuti ad usi antropici trasferiti fuori del bacino o sottobacino Rut, risorsa idrica superficiale e sotterranea utilizzabile nel bacino o sottobacino Vdmv, volume del deflusso minimo vitale ottenuto come integrale della portata di deflusso minimo vitale nel periodo di riferimento.*

*Più in dettaglio, la risorsa idrica potenziale è commisurata alla risorsa idrica naturale, deducendo da essa i volumi riferibili sia alle incertezze di stima della risorsa stessa legate alla qualità e quantità dei dati conoscitivi sia alle limitazioni di natura tecnologica.*

*La risorsa idrica potenziale tiene inoltre conto della disponibilità aggiuntiva delle risorse non convenzionali e di quelle derivanti dal riuso.*

*Con riferimento ai vincoli di tutela ambientale, nella determinazione della risorsa idrica superficiale utilizzabile occorre detrarre il volume riferibile al deflusso minimo vitale; analogamente, per la risorsa idrica sotterranea, l'utilizzabilità è da definirsi in relazione all'esigenza di evitare variazioni piezometriche tali da innescare fenomeni di degrado dell'acquifero e dei sistemi idraulicamente connessi.*

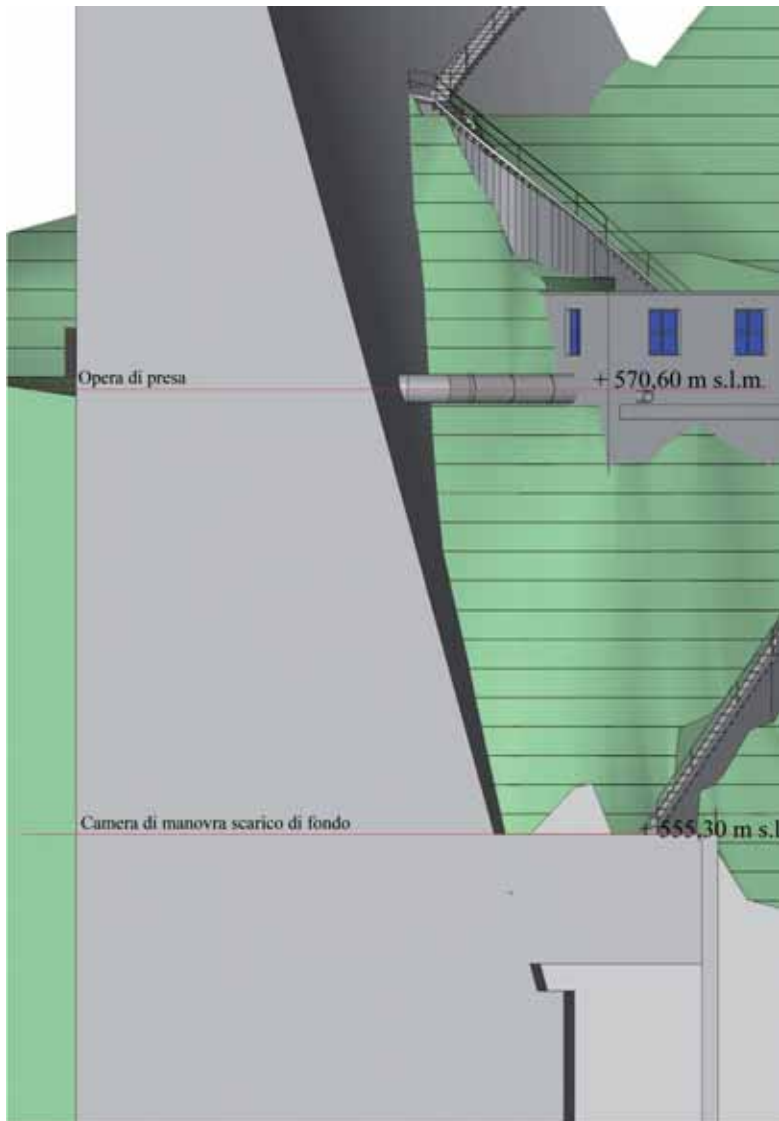
Risulta evidente la difficoltà di attenersi a quanto prescritto, per l'impossibilità nel reperire dati che non sono forniti dalla relativa autorità di Bacino del Fiume Sele.

Perciò si procederà utilizzando, come suggerito dal *Guida all'idroelettrico minore: per in corretto approccio alla progettazione di un impianto*, a metodi che usano un valore percentile della portata media annua sul lungo periodo, per esempio in Francia ( legge 84-512) prevede per un corso d'acqua con portata media di 80 m<sup>3</sup>/s un D.M.V. del 10% della stessa.

Assumiamo come parametro di D.M.V. un valore pari al 15% della portata Media annua, e inoltre considerando il carattere torrentizio del corso d'acqua l'attività della centrale sarà possibile solo per 130 giorni circa all'anno.

5.2.13 PARAMETRI DI PROGETTO

**Stima del salto netto**



**Fig.1.** Il salto lordo. (Elaborazione A. Nardiello)

Le due quote di riferimento sono relative all'asse delle condotte dell'opera di presa (570,60 m s.l.m.) e alla camera di manovra dello scarico di fondo.

Se si ipotizza una nuova mini turbina al piede della diga, dove oggi è situata la camera di manovra dello scarico di fondo, il percorso della condotta avrà un andamento facilmente immaginabile.

Il salto risulta essere di 15,30 m al quale vanno sottratte le varie perdite di carico, di seguito calcolate.

Il procedimento seguito nella valutazione delle riduzioni del salto e nel dimensionamento delle varie componenti, segue quello proposto da Celso Penche, nella sua Guida all'idroelettrico Minore redatta per conto della Comunità Europea, nel programma di incentivazione dello sfruttamento delle risorse idriche.

#### *5.2.14 PERDITE DI CARICO E STIMA SALTO NETTO*

L'energia posseduta dall'acqua defluente sotto una certa pressione in un condotto chiuso di sezione circolare è data dall'equazione di Bernoulli:

$$H_1 = h_1 + (P_1/\gamma) + (V^2/2g)$$

dove  $H_1$  è l'energia totale,  $h_1$  è la quota geodetica,  $P_1$  la pressione,  $\gamma$  il peso specifico dell'acqua,  $V$  la velocità dell'acqua e  $g$  l'accelerazione di gravità. L'energia totale nel punto 1 è quindi la somma algebrica dell'energia potenziale  $h_1$ , dell'energia di pressione  $P_1/\gamma$  e dell'energia cinetica  $V^2/2g$ .

L'acqua, nelle tubazioni, fluisce secondo lamine simili a tanti tubi concentrici di piccolo diametro, cioè secondo un flusso definito laminare.

Il più esterno di questi tubi virtuali aderisce alla parete del tubazione mentre ciascuno dei tubi interni si muove con velocità via via crescente fino a divenire massima al centro del tubo. La distribuzione della velocità ha la forma di un paraboloide di rivoluzione e la velocità media è il 50% della massima velocità, che è raggiunta sull'asse.

Se si provoca un aumento graduale della corrente, si giunge ad un punto in cui lo schema semplificato laminare si sconvolge improvvisamente.

Le particelle d'acqua vicine alla parete si mischiano con quelle nel mezzo del tubo, che si muovono più veloci, e le rallentano. In questo istante il moto diventa turbolento e la distribuzione della velocità diviene piatta.

La transizione dal moto laminare a quello turbolento dipende non solo dalla velocità, ma anche dal diametro della condotta, dalla viscosità del fluido e può essere descritta mediante il rapporto tra la forza di inerzia e quella viscosa.

Questo rapporto, oggi noto come numero di Reynolds, può essere espresso per il tubo circolare dalla relazione:

$$Nr = (D \times V) / \nu$$

dove D(m) è il diametro del tubo, V la velocità media dell'acqua (m/s) e  $\nu$  la viscosità cinematica del fluido ( $m^2/s$ ).

Il Numero di Reynolds critico in tubi circolari è circa 2000.

Il salto netto è pari al salto lordo diminuito della somma di tutte le perdite, incluse quelle per attrito e turbolenza nella condotta, che sono all'incirca proporzionali al quadrato della velocità dell'acqua. Per convogliare una certa portata, una condotta di piccolo diametro richiederà una velocità più alta rispetto ad una condotta di diametro maggiore e perciò le perdite saranno più grandi. Pertanto la scelta del più piccolo diametro possibile minimizzerà il costo della condotta, ma le perdite di carico aumenteranno e viceversa. Un semplice criterio per la selezione del diametro è quello di limitare le perdite di carico ad una certa percentuale del salto lordo. Perdite del 3% sono solitamente accettabili. In un approccio più rigoroso si sceglieranno alcuni diametri possibili elaborando la potenza resa e l'energia annua prodotta. Si calcolerà il valore attuale dell'energia resa nel corso della vita dell'impianto e lo si metterà in grafico per ciascun diametro.

Di fatto le principali perdite sono dovute all'attrito, mentre quelle dovute alla turbolenza nel passaggio attraverso le griglie, all'imbocco del tubo, nelle curve, nelle espansioni e contrazioni e nelle valvole sono di minor peso.

Di conseguenza, in prima istanza è sufficiente tener conto solo delle perdite distribuite per attrito mediante l'equazione di Manning (si tratta di una formula empirica basata sull'esperienza, non è fondata su principi fisici, ma ha notevole riscontro nell'uso pratico):

$$\frac{h_f}{L} = 10,3 \cdot \frac{n^2 \cdot Q^2}{D^{5,333}}$$

(dove n è il coefficiente di scabrezza di Manning, tabulato a seconda del materiale, per l'acciaio saldato esso è pari a 0,012).

Esaminando l'equazione si può vedere che dividendo il diametro per due le perdite aumentano di 40 volte.

Dall'equazione:

$$D = \left( \frac{10,3 \cdot n^2 \cdot Q^2 \cdot L}{h_f} \right)^{0,1875}$$

Se si pone come limite ad  $h_f$  un valore pari a  $4/100 H$ , si può ricavare  $D$  una volta noti  $Q$ ,  $h$  e  $L$ , semplificando l'espressione testé scritta:

$$D = 2,69 \cdot \left( \frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot L}{H} \right)^{0,1875}$$

### **Dimensionamento condotta:**

Due tratti principali ipotizzati: uno che assicuri il deflusso minimo e necessario in caso di interruzione dell'esercizio di produzione energetica; e l'altro a servizio della linea che poi prosegue all'impianto.

- Il primo dall'opera di presa alla restituzione in alveolo, con una portata assicurata di  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , per una lunghezza di  $50 \text{ m}$ , ed un salto lordo di  $20 \text{ m}$ .

- Il secondo tratto dalla derivazione a "T" con saracinesca, che intercetta il flusso, dopo il tredicesimo metro, in progressione sul primo tratto, partendo dall'opera di presa, con una portata assicurata di  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , per una lunghezza di  $22 \text{ m}$ , ed un salto lordo di  $15,3 \text{ m}$ .

Il primo tratto per limitare le perdite distribuite affinché non superino il 4% del salto lordo, dovrà avere un diametro massimo:

$$D = 2,69 \cdot \left( \frac{0,012^2 \cdot 10^2 \cdot 50}{20} \right)^{0,1875} = 1,60 \text{ m}$$

Il secondo tratto per limitare le perdite distribuite affinché non superino il 4% del salto lordo, dovrà avere un diametro massimo:

$$D = 2,69 \cdot \left( \frac{0,012^2 \cdot 4^2 \cdot 22}{15,30} \right)^{0,1875} = 1,00 \text{ m}$$

Nei due tratti ipotizzati a servizio dell'impianto assumiamo come velocità media e quindi di calcolo:



- Nel primo tratto di diametro pari a 1,00 metro

$$V1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 1^2} = 12,74 \text{ m/s}$$

- Nel tratto di nuova realizzazione dalla valvola alla turbina di diametro 0,80m:

$$V2 = \frac{4 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,00^2} = 5,1 \text{ m/s}$$

### **Perdite di carico dovute all'attrito nella condotta a servizio dell'impianto:**

Per analizzare e quantificare questo fenomeno ci rifacciamo alle già menzionata formula di manning:

$$h_f = L \cdot \left( \frac{10,29 \cdot n^2 \cdot Q^2}{D^{5,333}} \right)$$

dove n è il coefficiente di scabrezza di Manning, D è il diametro (m), Q la portata (m<sup>3</sup>/s). (Questa formula ha valenza esclusiva per un tubo circolare completamente pieno d'acqua).

### **Tabella Coefficienti n di Manning per alcuni tubi commerciali:**

Tipo di tubo n

Acciaio saldato= 0,012

Polietilene (PE)= 0,009

PVC =0,009

Cemento amianto= 0,011

Ghisa sferoidale= 0,015

Ghisa =0,014

Legno in doghe (nuovo) =0,012

Calcestruzzo (casseri in acciaio e giunti lisciati) =0,014

- Per il primo tratto di condotta, dall'opera di presa alla derivazione a "T", la lunghezza sarà di 13 m, la portata da garantire di 10 m<sup>3</sup>/s e il diametro della condotta dovrà essere di 1,00m, la perdita di salto dovuta all'attrito sarà pari a:

$$h_f = 13 \cdot \left( \frac{10,29 \cdot 0,012^2 \cdot 10^2}{1^{5,33}} \right) = \underline{\underline{1,92 \text{ m}}}$$

- Nel secondo tratto, dalla derivazione a "T" alla turbina, la lunghezza

totale sarà di 22 m, la portata da garantire di 4 m<sup>3</sup>/s e il diametro di 1,00m, la perdita di salto per l'attrito sarà pari a:

$$h_f = 22 \cdot \left( \frac{10,29 \cdot 0,012^2 \cdot 4^2}{D^{5,333}} \right) = \underline{0,52 \text{ m}}$$

### **Dimensionamento griglia dell'opera di presa:**

Dopo aver liberato l'opera di presa da depositi alluvionali che ormai hanno completamente occluso la parte inferiore dell'attuale griglia dell'opera di presa per un'altezza di circa 1,5 m., (sarebbe opportuno effettuare uno scavo profondo 3 metri lungo tutta la parete del corpo diga di monte, liberando un tratto di almeno 5 metri con un leggero degrado) si procederà alla sostituzione della griglia di presa.

Una delle principali funzioni delle prese è quella di minimizzare l'ingresso del materiale trasportato dall'acqua in arrivo; a questo scopo all'ingresso viene collocata una griglia per evitare appunto che corpi galleggianti e grosse pietre possano entrare nell'impianto. La griglia è realizzata in più elementi costituiti da una serie di barre con spaziatura costante. Considerando che nel caso oggetto di studio c'è il rischio che il corso d'acqua durante la stagione delle piene possa trasportare grandi quantità di materiale, sarebbe opportuno installare a monte, un griglione amovibile con barre molto spaziate, da 100 a 300 mm, per ridurre il carico e migliorare l'efficienza degli sgrigliatori automatici.

Le griglie da installare sarà realizzata con barre in acciaio inox; da preferire con profilo alare che consente di conseguire minor insorgenza di fenomeni turbolenti e minori perdite di carico, la spaziatura avrà una luce netta di 8 mm. Essa deve avere un'area netta, data dall'area totale meno l'ingombro frontale delle barre, tale che la velocità dell'acqua non superi 1,5 m/s, al fine di evitare che i corpi galleggianti siano attratti verso la griglia. Potrà essere imbullonata al telaio di supporto con bulloni d'acciaio inox oppure alloggiata in fessure verticali, in modo da poter essere rimossa e sostituita con panconi quando sia necessario fermare l'impianto per manutenzioni o riparazioni.

L'elemento metallico è progettato in modo che la velocità d'ingresso sia pari a 1,50 m/s. La superficie totale della griglia sarà data dalla relazione:

$$S = \frac{1}{K_1} \cdot \left( \frac{b+a}{a} \right) \cdot \frac{Q}{V_0} \cdot \frac{1}{\text{sen} \alpha}$$

dove:

S = area totale della parte sommersa della griglia; Q = portata di calcolo;  
Vo = velocità di ingresso; b = larghezza delle barre; a = spazio tra le barre;  
K1 = coefficiente riferito al parziale intasamento della griglia:  
0,2-0,3 in assenza di sgrigliatore automatico; 0,40-0,60 per sgrigliatori  
automatici con intervento temporizzato; 0,80-0,85 per sgrigliatori  
automatici con sensori differenziali di livello e temporizzatore.  
a=angolo di inclinazione dell'elemento sull'orizzontale.

$$S = \frac{1}{0,8} \cdot \left( \frac{0,08 + 0,05}{0,05} \right) \cdot \frac{10}{1,5} \cdot \frac{1}{\sin 90^\circ}$$

Come detto, è bene che sia rimovibile in caso di riparazioni e di manutenzioni, oltreché dotata di sistemi di pulizia.

Sarebbe necessario installare uno sgrigliatore automatico visto che l'impianto non sarà presidiato.

#### **Perdite di carico dovute alla turbolenza:**

L'esperienza dimostra che l'acqua defluente in un tubo con imbocchi, curve, brusche contrazioni ed espansioni, griglie, valvole ed altri accessori, è soggetta, oltre che a perdite per attrito, a perdite d'energia dovute alla viscosità intrinseca del fluido. Anche questo tipo di perdite dipende dalla velocità ed è espresso da un coefficiente sperimentale K che moltiplica l'altezza cinetica  $V^2/2g$ .

#### **Perdite attraverso le griglie:**

Il flusso attraverso la griglia da sempre origine ad una perdita di carico. Sebbene in generale sia modesta, essa può essere calcolata con la formula di Kirchmer:

$$ht = kt \cdot \left( \frac{t}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \left( \frac{V_0}{2g} \right) \cdot \sin \phi$$

dove i parametri sono definiti in figura e sotto riportati i corrispettivi:

K = 1; t = 50 mm = 0,05 m; b = 80 mm = 0,08 m; V0 = 1,5 m/s; g = 9,81 m/s<sup>2</sup>

$$ht = 1 \cdot \left( \frac{0,05}{0,08} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \left( \frac{1,5^2}{19,62} \right) \cdot \sin 90 = \underline{\underline{0,06 \text{ m}}}$$

### Perdite di carico nelle curve:

L'esperienza ha messo in luce che lungo una curva si verifica un aumento di pressione lungo la parete esterna ed una diminuzione lungo quella interna. Questa differenza di pressione provoca una corrente secondaria, i due movimenti simultanei - il flusso longitudinale e la corrente secondaria - producono un moto a spirale che in un tronco di tubo lungo circa cento diametri è dissipato per attrito viscoso. In queste circostanze le perdite di carico dipendono dal raggio della curva e dal diametro del tubo. Inoltre, la presenza di una circolazione secondaria induce delle perdite per attrito secondarie, anch'esse dipendenti dalla scabrezza relativa  $e/D$ . Si riconosce poi generalmente che per tubi d'acciaio senza saldatura la perdita in curve con angoli inferiori a  $90^\circ$  è all'incirca proporzionale all'angolo della curva.

### Le due curve a gomito nel tratto di condotta di nuova realizzazione:

"e" per acciai saldati = 0,6 mm;  $R=1$  m;  $d= 1,00$  m;  $D= d$ ;  $e/d = 0,006/0,8 = 0,0075$ ;  $r/d = 1/1 = 1$ ;  $K_b=0,18$  per angolo di  $90^\circ$  (vedi esempio 5.6 cap 5 p.143 in: Celso Penche, *GUIDA ALL'IDROELETTRICO MINORE: per un corretto approccio alla realizzazione di un piccolo impianto*, ESHA, Bruxelles, 1998.)

$$h_b = K_b \times \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) \cong (0,18 + 0,18) \times \left( \frac{5,1^2}{19,62} \right) = \underline{\underline{0,47 \text{ m}}}$$

### La curva di $140^\circ$ nel tratto di presa:

"e" per acciai non saldati con leggera ruggine = 0,25 mm;  $R=$  m;  $d= 1,00$  m;  $D= d$ ;  $e/d = 0,0025/1,00 = 0,0025$ ;  $r/d = 6/1 = 6$ ;  $K_b=0,09$  per angolo di  $140^\circ$  (vedi esempio 5.6 cap 5 p.143 in: Celso Penche, *GUIDA ALL'IDROELETTRICO MINORE: per un corretto approccio alla realizzazione di un piccolo impianto*, ESHA, Bruxelles, 1998.)

$$h_b = K_b \times \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) \cong 0,09 \times \left( \frac{12,74^2}{19,62} \right) = \underline{\underline{0,74 \text{ m}}}$$

### Perdite di carico attraverso valvole:

Sulla derivazione a "T" che convoglia il flusso idrico alla turbina è prevista l'installazione di una saracinesca che servirà per isolare la centralina dal resto dell'impianto. La regolazione della portata è affidata alle pale del distributore o alle spine delle turbine.

Il valore che di  $k_v=0,2$  m

$$h_v = K_v \times \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) = 0,2 \times \left( \frac{5,1^2}{19,62} \right) = \mathbf{0,26 \text{ m}}$$

**Il Salto netto risulta essere:**

$$\mathbf{S.n. = S.l. - h_f - h_t - h_{ex} - h_b - h_v = 15,30 - 1,92 - 0,52 - 0,06 - 0,47 - 0,74 - 0,26 = 11,33\text{m}}$$

#### *5.2.15 FOGLI DI CALCOLO DEL SOFTWARE HYDRO RETSRCEEN*

(realizzato da RETScreen International, Ministero delle Risorse Naturali canadese)

Tutti i valori ricavati e i dati estrapolati, inseriti nel foglio di calcolo, permettono una simulazione con una stima dei rendimenti.

Il software RETScreen è liberamente scaricabile dal sito del Ministero delle Risorse Naturali canadese, che li ha realizzati nell'ambito di un intelligentissimo progetto per incentivare lo sviluppo e la produzione energetica da fonti alternative al petrolio. Al termine del processo, si determina l'installazione di una turbina Kaplan di 350 kwp circa, che potrebbe produrre all'anno circa 960 Mwh di energia elettrica.

I parametri di massima sono necessari per il dimensionamento delle strutture architettoniche.

#### *5.2.16 EDIFICIO DELLA CENTRALE*

In un impianto idroelettrico, la centrale ha il compito di proteggere l'equipaggiamento idraulico ed elettrico che converte l'energia potenziale dell'acqua in energia elettrica.

Il numero, il tipo e la potenza delle turbine, la loro disposizione rispetto al canale di scarico, l'altezza del salto e la geomorfologia del luogo condizionano la tipologia dell'edificio.

Le turbine idrauliche hanno lo scopo di trasformare l'energia potenziale e cinetica dell'acqua in energia meccanica di rotazione.

Nel caso in questione la turbina da installare dovrà essere una Kaplan a reazione e a flusso assiale, visto il basso salto, munita di generatore e di probabile moltiplicatore di giri, con quadro di controllo.

Le pale della ruota nella Kaplan sono sempre regolabili, mentre quelle del distributore possono essere fisse o regolabili. Quando sia le pale della turbina sia quelle del distributore sono regolabili, la turbina è una vera Kaplan (o "a doppia regolazione"); se sono regolabili solo le pale della ruota, la turbina

è una semi-Kaplan (oppure “a singola regolazione”). Le pale della ruota si muovono girando intorno ad un perno solidale con un sistema di bielle manovelle collegate ad un tirante verticale, posto all’interno dell’albero cavo della turbina, che è azionato da un servomotore idraulico.

Queste turbine sono caratterizzate da un numero di giri caratteristico molto superiore rispetto alle altre: da 325 per un salto di 45 m a 954 per uno di 5 m.

Attualmente, nell’ambito delle potenze utilizzate in piccoli impianti, le dimensioni sono standardizzate ed utilizzano un certo numero di componenti comuni, con l’obiettivo di abbassare il costo di costruzione. Utilizzando solo 6 diametri di ruota: 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8;3,2 m, alberi di tre dimensioni, tre disposizioni per il distributore e tre diversi tipi di moltiplicatore, si può far fronte a tutte le configurazioni possibili.

A livello di progetto di massima, il diametro della ruota può essere calcolato con la seguente formula:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{2,2 \cdot \sqrt{H}}}$$

nella quale il diametro D ed il salto H sono in metri e la portata in m<sup>3</sup>/s. Per il nostro impianto sarebbe più che sufficiente un diametro di 2,00 m. La posizione del sistema impiantistico ideale è quella ad “S” sia dal punto di vista distributivo che dimensionale , benché abbia l’inconveniente che l’asse della turbina attraversa il condotto di scarico con conseguenti perdite di carico.

### **Il moltiplicatore di velocità:**

In generale, soprattutto con turbine di piccola potenza, le ruote girano a meno di 400 rpm e ciò comporta l’obbligo di ricorrere ad un moltiplicatore per raggiungere i 750 - 1.500 rpm degli alternatori standard.

Nell’ambito delle potenze installabili in questo progetto, questa soluzione è normalmente più economica dell’accoppiamento diretto, senza moltiplicatore, ad un generatore speciale, costruito apposta per le esigenze specifiche.

I moltiplicatori possono essere classificati in funzione del tipo d’ingranaggi utilizzati per la loro costruzione e sono:Paralleli, conici e epicicloidali.

Nel nostro caso andrebbe bene quello Parallelo, che utilizza ingranaggi elicoidali su assi paralleli,idei per potenze medie.

### **Il generatore:**

Il generatore ha il ruolo di trasformare in energia elettrica l'energia meccanica trasmessa dalla turbina. In origine si utilizzavano generatori a corrente continua (dinamo); attualmente, salvo rarissime eccezioni, s'installano generatori a corrente alternata trifase.

Per un impianto piccolo come quello progettato, il più adatto è l'alternatore sincrono. Equipaggiato con un apparato di eccitazione associato ad un regolatore di tensione, di modo che prima di essere collegato alla rete, genera energia alla stessa tensione, frequenza ed angolo di fase ed inoltre fornisce, una volta connesso, l'energia reattiva richiesta dal sistema. I generatori sincroni possono funzionare staccati dalla rete (in isola).

### **Quadri di controllo:**

In tutte le nazioni, le norme per l'erogazione d'elettricità obbligano le società di distribuzione a mantenere, entro limiti molto stretti, la sicurezza e la qualità del servizio. Il produttore indipendente, se la sua centrale è collegata alla rete, deve gestirla in modo che il distributore possa rispettare questi obblighi. Per questo tra i morsetti del generatore e la linea si installano dispositivi che controllando il funzionamento della macchina, la proteggono, la mettono in parallelo con la rete o la staccano dalla stessa in caso di guasto.

Il controllo si realizza mediante apparati più o meno sofisticati per misurare: la tensione, l'intensità e la frequenza della corrente in ognuna delle tre fasi, l'energia prodotta dal generatore, il fattore di potenza ed eventualmente il livello dell'acqua nella camera di carico. La tensione e l'intensità di corrente si misurano mediante trasformatori di misura (TV e TA) per ridurre il loro valore, generalmente molto elevato, a livelli più accessibili.

Affinché i diversi sistemi di protezione possano compiere il loro dovere, è necessario un interruttore principale, che può essere ad aria compressa, magnetico o sotto vuoto, capace di staccare il generatore dalla rete anche quando sta lavorando a pieno carico.

Come elementi di protezione sono necessari:

- Relè di protezione dell'interconnessione, che garantiscano il distacco in caso di guasti alla rete.
- Relè di minima tensione collegati tra le fasi.
- Relè di massima tensione.
- Protezione di terra statorica.



- Massima corrente, con intervento istantaneo o temporizzato. Se il generatore è a bassa tensione, questi relè possono essere diretti ed installati sull'interruttore stesso.

- Protezioni contro il ritorno d'energia. Per individuare i difetti nell'avvolgimento statorico ed intervenire prima che si danneggi, sono usati relè differenziali.

Esistono anche relè che intervengono sull'interruttore principale se le temperature del generatore o del trasformatore d'uscita oltrepassano i limiti accettabili, oppure nel caso di tensioni superiori od inferiori alla norma.

Tra le protezioni meccaniche conviene includere le seguenti:

- fuga della turbina;
- massima temperatura nei supporti;
- livello e circolazione nel circuito di raffreddamento (se esiste);
- livello e circolazione dell'olio in pressione;
- livello minimo nella camera di carico.

### **Quadri di automazione:**

La piccola centrale lavora senza presidio permanente di personale e funziona mediante un sistema automatico di controllo. Non esistendo due centrali identiche, risulta impossibile definire una configurazione ottimale d'automazione.

Queste apparecchiature che si compongono di un computer e di software appositi, gestiscono al meglio il sistema anche in casi di emergenza.

Per situazioni particolarmente gravi, bloccano le turbine deviando il flusso d'acqua e lanciando l'allarme.

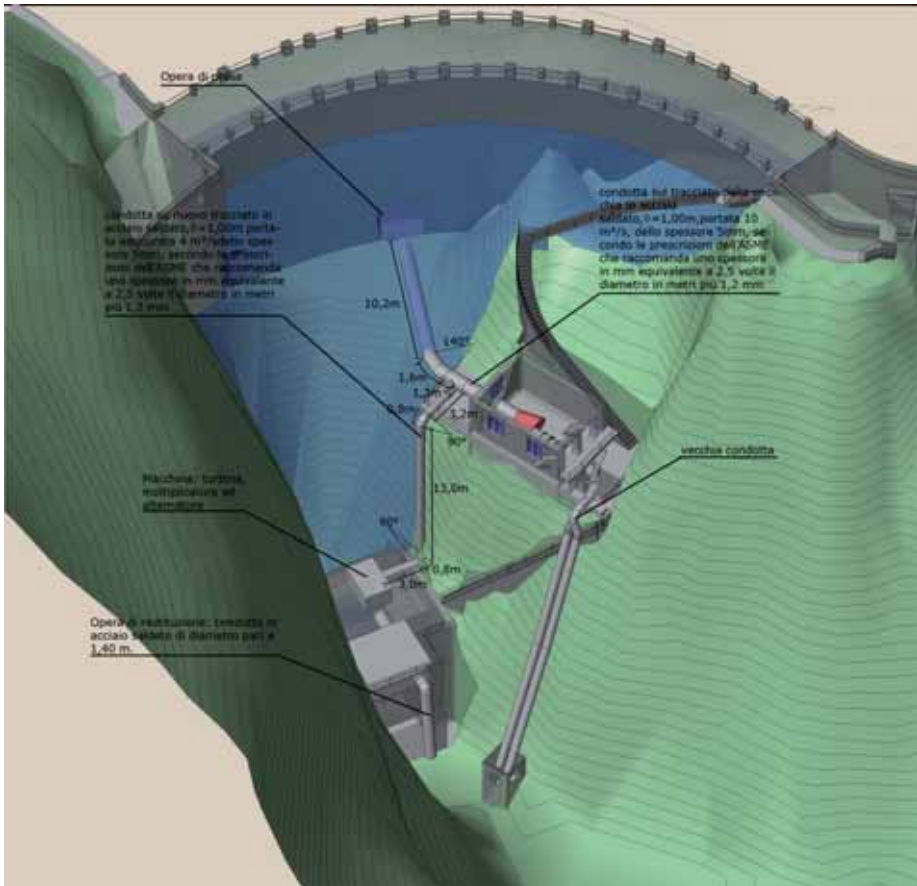
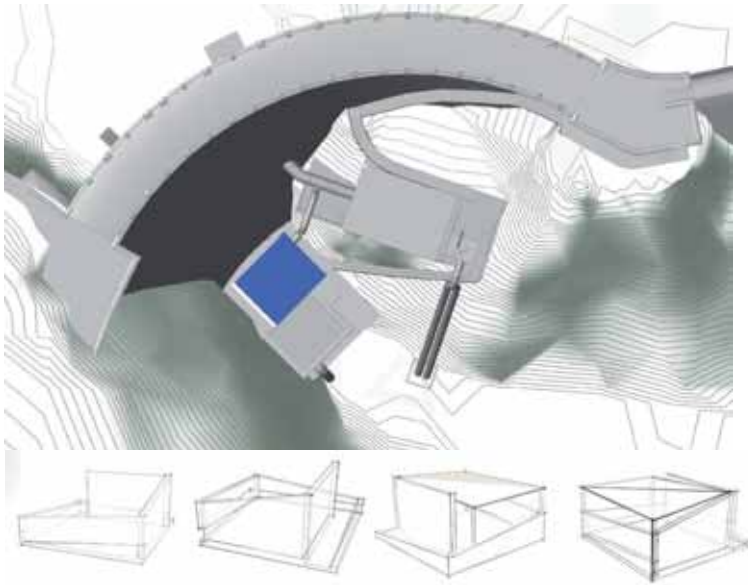
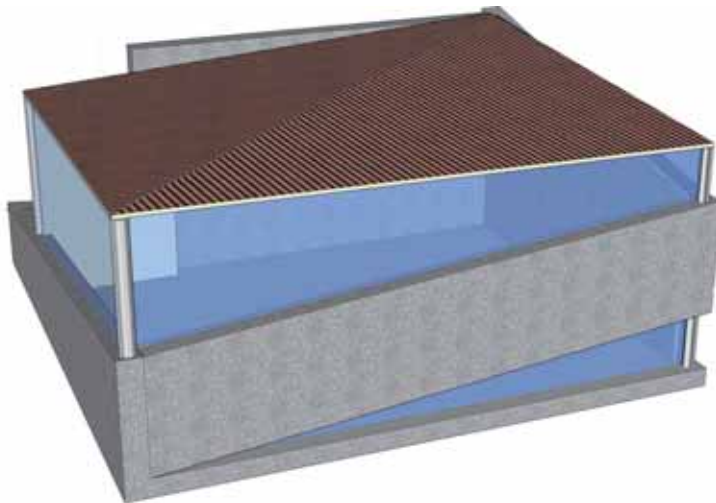


Fig.2. Schema ipotizzato d'impianto. (Elaborazione A. Nardiello)



**Fig.3.** Schizzo di progetto centrale. *(Elaborazione A. Nardiello)*



**Fig.4.** Progetto centrale. *(Elaborazione A. Nardiello)*



**Fig.5.** Vista del progetto. *(Elaborazione A. Nardiello)*