

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÁ DI BOLOGNA**

**SECONDA FACOLTÁ DI INGEGNERIA  
CON SEDE A CESENA**

***CORSO DI LAUREA*  
IN INGEGNERIA MECCANICA**

**Classe: LM – 33**

**Sede di Forlì**

**TESI DI LAUREA**

In STRUMENTAZIONE ED AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

**STUDIO DELLE OPERE DI PRESA PER  
UN IMPIANTO MINI-IDROELETTRICO AD ACQUA FLUENTE**

**CANDIDATO**  
Bersani Matteo

**RELATORE**  
Ing. Augusto Bianchini

**CORRELATORE**  
Ing. Mauro Massari

Anno Accademico 2011/2012  
Sessione Seconda



# **Studio delle opere di presa per un impianto mini-idroelettrico ad acqua fluente**

Una rassegna sullo sfruttamento dell'energia idroelettrica nel panorama mondiale ed in quello italiano volta a spiegare il concepimento del progetto di un impianto di produzione "ad energia pulita", le modalità di scelta della migliore tipologia di turbina in base alle condizioni al contorno, il resoconto di sopralluoghi effettuati per paragonare diverse realtà e scelte ingegneristiche, vari studi di fattibilità eseguiti sulle diverse parti dell'opera di captazione dell'acqua fluviale per arrivare al progetto esecutivo della stessa, la cernita tra le molte proposte possibili in base a criteri tecnico-economici ed il loro adattamento nel contesto d'interesse, costituiscono gli argomenti trattati in questa tesi, avente lo scopo di delineare il completo iter progettuale per la costruzione di un impianto idroelettrico e nello specifico delle opere di presa dello stesso.

## **Survey of the intake structures for a mini-hydroelectric flowing water plant**

An overview on the exploitation of hydropower on the world and Italian situation aimed at explaining the conception of the project of a production plant with "clean energy", how to choose the best type of turbine based on the boundary conditions, the report to inspections carried out to compare different realities and engineering decisions, various feasibility studies performed on different parts of the collecting structure of river water to get to its final design, sorting among the many possible proposals on the standards technical-economic and their adaptation in the context of interest, are the topics covered in this thesis, which aims to outline the complete design process for the construction of a hydroelectric plant, and specifically of the water intake plants of the same.

*Candidato*  
Bersani Matteo

*Relatore*  
Ing. Augusto Bianchini

*Correlatore*  
Ing. Mauro Massari

dicembre 2012  
Anno Accademico 2011/2012





# Ringraziamenti

In primo luogo desidero ringraziare il prof. ing. Augusto Bianchini, relatore del sottoscritto, per la cortesia, la preparazione e l'interesse mostrati nell'aiutarmi durante lo svolgimento di questa tesi, nonché per tutti i consigli di carattere tecnico e procedurale, sempre molto utili e spronanti.

Altri ringraziamenti li porgo allo "Studio Tecnico Massari" ed a tutto il personale che mi ha accompagnato durante lo svolgimento del tirocinio; un ringraziamento particolare va all'ing. Mauro Massari, responsabile dell'"Amga Energia" e dello studio sopracitato, nonché correlatore del sottoscritto, che mi ha assistito fornendo vario materiale e consigli tecnici, correggendo gli errori insorti durante la stesura dei capitoli e permettendomi di partecipare ad un intervento manutentivo eseguito in cantiere.

Rivolgo inoltre un sentito ringraziamento ai miei genitori, che mi hanno sempre motivato durante il periodo degli studi universitari, ed ai miei amici, a cui più di una volta ho chiesto aiuto per gli esami. Uno speciale grazie è per la mia fidanzata, che nel periodo di studio e stesura della tesi mi ha sempre sostenuto dimostrandomi il suo entusiasmo.



## Prefazione

La tesi in oggetto nasce con lo scopo di descrivere e studiare nel dettaglio la realizzazione di un impianto di bassa potenza per la produzione di energia idroelettrica mediante l'ausilio di una turbina Kaplan, dal punto di vista teorico e da quello applicativo; nello specifico l'attività di progettazione ed ottimizzazione è stata svolta per le opere di presa dell'acqua fluente e dei sistemi adottati per la sua filtrazione, il che ha comunque richiesto l'attenta e precisa conoscenza di tutti i parametri costruttivi e delle soluzioni tecniche adottate nell'intero impianto, a cui si fa esplicito rimando in tutto il testo.

L'attività concettuale è stata personalmente svolta grazie alle conoscenze pregresse dai corsi universitari e ricerche specifiche attuate su enciclopedie e manuali tecnici, mentre quella applicativa sotto la supervisione dell'ingegner Mauro Massari, a capo dell'omonimo studio di progettazione in collaborazione col quale si è potuto concretizzare questo elaborato. Al fine di conoscere meglio le soluzioni adottate anche da altri progettisti nel medesimo ambito, sono stati effettuati numerosi sopralluoghi su impianti idroelettrici di tipologia simile ed è stata supervisionata la manutenzione e riparazione di una turbina Francis.

Lo Studio Tecnico Massari è situato a San Mauro Pascoli (FC) in via Due Martiri, al numero civico 2, in quella che, denominata "la Torre", fu la villa dei principi Torlonia, antichi banchieri dello Stato Pontificio. Costituito nel 1978, esso fornisce consulenza tecnica indipendente a soggetti pubblici e privati, occupandosi di edilizia civile strutturale, impianti termoidraulici, elettrici ed illuminotecnici, project financing, progettazione del servizio di energia termica e di cogenerazione, energie rinnovabili tra cui eolica, solare, idroelettrica e da biomassa, acustica, sicurezza sul lavoro, nonché telecontrollo e gestione degli impianti in opera.

Al sottoscritto è stata proposta l'attività sopra descritta per un impianto che verrà costruito sul fiume Rabbi nella località di Fiumana, in comune di Predappio e provincia di Forlì-Cesena, denominato "Fiumana sul Fiume Rabbi". La progettazione si è basata su un know-how ereditato da impianti del medesimo genere pensati e costruiti in passato dallo stesso ingegner Massari che, grazie all'esperienza fornita dallo scorrere del tempo e dal verificarsi degli eventi, ha potuto individuarne i punti deboli e proporre delle migliorie da studiare ed applicare in questa nuova realizzazione. Una di queste pecche consiste nell'intasamento delle prese dell'acqua fluente che garantiscono la corretta e continua portata diretta alla turbina, che deve essere di sola acqua pura e perciò filtrata. Date infatti le elevate velocità di rotazione in gioco, anche le impurità più minute possono causare svariati danni sulle giranti delle turbine. Le griglie filtranti presentano però il problema dovuto al fatto che molti dei detriti più grandi rimangono bloccati e successivamente fermano anche quelli più piccoli, causando difformità nella distribuzione dell'acqua ed una diminuzione del rendimento dell'impianto. Saltuariamente, perciò, una coppia di operai specializzati devono essere inviati in loco per pulire le griglie e ristabilire il corretto flusso di acqua, riparare la girante e verificare il corretto funzionamento impiantistico; per questi ed altri motivi, studiati poi nel dettaglio, la scelta finale ricade sull'automazione, cioè nell'adozione di un sistema meccanico di sgrigliatura che permette un controllo a distanza, un rendimento costante nella produzione di energia elettrica (dipendente unicamente dalla portata resa disponibile dal fiume), e la riduzione dell'intervento umano alla sola manutenzione meccanica. Si è inoltre reso necessario il dimensionamento ottimizzato di ogni parte dell'impianto per rendere al meglio nel contesto in cui il tutto è posizionato, analizzando da un lato i bisogni del com-

mittente, dall'altro l'ottenimento del più alto rendimento possibile e, non ultimi, i costi d'investimento e manutenzione. Data l'elevata finestra temporale richiesta per lo studio di impianti di questo genere, il personale lavoro analitico è stato svolto sulla verifica di tutti i parametri funzionali della futura installazione, sulla ricerca dei perché si siano adoperate tali scelte, se esse rappresentano le migliori effettuabili, sulla proposta di modifiche e sul rapportare i dati di progetto con quelli forniti dall'esperienza raccolta con l'impianto "Para 1", funzionante dall'anno 2008 sul torrente Para in comune di Verghereto e costituente la piattaforma di sperimentazione per tutte le future applicazioni idroelettriche di questo tipo. Nello specifico è stato personalmente curato lo studio applicativo delle opere di presa, comprendenti la vasca di adduzione dell'acqua, le tubature, lo sgrigliatore e le varie parti meccaniche dell'impianto, contattando le aziende fornitrici e richiedendo preventivi e specifiche tecniche, scegliendo le migliori proposte e concretizzandole nel progetto esecutivo.

# Indice

I.	L'energia idroelettrica e le altre fonti di produzione	pag. 1
1.1)	L'energia idroelettrica in cifre	pag. 3
1.2)	Il fabbisogno energetico e gli inquinanti	pag. 6
1.3)	L'energia idroelettrica	pag. 9
1.4)	Il sito	pag. 12
II.	La turbina Kaplan	pag. 15
2.1)	Le tipologie di turbina	pag. 16
2.2)	La scelta	pag. 19
2.3)	La teoria	pag. 21
2.4)	Le parti della turbina	pag. 31
2.5)	La disponibilità idrica	pag. 34
III.	I sopralluoghi su impianti preesistenti	pag. 37
3.1)	Impianti ad acqua fluente	pag. 38
3.2)	Il "Para 1"	pag. 43
IV.	Le opere di presa dell'acqua fluente	pag. 53
4.1)	La vasca di captazione dell'acqua fluente	pag. 56
4.2)	Lo sgrigliatore per la depurazione dell'acqua	pag. 62
4.3)	Lo smaltimento dello sgrigliato	pag. 67
4.4)	Gli strumenti per il controllo e la regolazione	pag. 69
4.5)	La luce a stramazzo sulla briglia per il DMV	pag. 72
4.6)	La tubatura per l'adduzione dell'acqua alla turbina	pag. 76
4.7)	Gli sforzi sulla tubatura	pag. 84
4.8)	Curiosità	pag. 88
V.	L'investimento ed il progetto esecutivo	pag. 89
5.1	Il mantenimento del DMV del fiume Rabbi	pag. 91
5.2	L'opera di presa	pag. 92

5.3	La tubatura	pag. 94
5.4	La turbina e l'alternatore	pag. 95
5.5	La dismissione dell'impianto	pag. 101
5.6	L'ammontare dell'investimento totale ed il P&I	pag. 102
5.7	Gli esecutivi	pag. 104
VI.	Le autorizzazioni ed i contratti	pag. 121
6.1	La relazione generale e tecnica	pag. 122
6.2	Il quadro programmatico	pag. 131
6.3	La relazione acustica	pag. 136
6.4	La concessione a derivare il Rabbi in località Fiumana	pag. 148
6.5	La relazione geologica	pag. 155
6.6	Il contratto di costruzione	pag. 169
6.7	Il contratto di gestione	pag. 173
VII.	Conclusioni	pag. 177
VIII.	Bibliografia	pag. 179

## *capitolo primo*

# **L'energia idroelettrica e le altre fonti di produzione**

Per lunghissimo tempo le uniche risorse energetiche considerate sono state i combustibili fossili, dei quali nel corso degli anni si è prima scoperta la presenza e poi intuite le possibilità di sfruttamento.

Il primo ad essere utilizzato in quantità elevate è stato il carbon fossile, che già dal settecento era di uso comune per produrre vapore e riscaldare gli ambienti; viste le ottime proprietà è stato anche inventato il modo per ricavarlo direttamente dal legno con una combustione anaerobica. Con l'avvento del motore a combustione interna il petrolio prese il sopravvento nel panorama energetico mondiale; se si pensa però che dal latino il suo nome si traduce in "olio di pietra" (trasudando dalle rocce veniva non di rado utilizzato per le torce) si capisce come la sua esistenza sia nota sin dai tempi degli antichi romani ed anche antecedentemente. Innegabilmente la benzina, il cherosene, il gasolio, il gas di petrolio liquefatto (o GPL), il catrame e gli altri derivati del petrolio hanno un potere calorifico molto alto e costituiscono un'ottima fonte energetica, ma il problema degli inquinanti che la loro combustione produce ed il fatto che le quantità disponibili non siano infinite costituiscono degli ostacoli insormontabili nello sfruttamento di tali risorse.

Per questo e per una nuova attenzione ai problemi ecologici (anche il pianeta ha un limite di sopportazione), negli ultimi decenni si è scoperto l'ambito delle energie rinnovabili, termine col quale si intendono forme di energia che in un breve arco di tempo si rendono nuovamente disponibili grazie ai processi fisici e naturali che normalmente avvengono sulla Terra, e che quindi non possono esaurirsi. È il caso dell'energia eolica, idrica, solare, dalla biomassa, dalle maree, geotermica, ... lo sfruttamento di queste risorse è conveniente e oneroso allo stesso tempo, per il semplice fatto che i costi di funzionamento sono ridotti alla sola manutenzione ma che i costi d'investimento iniziale, proporzionalmente alla quantità di energia prodotta, sono molto elevati. Questo è dovuto anche al fatto che il ricorso a queste forme energetiche risulta particolarmente "giovane" rispetto le altre, il che implica il bisogno di una corposa ricerca e sperimentazione dei parametri ottimali e del miglior modo di sfruttamento possibile per l'ottenimento di impianti che non risultino "rimedi peggiori del danno", cioè che non costituiscano fonte di danni per l'ambiente o investimenti antieconomici. Altro motivo è che i processi chimico-fisici che normalmente avvengono in natura richiedono la costruzione di impianti di grandi dimensioni per la loro fruizione, perché il particolare fenomeno la cui energia va tramutata in meccanica e poi elettrica è per la maggior parte dei casi poco intenso rispetto le effettive richieste e relativi fabbisogni. Per portare qualche esempio, basti pensare alle enormi dimensioni delle pale dei generatori eolici, ai bassi rendimenti di un impianto fotovoltaico, alle opere idrauliche per impianti idroelettrici, ...

Le energie rinnovabili, come già evidenziato ed al di fuori di quella idrica, non sono state per lungo tempo prese in considerazione. Alla luce però del costo del petrolio (nel 1973 i Paesi arabi ne aumentarono il prezzo causando una crisi energetica), della consapevolezza che questo a breve terminerà, del bisogno di inquinare meno l'ambiente e della volontà di alcune aziende e privati di rendersi autonomi dal punto di vista energetico, si è voluto dare un nuovo impulso alla ricerca e alla costruzione di centrali per l'energia pulita, investendo molto anche sulla ricerca. I pregi più grandi consistono nell'annullamento degli inquinanti e nel funzionamento senza carburante, quindi con un costo fisso di funzionamento relativamente molto basso (manutenzione ed impianti ausiliari) ed un costo variabile pratica-

mente nullo. Il difetto è rappresentato dalle potenze disponibili, che con le conoscenze tecniche al giorno d'oggi sono ancora troppo basse per permettere l'indipendenza dai combustibili fossili. Un esempio numerico: un chilogrammo di combustibile ha una potenzialità termica ammontante a circa 40 milioni di Watt, l'equivalente della radiazione di un metro quadrato di superficie solare; la potenza del sole che arriva sulla terra però, complici la distanza (la radiazione si propaga a cono, in linea retta), le polveri presenti nello spazio, l'atmosfera terrestre che in parte la riflette ed eventuali foschie nel percorso della luce, permettono di ricavare solo da uno a due migliaia di Watt per metro quadrato di terreno; tenendo conto che il rendimento di un pannello solare si aggira intorno a 20 punti percentuali, si capisce come per raggiungere i miliardi di Watt disponibili in una centrale termoelettrica sia necessario un impianto di dimensioni enormi, irrealizzabile per via dei costi proibitivi.



## 1.1 L'energia idroelettrica in cifre

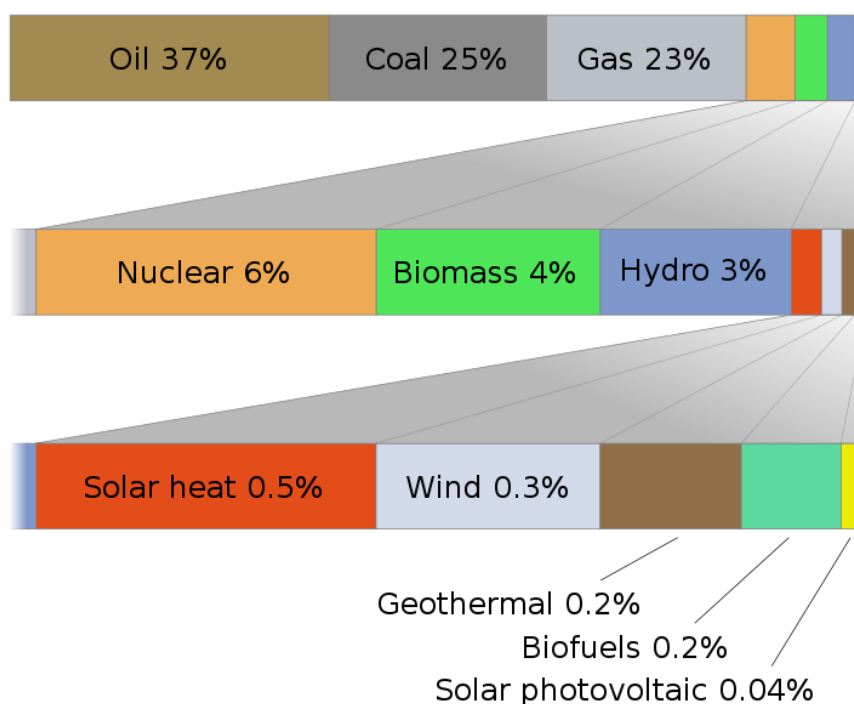
Con lo scopo di illustrare al meglio il panorama energetico mondiale e focalizzare l'attenzione sulle energie rinnovabili e nello specifico sulla produzione idroelettrica, si introducono una serie di dati numerici. Sono per lo più stime derivanti da rilevazioni eseguite senza la pretesa della precisione ma solo con la volontà di conferire un'idea a quanto ammonti il fabbisogno energetico mondiale e di come se ne sopperisca.

Storicamente, dalla rivoluzione industriale il consumo di energia è cresciuto ad un ritmo esponenziale rispetto al passato, e nel 1890 l'impiego di carburanti fossili eguagliava la quantità di legno utilizzata per scaldare le case e lavorare nell'industria, stimando un consumo di 0,7 [TW] ( $10^{12}$  Watt).

Nel 2006, l'agenzia americana EIA (Energy Information Administration, agenzia indipendente dell'United States Department of Energy) ha stimato la potenza totale erogata nel 2004, ammontante a 15 [TW], così suddivisa ([EJ], cioè exa Joule, equivale a  $10^{18}$  Joule):

**Tabella 1.1 - Suddivisione della potenza totale erogata nel 2004**

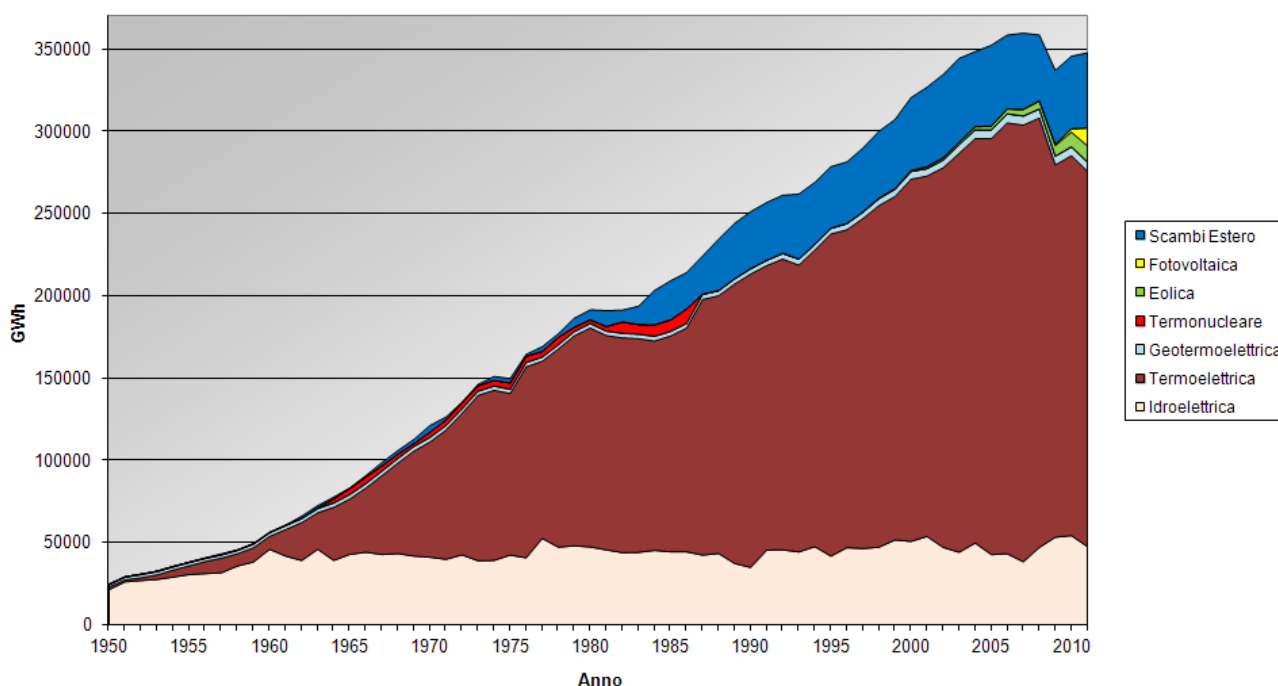
Tipo di combustibile	Potenza	Energia annua
Petrolio	5,60 [TW]	180 [EJ]
Gas naturale	3,50 [TW]	110 [EJ]
Carbone	3,80 [TW]	120 [EJ]
Idroelettrico	0,90 [TW]	30 [EJ]
Nucleare	0,90 [TW]	30 [EJ]
Geotermico, eolico, solare, legno	0,13 [TW]	4 [EJ]
<b>Totale</b>	<b>15,00 [TW]</b>	<b>471 [EJ]</b>



**Figura 1.1 - Suddivisione della potenza totale erogata nel 2004**

In Italia la situazione energetica è particolarmente interessante per via del fatto che negli anni successivi alla seconda guerra mondiale il fabbisogno nazionale veniva ricoperto quasi interamente grazie alle centrali idroelettriche, delle quali quindi si era già capito l'alto potenziale modificando mulini già in opera per la lavorazione dei cereali. Anche a Cesena e nei dintorni della provincia si trovano impianti risalenti agli anni venti.

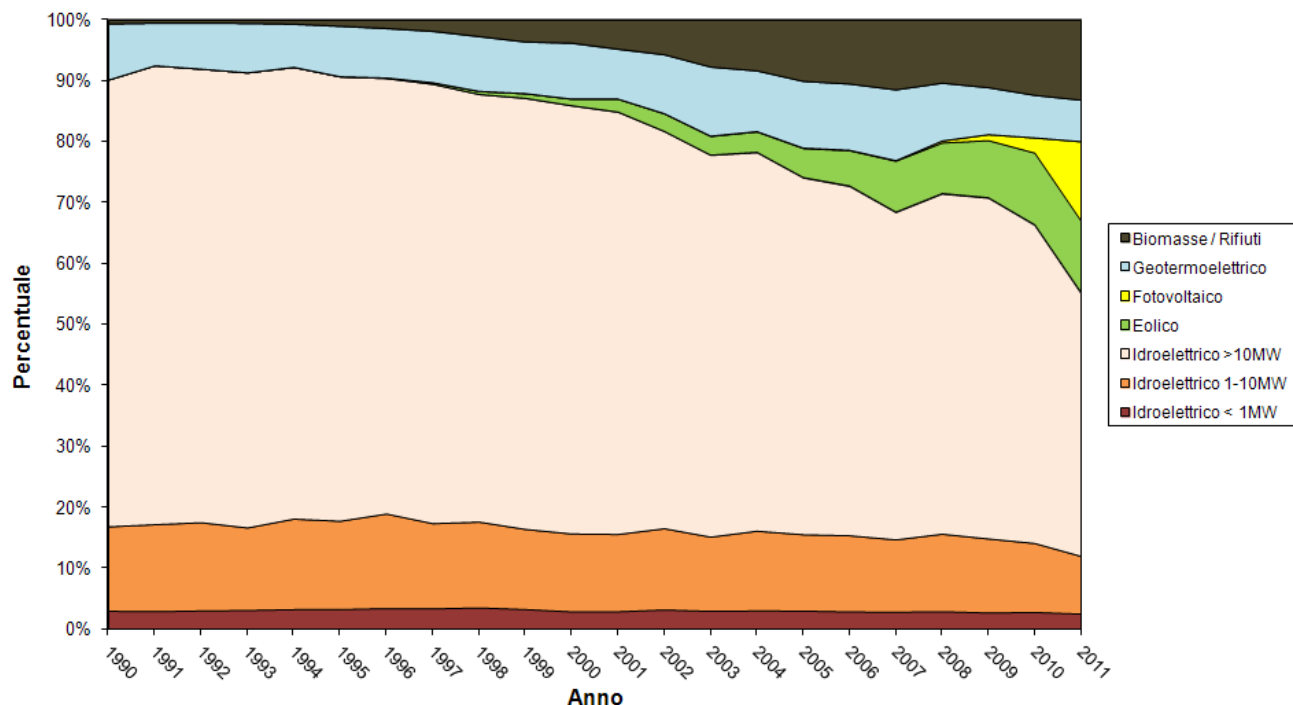
Con lo scorrere del tempo tale contributo non è più stato sufficiente e quindi si è ricorsi principalmente alle centrali termoelettriche e allo scambio con l'estero. Nell'ultimo decennio, però, si è evidenziato un aumento della produzione idroelettrica ed una consistente diminuzione dell'utilizzo dei combustibili fossili, anche grazie all'introduzione delle sorgenti fotovoltaiche ed eoliche. Nel seguente grafico, rappresentante una finestra temporale di sessant'anni (partendo dal 1950), si può notare l'andamento di quanto detto sinora:



**Figura 1.2 - Riepilogo storico della produzione di energia in Italia**

Per tali motivi si giunge alla conclusione di come l'energia idroelettrica rappresenti in Italia la principale e più consistente alternativa all'utilizzo dei combustibili fossili. Il 15% del fabbisogno odierno viene infatti ricoperto grazie allo sfruttamento di questa risorsa che in Italia, grazie alla geomorfologia, alla presenza di un numero elevato di corsi d'acqua ed al fatto che i climi temperati permettono una portata incessante durante le varie stagioni (nonostante un calo estivo, è raro che i fiumi vadano in secca), è una solida realtà.

In particolare, per sottolineare la differenza percentuale delle modalità di ottenere energia da fonti rinnovabili in Italia, è utile visualizzare tale grafico (ottenuto grazie ai dati forniti dal GSE, il gestore dei servizi energetici, di Terna):



**Figura 1.3 - Variazione percentuale delle fonti rinnovabili in Italia**

Considerando i contributi sempre crescenti degli impianti fotovoltaici, eolici e, negli ultimi anni, dei termovalorizzatori (un modo intelligente di eliminare i rifiuti, con l'obbligo però di inquinare il meno possibile), la quota di energia da fonti rinnovabili raggiunge il 27,4% della produzione totale nazionale, il 24,8% dell'energia elettrica richiesta ed il 23,8% del fabbisogno nazionale lordo.

In conclusione l'Italia, seppur tra tante difficoltà economiche, tecniche, burocratiche e politiche, si sta impegnando sempre di più nello sfruttamento intensivo delle varie forme di energia rinnovabili presenti, cercando di raggiungere almeno in parte una certa indipendenza dagli altri stati e dall'acquisto di petrolio.

## 1.2 Il fabbisogno energetico e gli inquinanti

Al giorno d'oggi si calcola che mondialmente si fabbisogna di 11.200.000 [tep] (tonnellate equivalenti di petrolio), raggruppando sotto questa cifra ogni tipo di fonte di energia, ognuna delle quali andrà poi rapportata al [tep] stesso. Per avere un'idea dell'energia sprigionata dalla combustione di una tonnellata di petrolio in un'ora, si inserisce la seguente equivalenza:

$$1 [tep] = 40 \left[ \frac{MJ}{kg} \right] = 40 \left[ \frac{MJ}{kg} \right] \cdot \frac{1.000[kg] \cdot 1[h]}{3.600[s]} = \frac{40.000}{3.600} \left[ \frac{MJ \cdot h}{s} \right] = 11,6 [MW \cdot h]$$

Nel mondo sono presenti circa 6,45 miliardi di persone, per ognuna delle quali si ha quindi:

$$\frac{11.200 [Mtep]}{6.450.000.000 [abit]} = 1,7 \left[ \frac{tep}{abit} \right] \approx 20 \left[ \frac{MWh}{abit} \right]$$

In verità per tale relazione si assume un alto grado di omogeneità nella distribuzione delle risorse, che invece è di quanto più opposto si possa avere nella realtà. Per le diverse aree geografiche, suddivise per lo più per il benessere di cui gli appartenenti godono, si ha:

**Tabella 1.2 - Suddivisione dei consumi per le diverse aree geografiche**

Paese	consumi nell'anno 2000	consumi nell'anno 2006
OCSE: USA, Canada, UE, Giappone	4,74 [tep/abitante]	4,78 [tep/abitante]
Nord America	8,20 [tep/abitante]	8,70 [tep/abitante]
Russia	3,18 [tep/abitante]	4,44 [tep/abitante]
Italia	2,87 [tep/abitante]	3,39 [tep/abitante]
Cina	0,92 [tep/abitante]	1,25 [tep/abitante]
Africa	0,64 [tep/abitante]	0,64 [tep/abitante]
India	0,49 [tep/abitante]	0,53 [tep/abitante]

Da questi dati si può bene intendere come le energie rinnovabili siano una preziosa alternativa ai combustibili fossili, ma che ancora non siano pronte ad essere la soluzione vincente. È necessaria una costante ricerca e la forte volontà di sfruttare al meglio le risorse pulite offerte dal pianeta; il “protocollo di Kyoto” (detto del 20-20-20) esprime proprio tale proposito ponendo una serie di obiettivi e traguardi da raggiungere entro e non oltre il 2020:

- 1) raggiungimento del 20% della produzione energetica da fonti rinnovabili;
- 2) miglioramento del 20% dell'efficienza;
- 3) riduzione del 20% delle emissioni di anidride carbonica.

Una parentesi particolare va fatta per la CO<sub>2</sub>, che molti considerano un inquinante mentre essa è solo il naturale prodotto di scarto non solo della combustione ma anche della respirazione di ogni essere vivente animale e vegetale. Il vero problema risiede nelle enormi quantità che se ne producono, quantità che i polmoni verdi del pianeta, quali boschi, foreste, parchi naturali ma anche ogni singola e piccola area verde, non riescono a digerire al ritmo col quale si crea. Infatti la fotosintesi clorofilliana, che di giorno genera ossigeno grazie all'energia solare, è un processo che assorbe l'anidride carbonica e senza la quale non potrebbe funzionare; ma come anche gli antichi dicevano, “in medio stat virtus”, e perciò si è arrivati ad un livello di CO<sub>2</sub> tale da dare origine a non pochi disagi anche a livelli atmosferici, come ad esempio l'effetto serra.

Nello specifico, comunque, qualunque reazione di combustione (perfetta) di un materiale organico come anche il respiro di ogni essere vivente ha come prodotti di scarto acqua ed

anidride carbonica, quindi pensare di sfruttare termicamente combustibili di origine organica è sinonimo di emissione di  $\text{CO}_2$ , dato che essi contengono carbonio. Si può solo cercare di ridurre le emissioni sfruttando le risorse che non ne contengono, quali ad esempio l'idrogeno. In questi casi però si richiama la classica immagine del cane che si morde la coda, perché per produrre idrogeno si fa ricorso ai combustibili fossili, inoltre esso genera un inquinante molto nocivo, l'ossido di azoto.

Finora non sono stati enunciati i veri inquinanti:

- monossido di carbonio (CO): deriva dalla combustione in assenza di ossigeno, cioè il carbonio non riesce a completare il suo stato con due atomi di ossigeno, e questo fatto origina una molecola molto pericolosa perché in grado di legarsi all'emoglobina del sangue al posto dell'ossigeno stesso, causando il soffocamento di chi la inspira. È in sostanza un vero e proprio veleno, e le sue emissioni sono severamente controllate.
- incombusti (HC): sono i prodotti di scarto di una combustione dove il comburente non riesce ad ossidare completamente il combustibile, quindi operando con miscele grasse oppure non studiando bene il moto dei fluidi si scaricano nell'ambiente particelle di combustibile molto dannoso. Quando un combustibile evapora, inoltre, origina gli stessi incombusti, per questo mentre un tempo i serbatoi delle automobili erano collegati con l'esterno in caso di sovrappressione dovuta all'evaporazione del combustibile (la benzina a  $20^\circ \text{C}$  produce vapori infiammabili), al giorno d'oggi si fa ricorso ad un filtro a carboni attivi (il canister) che si rigenera attraverso il passaggio di aria al suo interno che viene poi iniettata nel motore poiché carica di combustibile. Per farsi un'idea dell'entità degli incombusti, a volte basta il ciclo di rigenerazione del canister per mantenere al minimo il motore di un veicolo.
- particolato: tipico dei motori diesel (per via del modo in cui funzionano) ma presente anche in quelli a benzina in caso di scorretta combustione, si crea con rapporti aria-combustibile grassi, ed è formato da reticoli solidi di carbonio; una vera e propria polvere nera che viene dispersa nell'ambiente. Tecnologia di questi ultimi anni è il filtro antiparticolato applicato a qualunque tipo di motore a gasolio.
- ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ): in opposizione agli inquinanti precedenti, essi si creano con eccesso d'ossigeno e temperature molto elevate di combustione, poiché l'azoto che normalmente è un gas inerte in condizioni termiche ambientali reagisce invece con l'ossigeno quando scaldato (il motore ad idrogeno ne produce in grandi quantità, data l'altissima temperatura di fiamma). Anch'essi sono in forma solida ed hanno l'aspetto di una polvere molto sottile.

Il problema più grande degli inquinanti è che non c'è un modo univoco per eliminarli tutti, poiché riducendone uno se ne produce un altro. È come dire che “la coperta è corta”, cioè bisogna mediare bene per ridurre al minimo le emissioni; rimane però ineluttabile che, senza sistemi di abbattimento come marmitte catalitiche e filtri antiparticolato (che con le conoscenze odierne hanno raggiunto standard antinquinamento molto elevati), non è possibile eliminare completamente gli inquinanti.

Tornando al discorso dell'anidride carbonica, che di per sé quindi non è dannosa all'uomo ma eccessive quantità per lunghi tempi sono deleterie per l'ambiente, essa non è considerata un inquinante, perché dal momento in cui si decide di utilizzare un combustibile fossile se ne ammette la produzione. Se ci si sposta però sulle fonti rinnovabili, ecco che (eccezion fatta per le risorse da biomassa e per i termovalorizzatori) il discorso cambia e l'anidride carbonica non diventa più un problema. Per la maggior parte dei casi, infatti, l'energia sfruttata non richiede l'utilizzo di una combustione, e questo è un termine di guadagno anche per il problema dell'innalzamento della temperatura terrestre (basti pensare ad un fu-

me la cui portata è utilizzata per raffreddare un impianto termoelettrico). A fronte di grandi investimenti iniziali, si riesce perciò ad evitare l'immissione in atmosfera di grandi quantità di CO<sub>2</sub>, per non parlare del risparmio del combustibile stesso. Non sempre però si possiedono i mezzi per progettare, costruire e rendere operativi impianti del genere, tuttavia per installazioni più piccole e di minori potenze i costi iniziali si riducono sensibilmente, il che rende conveniente investirvi. È il caso del privato che acquista pannelli fotovoltaici e solari termici, piccole società che impiantano turbine mini-eoliche o idrauliche per produrre elettricità, aziende che sfruttano i sistemi di raffreddamento di alcune macchine per riscaldare l'ambiente lavorativo senza utilizzare il gas metano, e di esempi simili se ne possono portare innumerevoli. La parola chiave è sicuramente "risparmio".

### 1.3 L'energia idroelettrica

Oggetto di questa tesi è l'energia idroelettrica. Essa sfrutta il moto dell'acqua, generato grazie all'energia potenziale (che si tramuta in energia gravitazionale con il diminuire dell'altitudine e l'aumentare della velocità) presente tra due bacini posti a quota diversa con un certo salto geodetico, per ricavare energia meccanica e convertirla in elettricità. Il meccanismo naturale che riporta l'acqua a monte è il classico ciclo dell'acqua che non richiede interventi di alcun tipo, si dispone cioè di un fluido operatore gratuito. Vi sono certe centrali dette di pompaggio-turbinaggio in cui di giorno le macchine funzionano come turbine e di notte come pompe, ma in questo caso i motivi sono meramente economici: l'energia elettrica viene venduta ad un prezzo maggiore durante il di rispetto alle ore notturne, così conviene pompare nottetempo l'acqua dal bacino inferiore al superiore; i rendimenti sempre presenti, però, non permettono a quest'ultimo di essere un sistema "ad energia pulita", poiché si consuma più elettricità di quella che effettivamente si produce. Per sfruttare l'energia cinetica dell'acqua si utilizzano delle apposite turbine collegate ad alternatori che immettono direttamente l'elettricità in rete; come sarà analizzato nel dettaglio più avanti, l'alternatore deve avere una velocità ben precisa per produrre energia con una frequenza a 50 [Hz], per questo la differenziazione del carico richiesto andrà ad agire sulla coppia e non sulla velocità di rotazione della turbina, che sarà necessariamente costante. Questo discorso vale se si considera l'assenza di riduttori; la loro installazione non è impossibile, solo sconsigliata dato che anch'essi presentano un rendimento che va a diminuire l'energia prodotta (se si discute di basse potenze la perdita è ridotta, ma arrivando agli ordini di centinaia di chilowatt lo spreco è molto più accentuato). Un forte pregio di tali centrali è che non intaccano minimamente l'habitat dal quale si attinge acqua dato che non vi sono prodotti di scarto, l'acqua in uscita ha la stessa temperatura di quella in ingresso, non si produce anidride carbonica o altri inquinanti e la portata d'acqua a monte e a valle dell'impianto è la stessa. Molti ecologisti obiettano per lo sfruttamento dell'acqua incanalata nelle centrali idroelettriche e sottratta ai fiumi, ma secondo le normative vigenti una parte di questa deve esser lasciata nei letti di questi ultimi (tale portata prende il nome di DMV, cioè deflusso minimo vitale); inoltre, modificando intelligentemente il contesto naturalistico in cui ci si trova in ogni specifico caso non è detto che si producano danni, anzi spesso si riduce il rischio di esondazioni e di piene anche pericolose. Altro motivo fondamentale risiede nel fatto che l'uomo ha bisogno dell'energia, e chiunque obietti dovrebbe secondo le sue idee farne a meno; dal personale punto di vista di chi scrive risulta per tali motivi più intelligente sfruttare l'energia che la natura rende disponibile piuttosto che continuare a dipendere dai combustibili fossili, imparando a convivere con le strutture necessarie per questo tipo di sfruttamento.

Secondo le normative SHEA (European Small Hydro Association), le taglie di impianto sono raggruppate nelle seguenti famiglie, secondo la potenza nominale prodotta:

- *Micro Impianti*: potenza < 100 [kW];
- *Mini Impianti*: potenza compresa tra i 100 ed i 1000 [kW];
- *Piccoli Impianti*: potenza compresa tra 1 e 10 [MW];
- *Grandi Impianti*: potenza > 10 [MW].

In Italia sono considerati grandi impianti quelli con potenza maggiore a 3 megawatt.



Le tipologie di impianto, invece, sono così suddivise:

- *ad acqua fluente:*

l'impianto non dispone di alcuna capacità di regolazione degli afflussi, per cui la portata sfruttata coincide con quella disponibile nel corso d'acqua.



**Figura 1.4 - Impianto ad acqua fluente**

- *a deflusso regolato*

(*a bacino*):

si tratta di impianti provvisti di una capacità di invaso alla presa del corso d'acqua atta a modificare il regime delle portate utilizzate dalla centrale. In genere queste centrali sono superiori ai 10 MW e arrivano a potenze enormi.



**Figura 1.5 - Impianto a deflusso regolato**

- *di accumulo a mezzo pompaggio:*

l'impianto è dotato di due serbatoi collocati a quote differenti. Come già spiegato, esso ricava la disponibilità di acqua nel serbatoio superiore mediante sollevamento elettromeccanico (con pompe o con la stessa turbina di produzione) dal serbatoio inferiore. In questo modo nelle ore diurne di maggior richiesta (ore di punta) l'acqua immagazzinata nel serbatoio superiore è usata per la produzione di energia elettrica; nelle ore di minor richiesta (notturne) la stessa viene risollevata al serbatoio superiore.



**Figura 1.6 - Impianto di accumulo a mezzo pompaggio**



Scendendo ancora più nello specifico e raggruppando tutti i discorsi sopra affrontati, è stato calcolato che l'impianto in analisi permette di risparmiare circa 360 barili di petrolio annui (corrispondenti a 57.236 litri), considerando un impianto termoelettrico di uguale potenza. La combustione di questo quantitativo di carburante, secondo gli standard antinquinamento odierni propri delle centrali che utilizzano combustibili fossili, genererebbe tali prodotti di scarto per ogni anno di funzionamento:

combustione di 57.236 [l] di petrolio	{	735.000 [kg] di anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )
		1.380 [kg] di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )
		1.020 [kg] di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> )
		polveri sottili (PM10)

L'impianto idroelettrico in oggetto elimina completamente queste emissioni e l'importo per il carburante, il quale, assumendo un costo di 88 [\$/barile], ammonterebbe a 31.680 dollari, cioè a circa 24.420 euro. Se poi si presta fede alle previsioni sull'aumento del suo prezzo fino a 102 [\$/barile], ecco che si verrebbero a spendere 28.300 euro annui. Questo costo è inteso unicamente per il combustibile e si è esclusa tutta la manutenzione, molto più onerosa per un impianto dove si raggiungono temperature e pressioni elevate come una centrale termoelettrica. Per tali motivi è conveniente investire su un impianto ad energia rinnovabile, e tale discorso si amplifica quando si parla di potenze basse; è assolutamente antieconomico costruire impianti termici per potenzialità ridotte, mentre gli impianti eolici, solari ed idroelettrici vedono una quasi diretta proporzionalità tra investimento iniziale e potenza prodotta.

## 1.4 Il sito

Per lo sfruttamento di questa forma di energia, la società “Energie e Servizi s.r.l.”, l’ideatrice di tale progetto, ha innanzitutto dovuto individuare i siti ed i contesti adatti a questo genere di impianti; essi devono necessariamente presentare un corso d’acqua avente una portata sufficientemente alta, un buon dislivello disponibile sulla brevissima distanza (i casi estremi sono rappresentati dalla diga e dalla cascata), un sito di costruzione facilmente raggiungibile con automezzi e autocarri ed una linea elettrica entro mezzo chilometro dall’alternatore. Nell’area territoriale indagata ne sono stati individuati venti; il sito oggetto di questa tesi si trova nella regione Emilia-Romagna, in provincia di Forlì-Cesena, nel comune di Predappio, in località Fiumana. Geograficamente, nell’immagine seguente (il cerchio in rosso indica il comune di Predappio):



Figura 1.7 - Localizzazione geografica del sito di intervento

L’impianto verrà costruito nel luogo dedotto dalle coordinate UTM indicate nel contratto:

X = 739.086

Y = 891.984

Con queste è stato possibile ricavare la seguente immagine satellitare grazie a “Google Earth” (il cerchio rosso indica il punto preciso dell’installazione):



Figura 1.8 - Immagine satellitare con individuazione del punto di intervento

Per verificare le capacità del fiume Rabbi, e cioè se esso si fosse presentato idoneo allo scopo, si sono considerate due diverse fonti di dati: la prima è il piano di tutela delle acque della regione Emilia-Romagna (risalente al decennio 1991÷2001), la seconda è l'analisi regionale sulle curve di durata effettuata dall' "Autorità di Bacino Romagna" (dal 1997 al 2008). La curva di durata è la frequenza con cui il fiume presenta una determinata portata durante i diversi periodi dell'anno; le due fonti di dati presentano differenze dell'ordine del 30%, dovute alla differenza temporale nella registrazione dei dati e soprattutto all'incertezza sempre insita nei calcoli idrologici (orientativamente quantificabile nel 20% anche con metodi indiretti accurati, se è assente la misura diretta per un lungo periodo temporale).

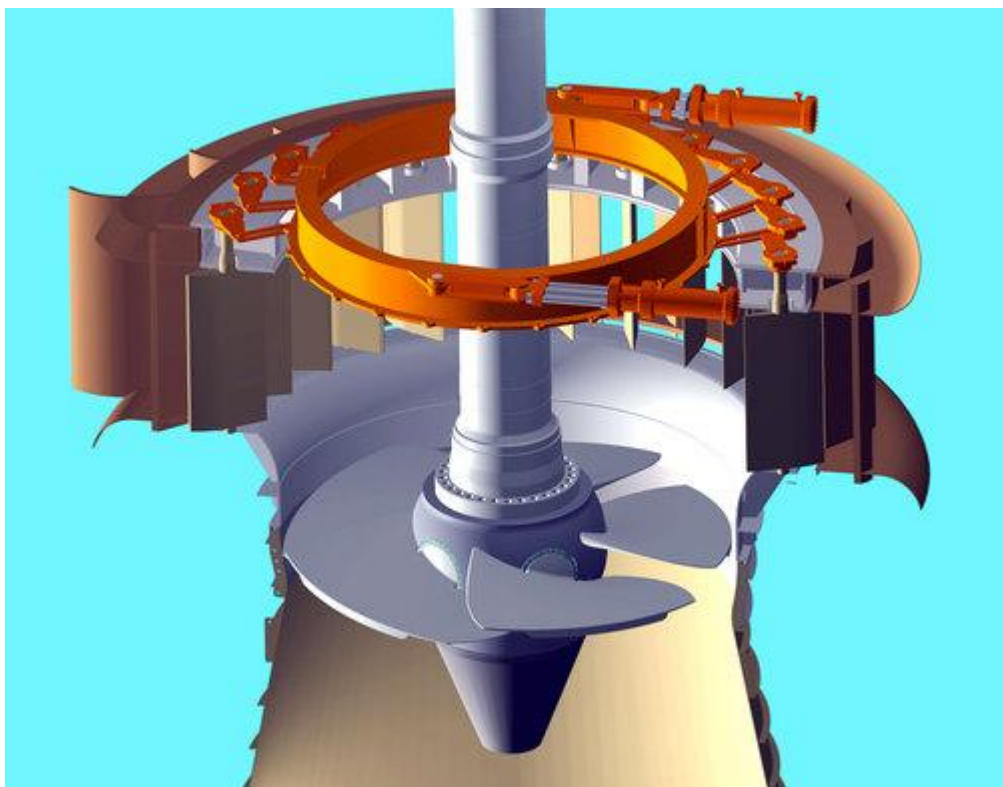
Nel capitolo seguente si analizzano i motivi relativi alla scelta di una semi-Kaplan (regolata solo con il passo dell'elica), presentando le varie tipologie di turbine ed analizzando le curve di durata per arrivare al corretto investimento da effettuare.



## *capitolo secondo*

# **La turbina Kaplan**

Per le esigenze impiantistiche presentate ed i valori di dislivello e portata disponibili nel contesto in cui la centrale è collocata, la scelta migliore è rappresentata dall'utilizzo di una turbina Kaplan. È, per definizione, la diretta elaborazione di una turbina ad elica con le pale fisse, rese però orientabili per massimizzare il rendimento. In particolare, quella montata sull'impianto in oggetto è detta "semi-Kaplan" poiché il distributore possiede palettamenti fissi mentre le pale dell'elica possono assumere due posizioni predeterminate. Tal meccanismo è il cosiddetto "passo dell'elica": per spiegare al meglio la sua funzione si pensi ad un aereo ad elica o turboelica (in gergo "turboprop"), sul quale il passo variabile rappresenta le funzioni analoghe del cambio dell'automobile, poiché aumentando l'inclinazione incidente delle pale rispetto il flusso di aria se ne aumenta la portata stessa e si permette al motore di funzionare ad un numero di giri più basso e risparmiare così carburante. Similmente, su un impianto idroelettrico, le pale vengono inclinate per adattare il più possibile la portata di acqua disponibile al numero di giri richiesti dall'alternatore, in relazione alla coppia e cercando di massimizzare il rendimento stesso; in tal caso infatti la necessità è che l'alternatore abbia una velocità angolare costante, dipendente dalla frequenza dell'energia elettrica immessa in rete e dal numero di poli dell'avvolgimento. Sicuramente se il rendimento non è al massimo non si perde denaro in carburante, ma si sfrutta di meno il lavoro idrico, perciò conviene sempre cercare di non sprecare l'energia disponibile.



**Figura 2.1 - Sezione tridimensionale di una turbina Kaplan**

## 2.1 Le tipologie di turbina

Al fine di realizzare un paragone e indagare sui perché si sia scelta una Kaplan, nel seguito vengono presentate le principali sette tipologie di turbine disponibili sul mercato, e cioè:

### - Pelton:

è utilizzata per le centrali idroelettriche sui bacini alpini, dato che per funzionare necessita di un dislivello molto elevato (da un minimo di 15 metri fino a salti di un chilometro e mezzo) ed è capace di elaborare solo portate relativamente ridotte.

È la turbina ad azione avente maggior rendimento, è economica poiché molto semplice (il costo è per

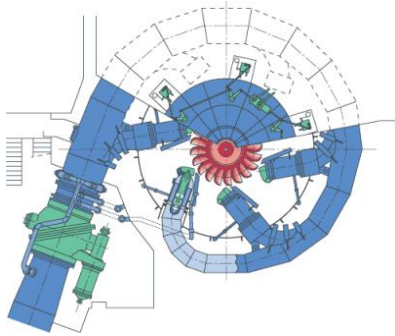


Figura 2.3 - Schema funzionale delle turbine Pelton

la quasi totalità impiantistico, per le opere edili ed idrauliche) e riesce a resistere alle condizioni estreme di pressione a cui è sottoposta; si basa sul principio fisico di trasformare l'energia di pressione derivante dal salto geodetico in energia cinetica grazie ad uno o più ugelli che convogliano il flusso sulle pale aventi la caratteristica forma a cucchiaio.

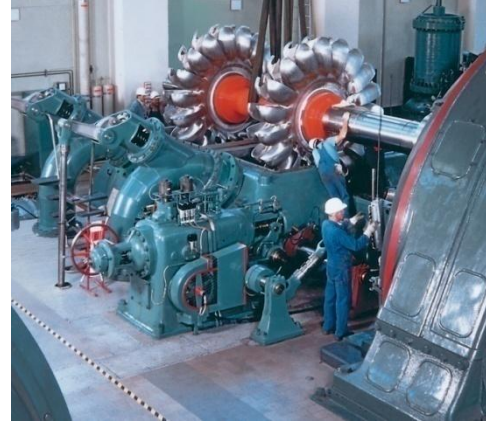


Figura 2.2 - Le giranti Pelton

### - Turgo:

diretta discendente della Pelton, funziona con lo stesso principio di azione ma rispetto a questa presenta un rotore più economico da realizzare ed è in grado di elaborare maggiori portate d'acqua, permettendo di contenere i costi di alternatore ed installazione. Il



Figura 2.5 - Un'installazione Turgo

motivo per cui si installano le Pelton per impianti di grandi dimensioni e non le Turgo risiede nel rendimento minore che queste ultime presentano. Infatti anche se la differenza di punti percentuale può sembrare ridotta, pensandola applicata a vari megaWatt di potenza essa è fonte di consistenti perdite. Come dislivello, tale turbina si sovrappone all'intersezione tra Pelton e Francis.



Figura 2.4 - La girante Turgo

### - Francis:

a differenza delle precedenti, essa funziona a reazione, sfrutta cioè direttamente la pressione dell'acqua per generare lavoro; è il distributore che conferisce la corretta direzione al fluido che investe le pale e non sono presenti ugelli, solo una chiocciola per gestire la corretta portata. Al giorno d'oggi è la turbina più utilizzata, permettendo di lavorare con dislivelli minimi di dieci metri fino ad un massimo di 400 metri, e portate molto consistenti.



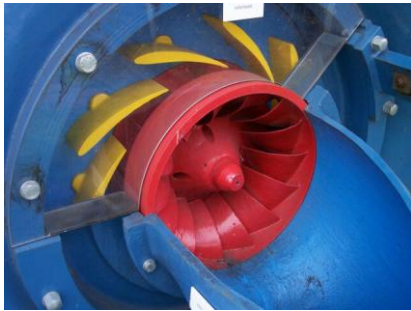


Figura 2. 6 - La Francis ed il suo distributore

Importante è l'apporto del diffusore posto a valle della turbina, che permette di trasformare l'energia cinetica residua in energia di pressione sfruttando anche il salto tra la turbina stessa ed il pelo libero dell'acqua. Non è regolabile come la Pelton, per questo è utilizzata per carichi di base, per le richieste energetiche di punta si utilizzano altre turbine.



Figura 2.7 - La girante Francis e la chiocciola

- **Banki:**

di estrema semplicità costruttiva e dai costi molto ridotti se rapportati agli altri impianti, permette l'installazione anche con minime disponibilità economiche. Il suo punto di forza consiste nel fatto che la sua efficienza rimane pressoché costante per varie condizioni di funzionamento ed è quindi molto versatile, per contro però presenta un rendimento più basso di ogni altra turbina.



Figura 2.8 - La girante Banki

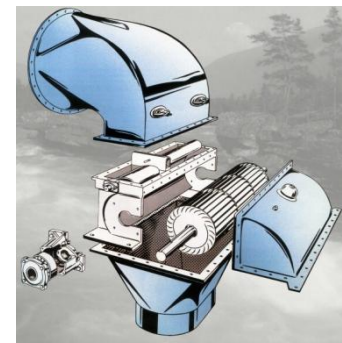


Figura 2.9 - Schema costruttivo di una Banki

- **Kaplan:**

il principio base è analogo alla Francis, ma in questo caso la girante assume la vera e propria forma di un'elica. Analizzata nel dettaglio più avanti, essa funziona per bassissimi dislivelli ma portate molto elevate, rendendola adatta (in parallelo alla Francis) per impianti idroelettrici fluviali.



Figura 2.10 - La girante Kaplan

- **ad elica fissa:**

è il modello di Kaplan estremamente semplificato, dove i palettamenti a passo variabile sono sostituiti con quelli a passo fisso, per risparmiare il più possibile sull'investimento iniziale ed ammettendo però un rendimento più basso. Per questo in molti impianti si crea una serie di turbine ad elica fissa funzionanti a regime costante ed una Kaplan finale che permette un certo grado di regolazione.



Figura 2.11 - La turbina ad elica fissa

- **a bulbo:**

sempre derivata dalla Kaplan, è una turbina dai costi impiantistici estremamente ridotti poiché viene inserita direttamente all'interno della tubazione, con l'alternatore in coda alla turbina. Una sua particolarità è che riesce a funzionare per entrambi i versi di percorrenza del fluido; ad esempio, le turbine impiegate per l'energia maremotrice (si sfrutta il moto delle maree tradotto in dislivelli tra due enormi bacini d'acqua, di cui uno rappresentato dal mare o dall'oceano) possono unicamente essere di questo genere.

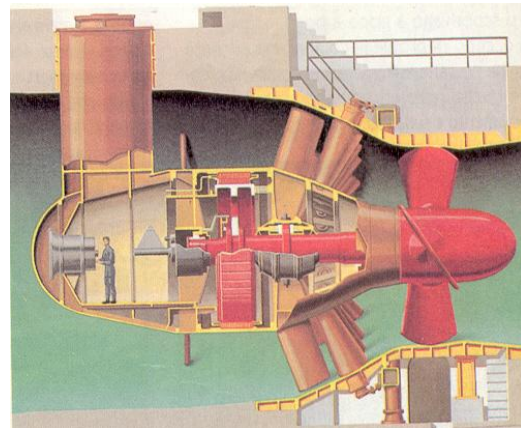


Figura 2. 12 - La turbina a bulbo

La turbina utilizzata per l'impianto in questione è, come già indicato, un modello Kaplan ad asse orizzontale, di dimensioni non elevate poiché l'impianto stesso si colloca nell'ambito mini-idroelettrico, avendo una potenza nominale di 120 [kW]. Nel seguito sono presentati i motivi della scelta di tale turbina, economici e idrodinamici, i perché si sia scelta la conformazione a distributore fisso e passo variabile, dopodiché si affronta la trattazione teorica, partendo da una generica analisi energetica e idraulica per arrivare nello specifico ai triangoli di velocità propri di questo modello di turbina.



## 2.2 La scelta

Citando testualmente il trafiletto dedicato al tipo di turbina da impiegare, la “Lumiei Impianti” enuncia in tal modo le modalità di scelta:

“per salti superiori ai 60 metri Lumiei Impianti impiega turbine tipo Pelton, da uno a sei getti, che permettono di ottenere buoni rendimenti a qualsiasi variazione di portata. Le giranti vengono realizzate in fusione unica di acciaio inossidabile di qualità e resistenza superiori. Le turbine di tipo Francis, ad asse verticale o orizzontale, vengono realizzate da Lumiei Impianti per salti fino ai 100 metri. In questi impianti il flusso dell'acqua viene regolato da un distributore che compensa le fluttuazioni e mantiene sempre elevati i rendimenti. Le giranti sono realizzate in fusione unica di acciaio inossidabile. Per salti inferiori ai 20 metri ma di grande portata Lumiei Impianti adotta turbine tipo Kaplan, dotate di distributore di flusso e di un sistema automatico di regolazione delle pale per adeguare l'impianto alle variazioni di portata”.

La sovrapposizione tra i vari range di funzionamento viene risolta con un'analisi sulla portata e sugli effettivi benefici dell'uno e dell'altro tipo. La turbina Pelton è utilizzata nei dislivelli più alti essendo in grado di sopportare pressioni dell'acqua molto elevate, mentre è sconsigliata per salti bassi perché la girante assumerebbe una velocità troppo ridotta. Per aprire una piccola parentesi sulle entità delle pressioni, considerando un salto (massimo) di un chilometro e mezzo e che un bar equivale a circa dieci metri di colonna d'acqua, si arriva ad una pressione all'ugello di 150 [bar]; pensandoli in piccola scala risultano gestibili, ma se si aumentano le dimensioni dell'impianto e delle tubazioni, ecco che le forze in gioco diventano enormi. Una soluzione intermedia è rappresentata dalle Francis, le più utilizzate odiernamente.

Per questo impianto è stata invece impiegata una Kaplan ad asse orizzontale a singola regolazione (le pale della girante possono assumere due posizioni), perché per il dislivello di 5,6 metri e la portata di 2,5 metri cubi al secondo era l'unica scelta possibile in termini di rendimento, di salto utile e soprattutto di investimento economico. Un discorso particolare va fatto per la scelta di adottare una Kaplan a regolazione singola, o semi-Kaplan: per distinguere le varie classi, si enuncia che quando sia le pale della girante che quelle del distributore sono regolabili la turbina è detta a doppia regolazione, mentre quando le pale del distributore sono fisse si parla di regolazione singola o, più comunemente, di semi-Kaplan. In condizioni di salto e di portata costanti è possibile utilizzare delle Kaplan che, non possedendo regolazioni né sul distributore né sulla girante, sono dette “turbine ad elica”. Le Kaplan a doppia regolazione sono molto funzionali quando si hanno delle variazioni rilevanti sia nella portata che nel salto, mentre le semi-Kaplan sono ben adattabili ai cambiamenti di portata, ma non ad importanti variazioni di salto. Abbandonando il distributore il flusso effettua una curva di 90° per entrare nella girante in direzione assiale. Il sistema di controllo e regolazione è progettato in maniera tale da mantenere elevati i rendimenti della macchina al variare dei salti e delle portate, anche contemporanei, agendo simultaneamente sia sulle pale della girante che su quelle del distributore (nel caso di Kaplan a doppia regolazione). La regolazione avviene in situazione di macchina in funzione, grazie ad un meccanismo appositamente studiato per azionare la rotazione delle pale della girante dall'interno dello spazio vuoto attorno all'asse della turbina.

Alla luce di queste considerazioni e contestualizzando il discorso, avendo una variazione di quota pressoché nulla dato che il pelo libero, se non di pochi centimetri, rimane invariato, la scelta migliore consiste nell'utilizzo di una Kaplan a singola regolazione che, grazie al meccanismo del “passo dell'elica”, riesce ad adattarsi ottimamente alle variazioni di portata mantenendo costante il numero di giri all'albero. Ovviamente la quantità di energia pro-

dotta sarà proporzionale alla portata istantanea, ma è l'alternatore stesso che gestendo la coppia conferisce il corretto andamento del numero dei giri; la regolazione è fatta per mantenere alto il rendimento a quel dato regime di rotazione, che invece è costante.

## 2.3 La teoria

### L'equazione generalizzata del moto dei fluidi, nella forma euleriana

Per introdurre al meglio lo studio fluidodinamico che scenderà sempre più nello specifico con l'avanzare di questo capitolo, si enuncia il principio di conservazione dell'energia. Esso è anche il primo della termodinamica e può essere espresso in due forme fondamentali, quella termica e quella meccanica; per l'ambito di questa tesi la seconda espressione è l'unica utilizzata (non essendo presenti differenze termiche utili al fine della produzione energetica), ma con la prima è possibile capire al meglio le varie semplificazioni attuate. Per queste formule si considera lo scambio di lavoro e calore tra due superfici (chiamate 1 e 2) di un sistema chiuso (che quindi non scambia massa con l'esterno ma solo calore e lavoro). Convenzionalmente, per definizione, il lavoro è positivo se viene svolto dal sistema (dal sistema all'ambiente) mentre il calore lo è se viene assorbito dal sistema (dall'ambiente al sistema).

Nella forma termica:

$$g \cdot (z_2 - z_1) + \left( \frac{c_2^2 + c_1^2}{2} \right) + (u_2 - u_1) = q_{12} - l_{12}$$

Il primo è il termine gravitazionale, essendo "z" le quote di lavoro e "g" l'accelerazione gravitazionale; il secondo è quello cinetico, con "c" che rappresenta le velocità; il terzo riguarda l'energia interna, mentre "q" ed "l" rispettivamente il calore ed il lavoro scambiati dalle superfici di trasformazione. Come pure le seguenti, queste sono tutte grandezze intensive, espresse in [J/kg] e riguardanti perciò l'unità di massa.

Applicando il differenziale a tutti i termini, rendendo cioè infinitesima la trasformazione, si ottiene:

$$gdz + cdc + du = \delta q - \delta l$$

I differenziali non sono esatti poiché dipendono dal cammino percorso durante le trasformazioni e quindi dalla successione di stati. Per esempio, per un gas perfetto, l'energia interna dipende unicamente dalla temperatura.

Prescindendo dalle condizioni di moto del fluido e dalla sua quota e considerando il fatto che il termine inerente le perdite trasforma l'energia meccanica in termica, ci si riconduce alle possibili cause di variazione di energia interna, la quale può essere pensata come:

$$du = dq + dR - dl$$

dove il termine in "R" riguarda appunto le perdite, mentre "l" può essere così trattato:

$$\begin{aligned} dL &= F_x dx + F_y dy + F_z dz = \\ &= p [\Delta y \Delta z dx + \Delta x \Delta z dy + \Delta x \Delta y dz] = \\ \{ \text{essendo } V &= \Delta x \Delta y \Delta z \text{ allora } dV = \Delta y \Delta z dx + \Delta x \Delta z dy + \Delta x \Delta y dz \} \\ &= p dV = p m dv. \end{aligned}$$

In particolare, "V" è il volume mentre "v" è il volume specifico espresso in [m<sup>3</sup>/kg]. Perciò, essendo anche "l" un lavoro specifico, "m" si semplifica:

$$dl = p dv$$

$$\text{Quindi } du = dq + dR - p dv$$

Sostituendo l'espressione di "u" ottenuta dalla forma termica (  $du = dq - dl - c dc - g dz$  ) a quella sopra, si arriva alla formulazione del primo principio in forma meccanica:

$$dl = p dv - dR - c dc - g dz$$

Per portare il tutto nel caso d'interesse e fare perciò compiere lavoro al fluido e non al sistema, è necessario invertire i segni (eccezione fatta per le perdite che lavorano sempre in senso contrario a quello richiesto). Al lavoro teoricamente ottenibile vanno perciò sottratte le perdite, ed esso aumenta se aumentano quota e velocità. Finora è stato comunque consi-

derato un sistema chiuso, che può rappresentare macchine in cui il fluido rimane isolato (le cosiddette macchine volumetriche, come ad esempio pompe volumetriche, motori a combustione interna,...) ma non quelle oggetto di questa tesi (le macchine dinamiche, come turbine e pompe centrifughe), dove non sono presenti separazioni fisiche tra la sezione di ingresso e quella di uscita. Per spiegare questo concetto teorico, si può pensare come una macchina volumetrica possa funzionare (sempre nella teoria) ad un qualunque numero di giri, dato che il volume di fluido spostato è sempre lo stesso, mentre una macchina dinamica solo sopra ad un minimo dettato da varie condizioni.

Nel seguito si sfruttano i principi sopra enunciati e si applicano ad un sistema aperto, dove anche la massa trasporta energia. Si pensi ad una superficie di controllo, denominata “S”, ed una sezione di ingresso “1” ed una di uscita “2”. L’analisi viene fatta per un arco di tempo  $\Delta t$ , considerando inoltre la conservazione della massa per cui la quantità di materia entrante è uguale a quella uscente. Per arrivare all’espressione finale, si parte considerando il contributo energetico del campo di pressioni su di una porzione di fluido di massa “dm”:

$$dL = p \Omega dx, \text{ dove i termini sono rispettivamente la pressione, l'area su cui essa agisce e la sua direzione. Semplificando si ottiene (essendo } \Omega \text{ pensabile come } dy dz):$$

$$dL = p dV \quad \rightarrow \quad dl dm = p v dm \quad \rightarrow \quad dl = p v$$

In forma macroscopica, il primo principio si presenta così:

$$g \cdot z_1 + \frac{c_1^2}{2} + u_1 + p_1 v_1 + q_{12} = g \cdot z_2 + \frac{c_2^2}{2} + u_2 + p_2 v_2 + l_{12}$$

Introducendo inoltre l’espressione dell’entalpia (con “u” che rappresenta l’energia interna, “p” la pressione e “v” il volume specifico):

$$h = u + pv$$

si arriva all’espressione del primo principio della termodinamica per sistemi aperti in forma termica:

$$g dz + c dc + dh = dq - dl$$

Dato che ( $du = dq + dR - p dv$ ) e ( $dh = du + p dv + v dp$ ), allora ( $dh = c dc + v dp + dR$ ); sostituendo il tutto nella forma termica è possibile estrapolare quella meccanica:

$$g dz + c dc + v dp + dR + dl = 0$$

Essa prende anche il nome di espressione generalizzata del moto dei fluidi. Da quest’ultima è possibile anche ricavare le potenze in gioco semplicemente moltiplicando per la portata massica, cioè per un termine espresso in [kg/s].

Al fine di indagare la migliore forma possibile delle pale, è necessario considerare il fatto che nella macchina sono presenti una parte mobile (la girante) ed una fissa (la carcassa), ed in base a questi criteri le espressioni si modificano poiché si passa da un sistema inerziale ad uno non inerziale. L’osservatore fermo o che si muove con un moto in assenza di accelerazioni (il moto rettilineo uniforme) è l’osservatore solidale al distributore, cioè ai palettamenti fissi della macchina; quello mobile, non inerziale, è invece solidale alla girante e ai palettamenti della turbina.

Per l’osservatore inerziale:

$$g dz + c dc + v dp + dR + dl = 0$$

Per l’osservatore non inerziale, solidale alla girante e che si muove con velocità “ $\omega r$ ”:

- 1) Data la presenza di un moto rotazionale, è necessario valutare l’effetto centrifugo:

$$a_c = \omega^2 r$$

con “ $\omega$ ” che rappresenta la velocità angolare del rotore ed “r” il suo raggio.

Considerando una velocità di rotazione angolare costante ( “u” in questo frangente fa le veci della velocità di trascinamento dipendente dalla posizione radiale, mentre

“ $F_c$ ”, “ $L_c$ ” e “ $l_c$ ” rispettivamente la forza, il lavoro ed il lavoro specifico centrifughi):

$$\omega = \text{costante} \rightarrow \omega r = u \rightarrow \omega dr = du$$

$$F_c = m \omega^2 r \rightarrow dL_c = m \omega^2 r dr \rightarrow dl_c = \omega^2 r dr \rightarrow dl_c = u du$$

- Il contributo “ $u du$ ” è il fattore di cui l’osservatore fisso non risente;
- Il termine legato all’energia potenziale centrifuga è negativo poiché cala all’aumentare della distanza dal centro di rotazione, trasformandosi in velocità di trascinamento

2) Rispetto l’osservatore fisso, l’osservatore mobile non vede la velocità assoluta “ $c$ ” bensì la sua componente relativa al palettamento mobile, denominata “ $w$ ”

$$c dc \rightarrow w dw$$

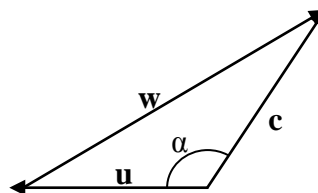
3) L’osservatore mobile è fermo rispetto la girante, secondo il suo punto di vista perciò il fluido non scambia lavoro con le palette

L’equazione alla quale si giunge fatte queste ipotesi è la seguente:

$$- u du + w dw + g dz + v dp + dR = 0$$

### I triangoli di velocità

Con le relazioni presenti fra i vettori velocità “ $u$ ” (velocità di trascinamento), “ $c$ ” (velocità assoluta) e “ $w$ ” (velocità relativa) è possibile creare dei triangoli di velocità, così chiamati perché la somma vettoriale di questi elementi è e deve essere nulla. Una delle relazioni fondamentali è rappresentata dal fatto che la velocità assoluta è la somma di velocità relativa e di trascinamento, e per convenzione si assume un angolo “ $\alpha$ ” definito tra i vettori “ $u$ ” e “ $c$ ”, a partire da “ $u$ ” e procedendo in senso orario.



L’equazione che si ricava seguendo i versi per chiudere il triangolo è:

$$c dc + u du - w dw + dl = 0$$

Integrando tra le sezioni di ingresso “1” e uscita “2” della girante ottengo l’espressione del lavoro in relazione alle energie cinetiche:

$$l = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} + \frac{u_2^1 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}$$

Da questa funzione si evince come, per massimizzare il lavoro nelle macchine motrici (quelle di interesse per questa tesi), sia necessario avere:

- una velocità assoluta entrante molto alta ed uscente molto ridotta
- un moto centripeto, il cui verso tenda cioè all’asse rotativo della turbina
- un’accelerazione del fluido lungo i canali palari

Nelle macchine operatrici, invece, si converte l’energia cinetica in energia di pressione o comunque in un innalzamento di quota.

Tutte queste considerazioni non sono estremizzabili perché ad ogni effetto benefico ne corrisponde uno penalizzante o addirittura distruttivo. È il caso del distacco della vena fluida, per divergenti troppo spinti, che sfavorirebbe i rendimenti, oppure della cavitazione per le pompe, che ne distruggerebbe le giranti. Per tali motivi, studiando una macchina motrice od una operatrice, è necessario riferirsi al caso d’interesse, massimizzarne le prestazioni ed il rendimento per tale ambito ed ottimizzarne il funzionamento in questo senso. In parole

povere, far funzionare un impianto con macchine non esplicitamente costruite per quest'ultimo sarebbe motivo di perdite di energia, denaro e risorse.

Tornando all'espressione del lavoro rapportato alle energie cinetiche ed applicando tale relazione al triangolo di velocità unitamente al teorema di Carnot, si ottiene l'espressione del lavoro secondo Eulero:

$$\left. \begin{aligned}
 l &= \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} + \frac{u_2^1 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \\
 w_2^2 &= u_2^2 + c_2^2 - 2 u_2 c_2 \cos(\alpha_2) \\
 w_1^2 &= u_1^2 + c_1^2 - 2 u_1 c_1 \cos(\alpha_1)
 \end{aligned} \right\} l = u_1 c_1 \cos(\alpha_1) - u_2 c_2 \cos(\alpha_2)$$

Il lavoro è perciò positivo per macchine motrici, negativo per quelle operatrici. Una volta riuscito a definire l'angolo "α" e le velocità assoluta e di trascinamento, è possibile ricavare il lavoro senza conoscere la velocità relativa, della quale è sufficiente avere nozione della direzione per chiudere il triangolo delle velocità.

Ignorando il discorso delle turbine Pelton e Francis, dato che solo queste trattazioni richiederebbero capitoli a parte, si arriva direttamente all'applicazione della teoria sopra esposta alle turbine ad elica ed alle Kaplan.

Una regola generale empiricamente accettata riguarda la forma del condotto palare della girante stessa, che assume la forma di un condotto vero e proprio per grandi salti e portate piccole mentre risulta essere sempre più analogo ad un elica quando diminuiscono le prevalenze ed aumentano i salti. In particolare si utilizza l'angolo "α" e quello che è il grado di reazione, cioè l'entità della parte di reazione rispetto quella di azione e che viene matematicamente così espresso ("L" è il lavoro totale, "L<sub>a</sub>" il lavoro inerente l'azione):

$$\rho = \frac{L - L_a}{L}$$

Per angoli "α" piccoli, "ρ" ridotti e "c<sub>1</sub>" grandi, quindi, il lavoro di azione è prevalente e si è nella situazione di grandi salti e piccole portate; è il caso della Pelton. Portandosi nella situazione di prevalenza ridotta ma portata consistente, aumenta la velocità relativa del fluido e necessariamente il grado di reazione così come gli angoli "α" sono costretti a crescere, mentre "c<sub>1</sub>" a diminuire. Per questo passando da portate ridotte e grandi salti a portate consistenti e piccoli salti il moto del fluido diventa da radiale ad assiale, passando dalla tipologia Pelton fino alla turbina ad elica.

Per questo, nel contesto preso in esame per tale elaborato, rappresentato da un fiume dove relativamente la prevalenza è molto ridotta ma è possibile sfruttare una massiccia portata, la scelta migliore cade nell'ambito della turbina Kaplan.

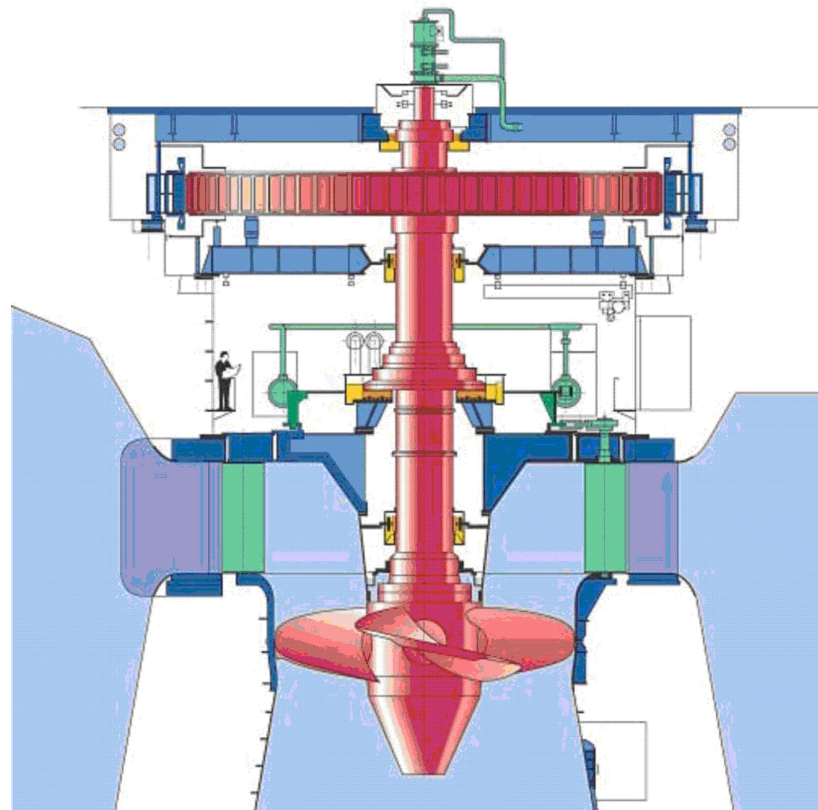


Figura 2. 13 - La struttura della turbina Kaplan

La velocità assoluta in ingresso è suddivisa in una componente assiale, necessariamente presente per consentire alla portata di fluido di attraversare la macchina, ed una tangenziale, dovuta al distributore. Prima del palettamento rotorico è presente una zona dove si instaura un vortice libero (la cui formulazione generica è “ $C r = \text{cost}$ ”; con “ $C$ ” che rappresenta il vortice libero), anch’esso somma di due contributi:

- il primo, dovuto al distributore, ha direzione tangenziale e la sua intensità dipende dalla distanza “ $r_c$ ” dal centro di curvatura del condotto:  
 $C_t r_c = \text{cost}$
- il secondo, dovuto alla curva che il fluido deve seguire per entrare nella girante, ha direzione assiale e dipende dalla distanza “ $r_r$ ” dall’asse di rotazione:  
 $C_a r_r = \text{cost}$

*notazioni:*

$c$  = velocità assoluta

$u$  = velocità di trascinamento

$w$  = velocità relativa

$a$  = componente assiale

$t$  = componente tangenziale

1 = sezione in ingresso al palettamento rotorico (IN)

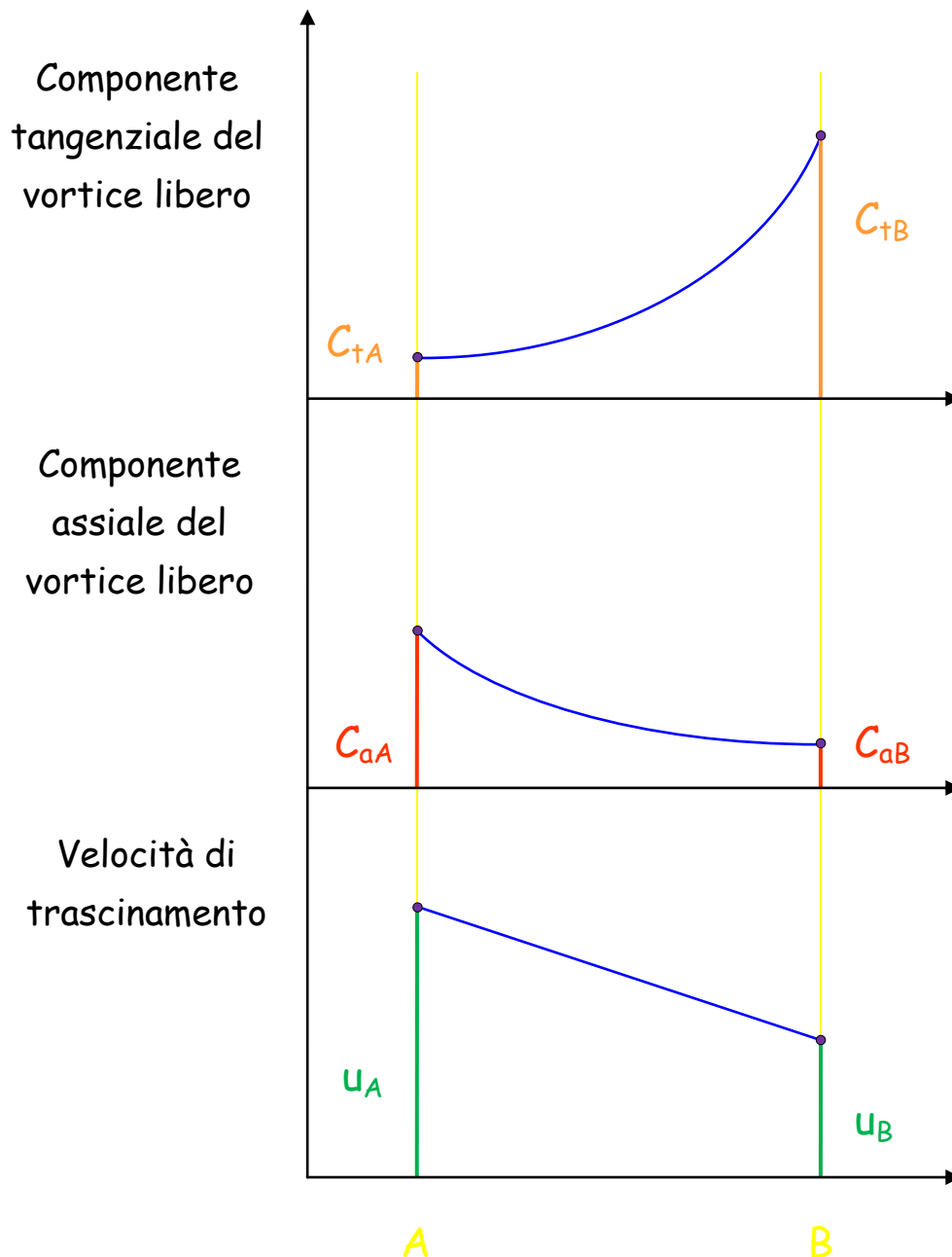
2 = sezione in uscita dal palettamento rotorico (OUT)

A = sezione esterna della girante, adiacente la carcassa

B = sezione interna della girante, adiacente il mozzo

Nella figura sottostante si presentano gli andamenti delle velocità. Sulle ordinate si riportano gli andamenti della componente tangenziale e assiale del vortice libero, nonché quello della velocità di trascinamento; sulle ascisse è evidenziato invece il posizionamento radiale.

Figura 2.14 - Andamento delle velocità sul profilo della pala



Il diffusore ha lo scopo di recuperare energia cinetica dal fluido trasformandola in pressione, e copre un ruolo di fondamentale importanza perché viste le enormi portate si vengono a formare in uscita delle velocità molto elevate, velocità ancora contenenti grandi quantità d'energia sfruttabile. Dato che il diffusore non può recuperare le componenti non assiali, in uscita dalla girante le componenti tangenziali devono essere nulle.



Tabella 2.1 - I triangoli di velocità della Kaplan

velocità periferica in ingresso	Velocità al mozzo in ingresso
velocità periferica in uscita	velocità al mozzo in uscita

Seguendo la notazione prima utilizzata si introducono le seguenti uguaglianze nelle velocità, utili al fine di dare la forma alle pale idrauliche:

$$c_{2A} = c_{1aA} \quad \{ \text{perché la portata è costante e le aree di passaggio uguali} \}$$

$$c_{2B} = c_{1aB} \quad \{ \text{perché la portata è costante e le aree di passaggio uguali} \}$$

$$u_{1A} = u_{2A} \quad \{ \text{perché i diametri sono gli stessi} \}$$

$$u_{1B} = u_{2B} \quad \{ \text{perché i diametri sono gli stessi} \}$$

### La forma delle pale

La pala assume una forma molto svergolata, anche in relazione al diametro della girante, e verso il mozzo essa diventa molto massiccia per via della resistenza alla flessione che deve presentare, con forze ammontanti a centinaia di migliaia di [ N ]. Fondendo infatti i triangoli di velocità e considerando che la velocità relativa su di essi riprodotta è quella tangente alla pala in quella determinata posizione, fisicamente si ottiene una geometria con tali similitudine:

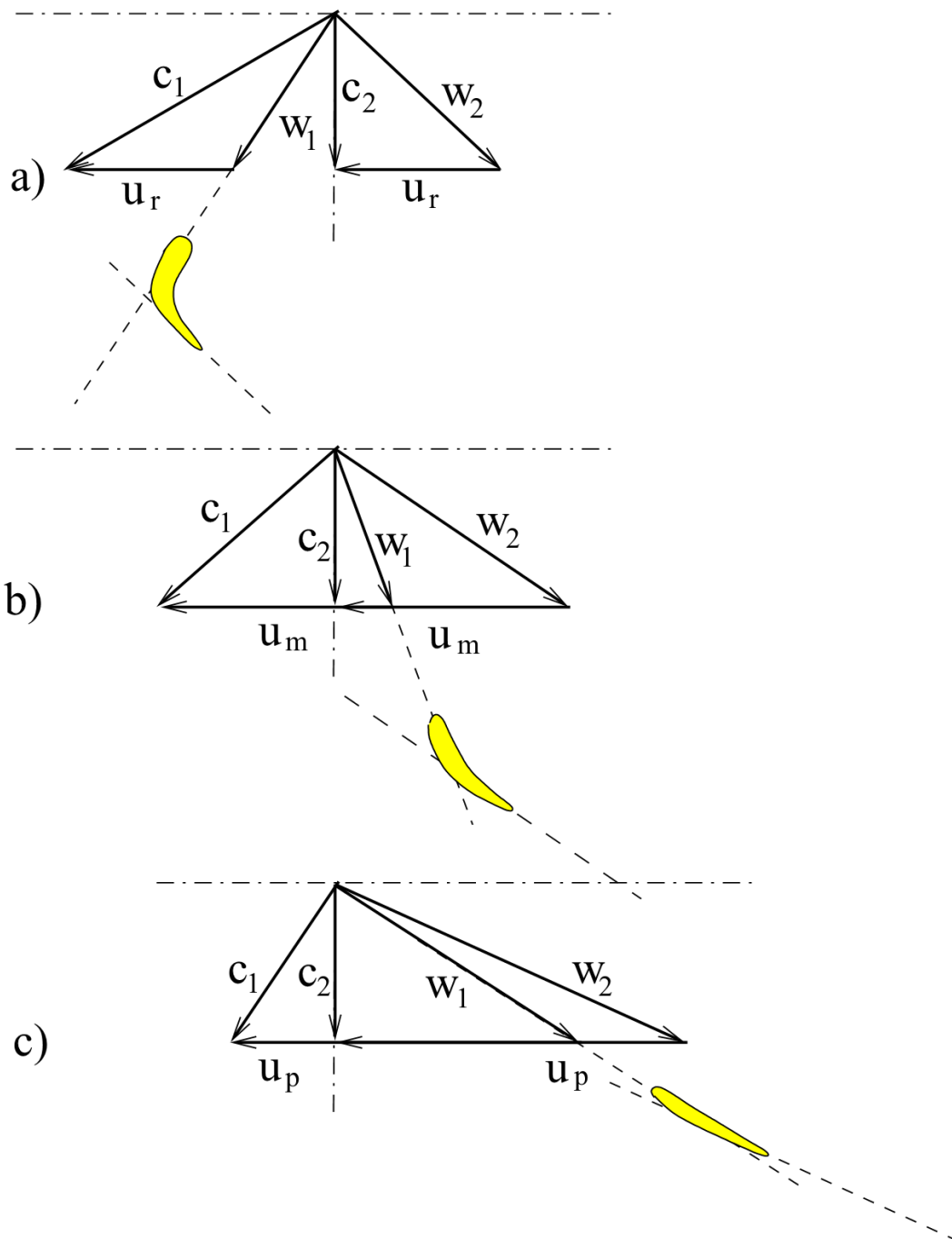


Figura 2.15 - Lo svergolamento delle pale

In particolare il pedice “r” simboleggia la radice, “m” la mezzeria e “p” simboleggia la punta della pala, cioè si passa dal mozzo alla periferia.

### La regolazione ed il range di funzionamento

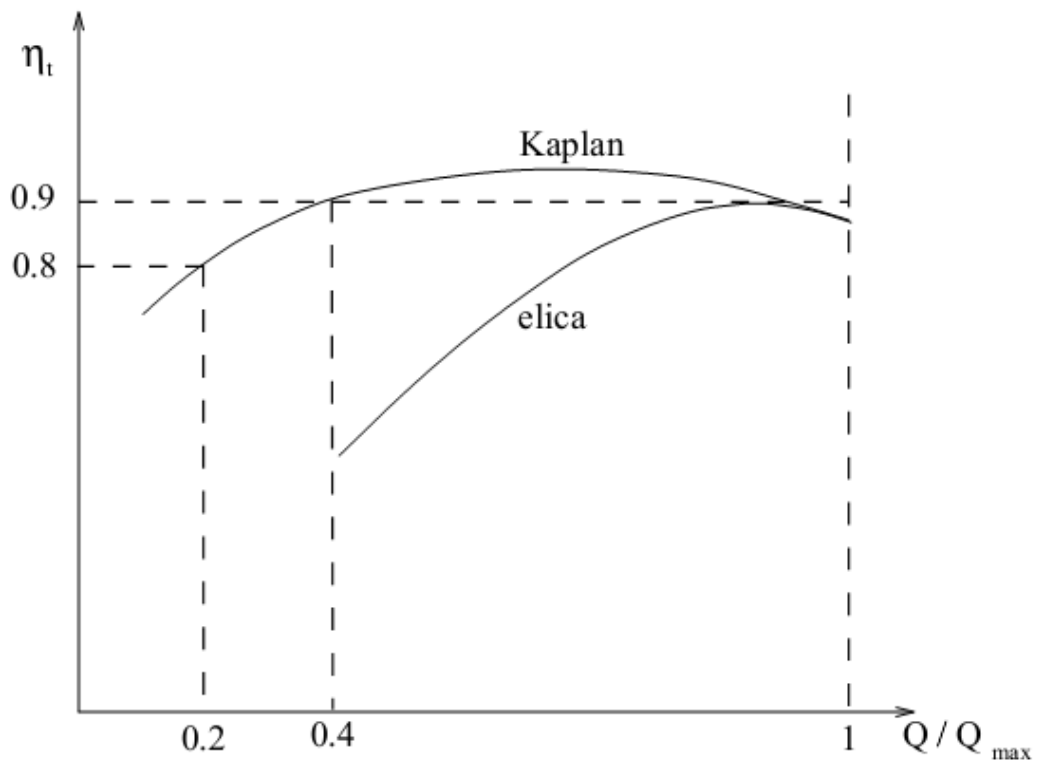
Il campo di funzionamento per una turbina ad elica è molto ristretto, per non dire puntuale. La regolazione è assente e la capacità di adattarsi è pessima, variando infatti poco le condizioni di funzionamento si ha un crollo del rendimento dovuto al fatto che tutte le direzioni delle velocità si sfasano. Considerando, ad esempio, un “n” costante dato dall’alternatore ed un aumento della portata, si nota come la velocità assoluta in ingresso aumenti e questo porti a crescere anche la velocità relativa sulle pale, che determina una mancanza di assoluta assialità in uscita dalla girante e quindi un mancato recupero cinetico nel distributore.

Per tale turbina le curve di rendimento sono molto ravvicinate ed inclinate; questo porta a definire il fatto che l’utilizzo di queste macchine deve essere sfruttato per la produzione di energia elettrica di base e non per carichi di punta.

Per far fronte a questo grande difetto si sono perciò studiate le turbine Kaplan che presentano un passo variabile e sono perciò in grado di regolarsi ottimamente in base all’entità della portata di un dato istante. Grazie all’accorgimento dei palettamenti orientabili si apportano benefici alle velocità in ingresso, mantenendo la tangenza alla velocità relativa, e si riescono ad annullare le componenti non assiali in uscita. Detto in parole povere, è come se si potesse cambiare la girante per adattarla alla portata; in tal modo il campo di funzionamento è molto più esteso, anche se il tutto risulta essere molto costoso perché il meccanismo presente nel mozzo deve essere molto robusto viste le enormi forze in gioco.

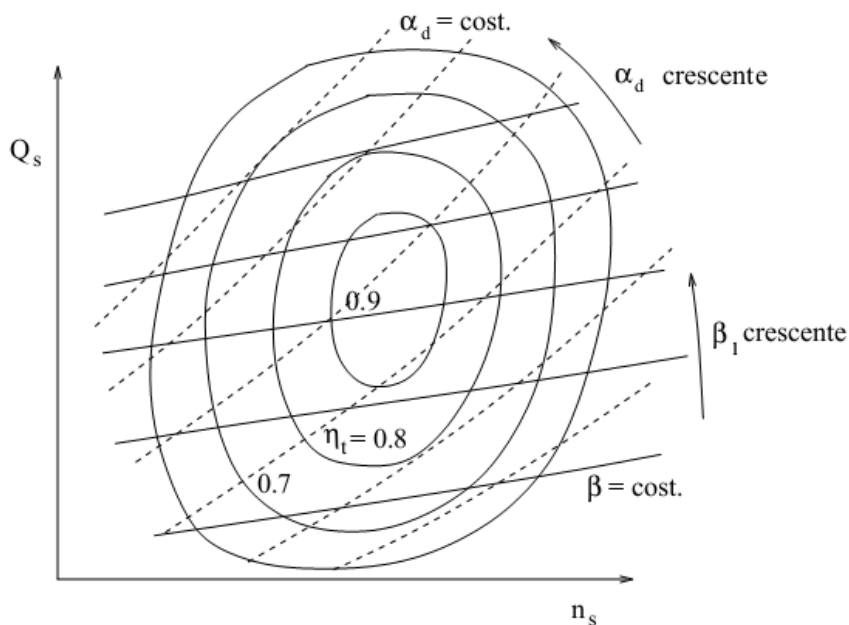
Il grafico sottostante illustra questo fatto, ipotizzando infatti di modificare la portata, le due tipologie di turbine presenterebbero rendimenti molto diversi:

**Figura 2.16 - Paragone tra le variazioni di rendimento di una Kaplan e di una turbina ad elica**



Denominando “ $\alpha_d$ ” l’angolo di incidenza delle pale del distributore e “ $\beta_1$ ” quello delle pale della girante, grazie a questo diagramma collinare si nota invece come ci si possa sempre mantenere in condizioni di massimo rendimento:

**Figura 2.17 - Diagramma collinare del rendimento**



Fatte tutte le analisi economiche del caso, si vede come convenga utilizzare la conformazione di una serie di turbine ad elica, molto economiche, con una turbina Kaplan finale per i carichi di punta.

Nel contesto in esame la turbina adottata è una “semi-Kaplan”, la regolazione è univoca ed è attuata sulle pale della girante; questo perché non si hanno variazioni consistenti di dislivello ma solo di portata ed economicamente è la scelta più vantaggiosa.

## 2.4 Le parti della turbina

Nel seguito sono presentati nel dettaglio gli elementi fondamentali per permettere il funzionamento della turbina, e cioè il distributore, la girante ed il diffusore. Ognuno di essi viene progettato e costruito per ottenere, con un certo investimento iniziale ed una certa potenzialità desiderata come dati di input, il massimo rendimento possibile ed un ridotto impatto ambientale.

### Il distributore

Esso presenta la fondamentale funzione di conferire il corretto direzionamento al filetto fluido entrante nelle palette della girante, considerando la forma dei palettamenti ed il vortice libero che si viene a formare per via della curva antecedente la girante. Si rende necessario perché la macchina presenta un funzionamento esclusivamente assiale ma, per regolare la portata e convogliarla su tutta la girante, viene adottata una chiocciola con profilo ad evolvente che conferisce al fluido un moto radiale; se ad esempio il tutto fosse racchiuso in una tubazione come per le turbine a bulbo, la girante sarebbe in serie al distributore.



Figura 2.18 - Il distributore a palettamenti fissi

Per calcolare la portata in massa conoscendo la sezione di uscita del distributore, si procede in tale modo:

$$G = \rho \cdot 2\pi \cdot r_d \cdot H \cdot c_{rd}$$

dove “G” è la portata in massa, “ $\rho$ ” il peso specifico, “ $r_d$ ” la distanza tra l’asse di rotazione della macchina e la sezione di uscita del distributore, “H” l’altezza della sezione del distributore e “ $c_{rd}$ ” la velocità assoluta radiale data dal prodotto tra la velocità assoluta ed il seno dell’angolo  $\alpha_d$  formato tra la direzione della velocità periferica e quella dell’assoluta.

### La ruota Kaplan

Essa può assumere un’enorme quantità di conformazioni diverse, nel caso in oggetto essa possiede quattro pale le quali possono assumere due posizioni a seconda dell’entità della portata. È posta con l’ogiva in controcorrente, per avere il minore distacco di vena possibile e dare il minimo spazio alle perdite di carico dovute all’introduzione di ostacoli all’interno della vena fluida. La ruota Kaplan rappresenta il cuore dell’impianto, la sua funzione è quella di tramutare l’energia cinetica del fluido in energia meccanica resa disponibile all’alternatore collocato in serie. Essendo una turbina a reazione, la trasformazione da potenziale a cinetica dell’energia del fluido avviene nel distributore ma anche nel diffusore, elementi quindi fundamenta-

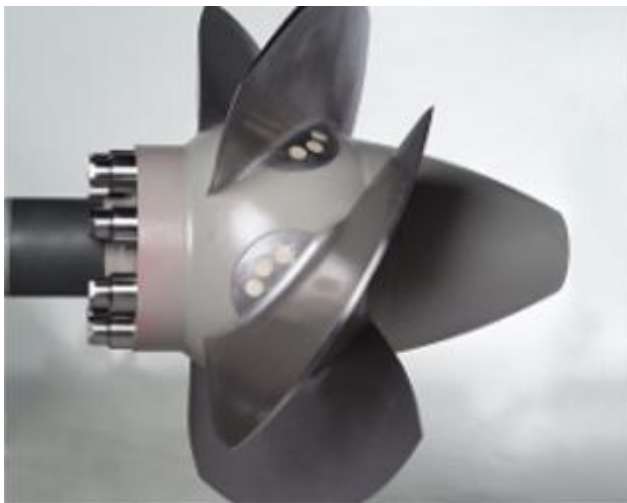


Figura 2.19 - Le pale regolabili della ruota Kaplan

li per ottenere il massimo dalla massa di acqua; detto in parole povere, il fluido spinge le pale quando arriva sulla ruota, dopodiché le tira quando entra nel diffusore. Questo è reso possibile dal fatto che anche a valle della ruota si trova una quota di energia non ancora sfruttata e che viene così recuperata. La conformazione ad elica della ruota Kaplan è corretta per bassi dislivelli ed alte portate, ed il fluido deve avere una componente di velocità unicamente assiale; l'estrema conseguenza di questo discorso è quello di collocare una turbina direttamente dentro la tubazione, come la turbina a bulbo. Dalla portata transitata dal distributore si può calcolare la potenza all'asse turbina:

$$Q = g \cdot \eta \cdot h \cdot G$$

dove la potenza  $Q$  equivale al prodotto, rispettivamente, dell'accelerazione di gravità, del rendimento della Kaplan idraulico e meccanico, del dislivello tra i peli liberi (piezometrico) e della portata in massa (per l'acqua a temperatura ambiente parlare di portata in massa o in volume è approssimativamente uguale, poiché un litro equivale ad un chilogrammo).

### Il divergente

Tale elemento impiantistico non è strettamente necessario, ma permette il recupero di molta dell'energia cinetica che andrebbe altrimenti persa allo scarico. La sua funzione, essendo posto successivamente alla turbina e subito prima dello scarico per la restituzione dell'acqua al letto del fiume, è quella di decelerare il fluido tramutando l'energia cinetica residua in energia di pressione negativa, in altre parole di creare una depressione che "tira" il fluido grazie alla forza gravitazionale. Il suo corretto dimensionamento permette perciò di recuperare molte perdite impiantistiche ed aumentare così l'energia prodotta.

I due rischi che si corrono, e dalle cui condizioni è necessario mantenere una certa distanza di sicurezza, sono il distacco della vena fluida e la cavitazione. Il primo non è distruttivo ma vanificherebbe la funzione del divergente, dato che il fluido non aderirebbe alle pareti e si creerebbe un ricircolo che annullerebbe la depressione; il secondo, invece, distruggerebbe l'impianto.

Si vuole aprire una piccola parentesi per spiegare la cavitazione, fenomeno presente e molto limitante in tutti gli ambiti tecnologici dove si tragga beneficio lavorando con depressioni spinte (basti pensare ai condensatori di un impianto a vapore): come tutti gli elementi, l'acqua possiede una pressione di vapore funzione della temperatura, cioè ad una data condizione termica e di pressione l'acqua sprigiona bolle di vapore andando in ebollizione. La caratteristica distruttiva di tale effetto, però, non risiede nell'ebollizione in sé ma nel fatto che in zone localizzate, dove la pressione è maggiore, le bolle di vapore implodono violentemente erodendo gradualmente le parti meccaniche vicine. Per questo, a lungo andare, la cavitazione potrebbe distruggere completamente la turbina.

Per evitarla, occorre garantire che in nessuna parte dell'impianto si scenda al di sotto della pressione di vapore; in particolare, la pressione minima è localizzata sull'estradosso delle pale, vicino alla sezione di uscita della girante. Detta "u" tale sezione, quindi, si può facilmente dimostrare che esiste un limite massimo per l'altezza "z" a cui può esser posta la sezione di uscita della girante rispetto il pelo libero del canale di scarico:

è necessario che  $p_{\min} > p_v$ , essendo  $\Delta p = p_u - p_{\min}$  si ha che  $p_u - \Delta p > p_v$ .

Applicando il teorema di Bernoulli tra la sezione di uscita della girante ed il pelo libero si ottiene:

$$\frac{p_u}{\gamma} = \frac{p_{atm}}{\gamma} - z - \frac{c_u^2}{2g} + h_{diffusore};$$

inserendo la disequazione riguardante la pressione di vapore:

$$z < \frac{p_{atm} - p_v}{\gamma} - \frac{\Delta p}{\gamma} - \frac{c_u^2}{2g} + h_{diffusore};$$

per semplificare i calcoli ed arrivare all'introduzione di un parametro  $\sigma$ , si raggruppano i termini inerenti la turbina in uno unico detto "h<sub>0</sub>":

$$h_0 = \frac{\Delta p}{\gamma} + \frac{c_u^2}{2g} - h_{diffusore};$$

semplificando si ottiene:

$$z < \frac{p_{atm} - p_v}{\gamma} - h_0;$$

introducendo:

$$\sigma = \frac{h_0}{H_{utile}}$$

e la correlazione sperimentale:

$$\ln \sigma = 1,67 \cdot \ln n_k - 10,74,$$

è possibile ricavare la "z" massima poiché, a ritroso, la correlazione restituisce un valore di "σ" minimo in funzione del numero di giri della turbina "n<sub>k</sub>"; con tale valore si ricava "h<sub>0</sub>" da cui è possibile, grazie all'intrinseca conoscenza della pressione atmosferica "p<sub>atm</sub>", della pressione di vapore "p<sub>v</sub>" e del peso specifico dell'acqua "γ" (tutti valori dipendenti dalla temperatura del fluido), calcolare l'altezza massima permessa per tale impianto. È consigliato anche un coefficiente di sicurezza, qualora si modifichino le condizioni al contorno, per evitare di distruggere il corpo turbina con l'innesco accidentale della cavitazione.

Per quanto riguarda il distacco della vena fluida e l'insorgere di zone di ricircolo, invece, è necessario prestare attenzione alla geometria del diffusore che, dovendo decelerare il fluido, presenta sezioni ad area crescente e quindi possiede una forma tronco-conica. Per evitare le problematiche appena indicate, la semiapertura di tale tronco di cono non deve eccedere i 6°.

Il diffusore, inoltre, può avere un asse rettilineo o curvo, a seconda della disponibilità di spazio a valle del corpo turbina. L'esecutivo della "Lumiei Impianti" mostra la scelta, personalmente ritenuta molto indicata, di uno scarico "ad S".

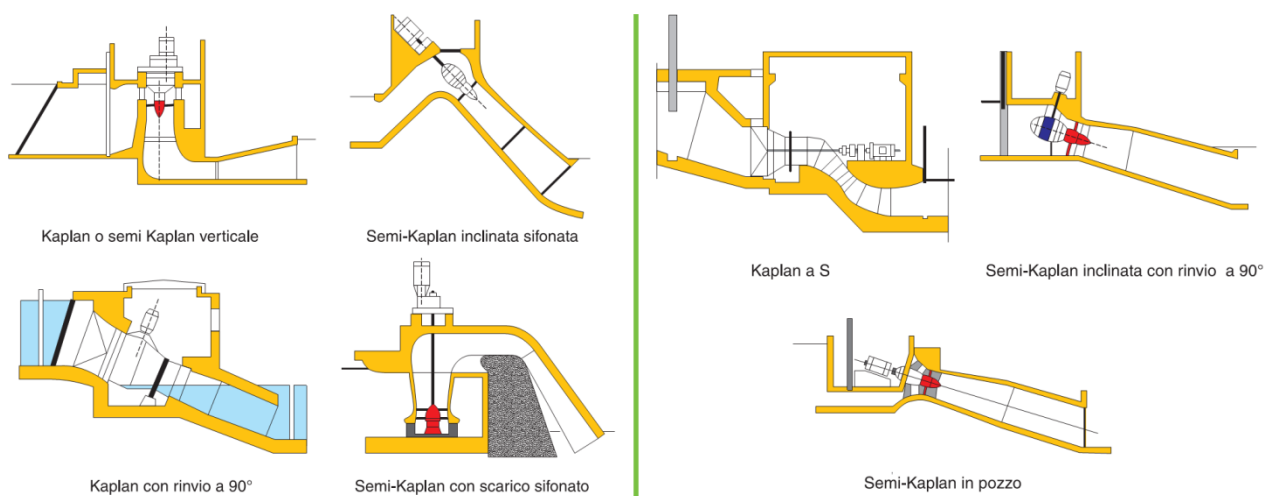


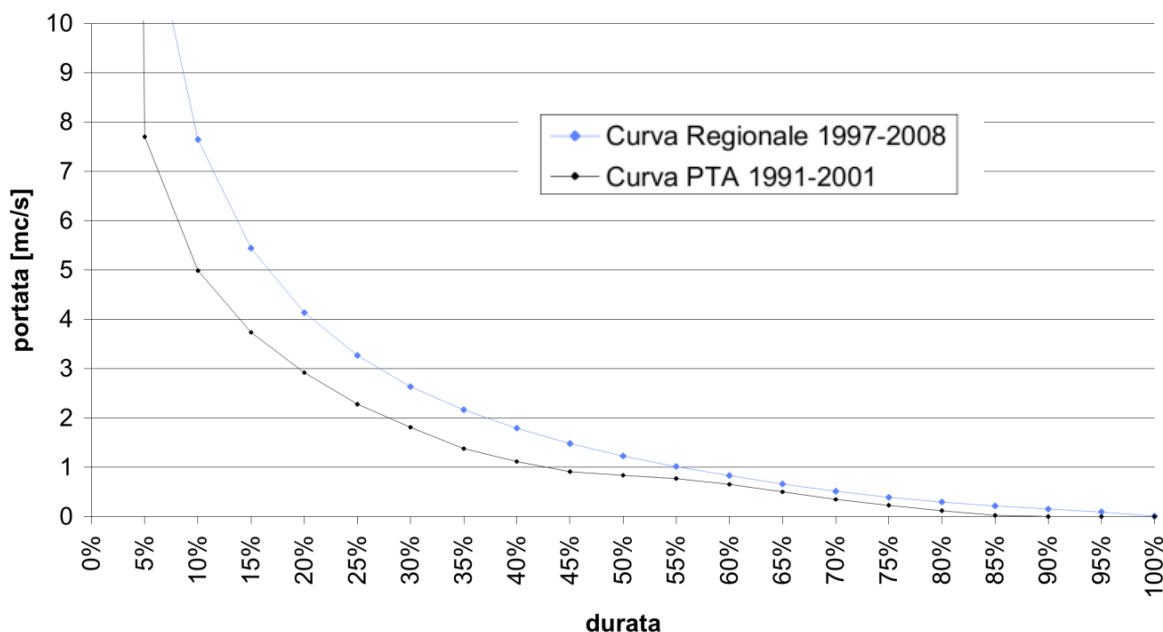
Figura 2.20 - Le conformazioni possibili per un impianto con turbina Kaplan

## 2.5 La disponibilità idrica

Il fiume dalle cui acque sarà possibile ricavare la necessaria energia cinetica per produrre elettricità presenta una portata idrica altamente variabile nel corso dei vari periodi annuali. Grazie a misurazioni effettuate per stilare il Piano di Tutela delle Acque (PTA) e, parallelamente, dalla regione, si sono compilate delle curve di durata riportanti la percentuale di giorni all'anno in cui si presenta uno specifico valore di portata.

Per il fiume Rabbi presentano questo andamento:

Figura 2.21 - Le curve di durata della portata



Grazie a tali informazioni si sono potuti redigere altri grafici con la stima delle potenze, differenziando il caso di un impianto che produca più di 100 chilowatt ed uno meno. La curva di durata assunta è quella più cautelativa, cioè quella presentata dal PTA. Sulla base del rilievo topografico, il salto utile risulta di 6 metri, sfruttando la presenza della briglia già costruita in loco. I parametri correttivi adottati sono i seguenti:

- massime perdite idrauliche: 5 %;
- perdite varie (fermi impianto, manutenzione, imprevisti): 5 %;
- efficienza del generatore: 90 %;
- disponibilità idrica (escluse chiusure durante le piene): 95 %.

Nel capitolo quinto, inerente l'impianto nella sua interezza, sarà trattata nel dettaglio la motivazione economica che ha spinto ad operare con una taglia di 120 [kW] di potenza, presentando varie soluzioni alternative e verificando l'effettiva convenienza di tale scelta. A titolo dimostrativo, per evidenziare le differenze più grossolane, si riportano di seguito alcuni dati.

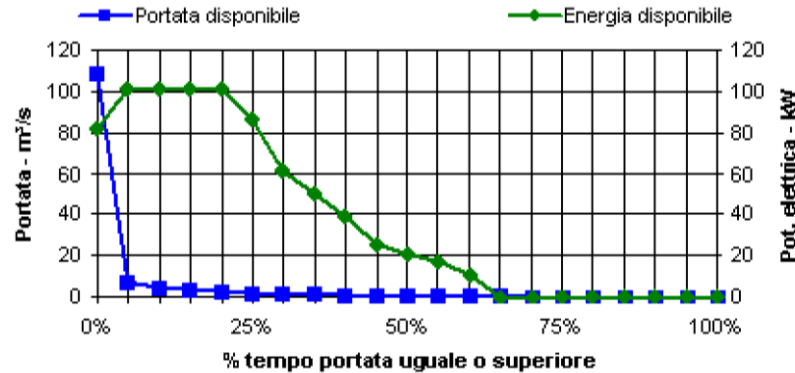


Per un impianto di taglia pari a 100 [kW] e con le seguenti caratteristiche:

- portata massima derivabile: 2,5 [m<sup>3</sup>/s], con una durata tra il 25 % ed il 30 %;
- deflusso minimo vitale del fiume: 0,17 [m<sup>3</sup>/s];
- potenza: 100 [kW];
- produzione attesa: 300.000 [kWh/anno],

si calcola il seguente andamento temporale della produzione:

Figura 2.22 – Curve di durata per un impianto di taglia pari a 100 [kW]

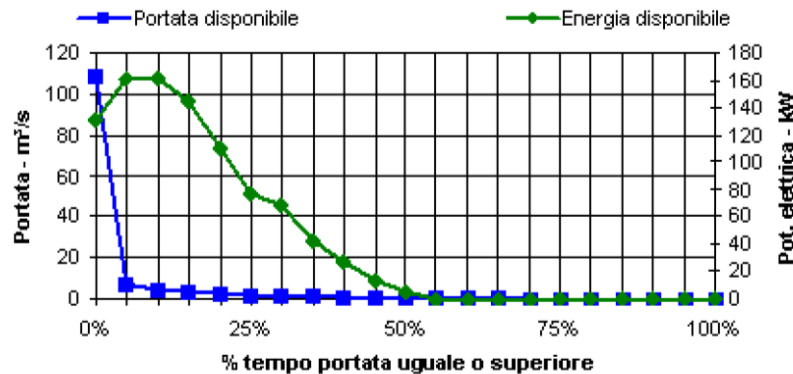


Per un impianto di taglia superiore a 100 [kW], invece, con:

- portata massima derivabile: 4 [m<sup>3</sup>/s], con una durata tra il 15 % ed il 20 %;
- deflusso minimo vitale del fiume: 0,17 [m<sup>3</sup>/s];
- potenza: 150 [kW];
- produzione attesa: 370.000 [kWh/anno],

si calcola il seguente andamento temporale della produzione:

Figura 2.23 – Curve di durata per un impianto di taglia superiore a 100 [kW]



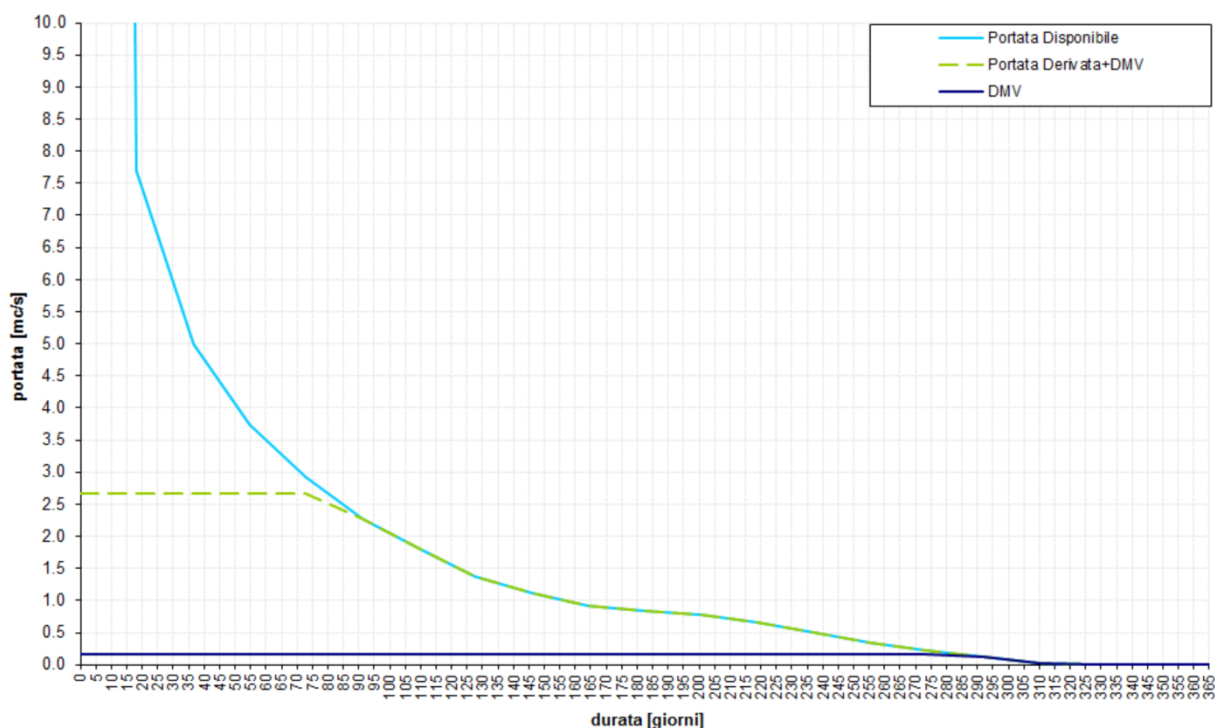
I calcoli ed i grafici appena presentati identificano i primi approcci mantenuti ipotizzando una potenza non superiore ai 100 chilowatt, per rimanere secondo le normative nella fascia degli impianti “micro idroelettrici”. Conti poi più raffinati hanno evidenziato la convenienza di rendere la centrale un impianto “mini idroelettrico”, assumendo una potenza nominale erogata ad asse turbina di 120 [kW].

In sintesi, l’impianto presenterà le seguenti caratteristiche, poi dettagliatamente analizzate nello svolgimento di questo operato:

- quota Opera di Presa: 76,08 [m s.l.m.];

- coordinata UTM -X- della presa: 739.086;
- coordinata UTM -Y- della presa: 891.984;
- salto idraulico:  $H = 6$  [m];
- perdite di carico massime: 5 % di  $H$ ;
- salto utile:  $H_{\text{eff}} = 5,6$  [m];
- bacino drenato: 189 [km<sup>2</sup>];
- portata media:  $Q = 2,33$  [m<sup>3</sup>/s];
- deflusso minimo vitale di progetto, cioè la minima portata da lasciare al fiume:  $DMV = 0,17$  [m<sup>3</sup>/s];
- portata massima derivabile:  $Q_{\text{max}} = 2,5$  [m<sup>3</sup>/s];
- portata minima derivabile: 0,75 [m<sup>3</sup>/s];
- disponibilità risorsa: 95 %
- volume annuo derivato e restituito: 32 [Mm<sup>3</sup>];
- potenza nominale massima: 120 [kW];
- energia annua generata, calcolata grazie alle curve di durata: 315.000 [kWh/anno];
- tempo di funzionamento: 164 [giorni/anno];  
(non è prevista derivazione in periodo estivo per portate inferiori alla minima derivabile sommata al DMV, e nel mese di agosto).

Figura 2.24 – Andamento della curva di durata con le relative ipotesi di prelievo e DMV



### *capitolo terzo*

## **I sopralluoghi su impianti preesistenti**

In tale capitolo si esplica quella che è stata la prima parte sperimentale della tesi, dovendo indagare quale fosse la scelta migliore fattibile per il contesto in esame; essa si è rivelata necessaria per la problematica idraulico-meccanica, differente su ogni sito di costruzione, legata alla captazione dell'acqua dal fiume in oggetto. Essa trasporta enormi quantità di detriti di varia natura, impurità che se inserite nei condotti palari della turbina ne determinerebbero un rapido degrado ed una prematura rottura, viste le elevate velocità di rotazione in gioco; per tali motivi sono necessari vari stadi di filtraggio dell'acqua sia dai materiali più leggeri e perciò galleggianti (quali foglie, tronchi, rami,...) sia da quelli più pesanti e che una volta entrati possono essere costretti a sedimentarsi (come sabbia, sassolini, materie organiche impregnate di acqua,...). Le due tipologie appena presentate sono differenti sia dal punto di vista del danno che possono causare, sia dal modo in cui vengono eliminate; una delle attività del sottoscritto è stata quella di indagare i migliori sistemi applicabili all'impianto in fase di studio, richiederne i preventivi a varie aziende e dimensionarne gli ingombri; il tutto è stato possibile grazie alla collaborazione con l'ingegner Massari ed a sopralluoghi su altri impianti operanti con tali sistemi ad acqua fluente.

Il discorso del filtraggio delle acque in ingresso nell'impianto si rende necessario per via del fatto che le impurità entranti nel distributore e nella girante ne possono determinare piegamenti, malfunzionamenti, occlusioni e quant'altro ci possa esser di deleterio in organi che richiedono alta precisione per funzionare a dovere, e che possono risultare pericolosi per via delle enormi forze in gioco. In secondo luogo è da evitare assolutamente il problema dell'intasamento, poiché a riduzioni della portata d'acqua corrispondono, nel migliore dei casi, riduzioni della produzione di energia o, peggio, la sua interruzione (il fluido attraversa la macchina senza riuscire a metterne in moto le parti). L'attività di progetto si è quindi sviluppata in questi due sensi, la miglior filtrazione e la minor perdita di carico possibili. Nel seguito si illustra l'attività di ricerca svolta tramite sopralluoghi, attività manutentive ed analisi di progetti esecutivi preesistenti.

### 3.1 Impianti ad acqua fluente

Al fine di apprendere al meglio i sistemi migliori per realizzare le opere di presa ed imparare dalle esperienze di chi già ha affrontato tali problematiche, il sottoscritto si è recato in una serie di impianti ad acqua fluente situati sui corsi d'acqua della Romagna. L'obiettivo è stato appunto quello di appurare varie soluzioni tecniche adottate in ogni contesto; in particolare:

- la modalità di captazione dell'acqua, se effettuata in maniera artificiale oppure sfruttando intelligentemente morfologie naturali ove possibile;
- gli sgrigliatori adottati nelle varie situazioni di corrente e portata;
- la quantità di sgrigliato presente a monte dello sgrigliatore, e così anche l'efficienza della filtrazione;
- il modo di evacuare lo sgrigliato e suo stoccaggio o restituzione al letto fluviale;
- il contesto naturale dove gli impianti sono costruiti;
- l'effettivo impatto ambientale e sonoro di tali impianti, alla luce delle numerose polemiche mosse in questo senso;
- modalità per mantenere il deflusso minimo vitale dei fiumi e verificarne l'entità;
- il tipo di turbine utilizzate per gli specifici valori di dislivello e portata.

Si fornisce perciò un'analisi dei vari impianti visitati, corredata di foto e specifiche tecniche riguardanti la produttività di energia elettrica; i sopralluoghi sono stati effettuati nel periodo tra ottobre e novembre in giorni che, data la caduta autunnale delle foglie e l'afflusso dell'acqua sporca per via delle prime piogge dopo la calura estiva, risulta essere tra i più critici per la quantità di detriti trasportati a valle. In particolare, la prima delle visite ha avuto luogo in un giorno immediatamente successivo ad un evento di pioggia intensa e di nevicata, a poche centinaia di metri di quota più in alto rispetto all'ubicazione degli impianti.

#### La diga di Quarto

Nel comune di Sarsina ed in provincia di Forlì-Cesena si trova la frazione di Quarto. Accanto al paese scorre il fiume Savio, che a seguito di una frana risalente al 1812 (che causò la morte di 18 persone) ha ubicato il suo letto in un'invaso naturale. A sostegno di un ponte carrabile prende posto la diga, costruita a sua volta nel 1828 per far fronte ad un periodo di siccità.



Figura 3.1 - vista da monte



Figura 3.2 - Vista da valle

Essa, rimodernata nel 1922, è costituita da tre sezioni di passaggio dell'acqua ed una di presa dell'acqua fluente; l'acqua così catturata viene trasportata alla centrale tramite una tubazione che costeggia la fiancata della valle. Il DMV viene mantenuto,



nei momenti di portata ridotta come quelli in foto, grazie ad una tubazione che scarica a valle della diga la portata minima di acqua da lasciare al fiume. La centrale ospitante le



Figura 3.3 - Il rilascio del DMV e la tubatura della turbina

turbine si trova circa un chilometro a valle ed è operante già dal 1925; il tutto è stato automatizzato nel 1978.

In sala macchine sono collocate tre turbine Francis ad asse orizzontale, per una potenza pari a 3,8 [MW] ed una produttività annua di 12,9 [GWh]; il salto geodetico è pari a 76 metri mentre la portata di progetto a 7 [m<sup>3</sup>/s].



Figura 3.4 - Lo sgrigliatore

Il sistema per la pulizia dell'acqua entrante nel condotto della turbina è costituito dall'accoppiamento di una griglia verticale e di uno sgrigliatore a barre verticali. In particolare, la griglia è costruita con barre a sezione circolare e luci di passaggio molto elevate; la sua funzione principale è quella di evitare che elementi grossolani come tronchi o materiale pesante entrino in contatto con lo sgrigliatore, danneggiandolo. Come si evince dalle foto, infatti, tale griglia è di per se molto danneggiata. È sostenuta da un argano con il quale si può alzare o abbassare per adattarne l'altezza alle condizioni di piena del fiume, e per interventi di pulizia e manutenzione.

Lo sgrigliatore è invece del tipo a barre verticali; immerso in acqua si trova un rastrello che, mosso grazie ad una catena posta in una corsia laterale, raccoglie i detriti depositatisi sullo sgrigliatore e li scarica su un tronco di tubazione che a sua volta li restituisce al fiume. Come sistema appare abbastanza funzionale, ma sicuramente alcuni detriti transitano attraverso le barre verticali e, trasportati dalla tubazione, giungono

fino alla turbina. Molta sporcizia va poi ad intasare la griglia verticale, che saltuariamente dovrà essere ripulita manualmente. Questo sistema non si presta perciò alle necessità di automazione richieste per l'impianto oggetto di questa tesi, dove l'intervento umano deve essere ridotto alla sola manutenzione tecnica del corpo turbina, e non deve presentarsi la necessità straordinaria di pulire i vari stadi di filtraggio.

Dal punto di vista ambientalistico, il complesso nel suo genere ha sicuramente modificato l'aspetto dell'intera vallata, ma la presenza della diga (comunque in loco da quasi due secoli) ha creato un lago che costituisce un forte richiamo turistico, e le acque a valle dello sbarramento sono famose per la calma e la pescosità e quindi meta di molti pescatori. Si è perciò alla presenza di un intervento umano che, a seguito di un disastro naturale come la frana che ha originato l'invaso, è riuscito a limitare i danni creando un bacino che è servito e serve per sconfiggere la siccità, produrre energia elettrica ed in minima parte anche acqua potabile, costituendo inoltre un punto di richiamo turistico per la frazione di Quarto.

### L'idroelettrica del Ronco

Sito nel paese di Meldola si trova un impianto idroelettrico che sfrutta le acque del torrente Ronco, preventivamente derivato ed immesso in un canale artificiale per l'irrigazione dei campi contigui. Sul suo percorso rettilineo si trova edificato quello che un tempo era un vecchio mulino, ora riadattato ad opera di presa per l'impianto idroelettrico sito a valle. Il sistema di sgrigliatura, nel giorno del sopralluogo, era ancora in fase di montaggio; dalle foto si



Figura 3.5 - Le barre dello sgrigliatore oleodinamico

evince la grata a barre verticali ed il perno al quale verrà agganciata la forchetta per la pulizia delle luci di passaggio. A lato dell'opera di presa si trova una derivazione creata per garantire il DMV del canale e regolare la portata che sarà poi convogliata alla turbina. In questo caso il DMV è necessario per evitare di sottrarre l'acqua agli agricoltori che la utilizzano per i campi coltivati. Una personale constatazione è che, a differenza degli altri impianti visitati, la velocità del fluido in questo caso assume valori molto elevati; le barre della grata, infatti, sono dimensionate in maniera generosa, questo per riuscire a fermare eventuali detriti di grandi dimensioni senza riportare danni.



Figura 3.6 - Il mantenimento del DMV



## L'Alferello



Figura 3.7 - La centrale

Ai piedi del paese di Alfero scorre il torrente Alferello, molto rinomato a livello turistico per le sue cascate. Molteplici accuse sono state mosse verso la possibilità di costruire un impianto idroelettrico che vada in qualche modo a rovinare l'aspetto naturalistico di questo luogo. Il sopralluogo del sottoscritto si è risolto nel dover individuare due sentieri percorsi a piedi che lo hanno condotto alla

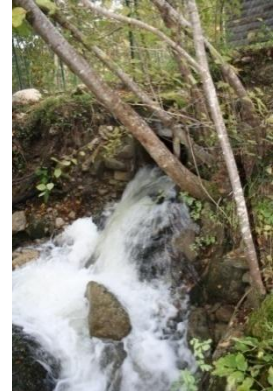


Figura 3.8 - La restituzione dell'acqua al fiume

centrale di produzione e alla vasca di presa, qualche centinaio di metri più a monte. Per quanto riguarda la turbina, essa si trova dentro un caseggiato, adeguatamente protetta e costituente una fonte di rumore molto ridotta; l'opera edile è costruita a fianco del torrente al quale restituisce la portata d'acqua prelevata a monte.



Figura 3.9 - La vasca di presa

La vasca di presa, perfettamente integrata con l'ambiente, è di difficile individuazione poiché "mimetizzata" nella vegetazione, e tutte le opere di captazione sono ricavate dalla pietra del contesto, cioè scavate direttamente nella roccia. Come soluzione appare molto intelligente, economica e duratura, oltre a costituire un impatto ambientale veramente ridotto. Una paratoia manuale su un piccolo invaso a lato del fiume

consente di interrompere il prelievo dell'acqua; essa è collocata su un canale, anch'esso ricavato dalla roccia, che immette l'acqua nella vasca dove trova uno sbarramento per le perfette condizioni di desabbiatura. Un canale di scolo, o sfioratore, assicura il mantenimento del DMV fluviale e della corretta portata anche



Figura 3.10 - Il muro di desabbiatura



Figura 3.11 - Lo scolo per il DMV

durante episodi di piena.

All'imboccatura della tubazione che raggiunge la turbina si trova lo sgrigliatore, elemento per il quale si è sostanzialmente effettuato il sopralluogo. È costituito da una griglia verticale mantenuta saltuariamente pulita da una "forchetta" condotta da tre catene motorizzate saldate insieme con barre trasversali.





Figura 3.12 - Lo sgrigliatore a catena



Figura 3.13 - Particolare dello sgrigliatore



Figura 3.14 - Scarico dello sgrigliato

A prima analisi è risultato un sistema molto pulito, anche per via dell'imbuto nella roccia che l'acqua deve attraversare, e sicuramente il contesto in cui il tutto è inserito è molto convincente, poiché le condizioni di velocità sono estremamente ridotte; secondo l'esperienza, però, tale sgrigliatore è meno efficace di quello a nastro, con il quale si vuole ottenere il massimo di filtrazione possibile.



Figura 3.15 - Contesto ambientale



### 3.2 Il “Para 1”

Sul torrente Para, vicino alla località di Pastorale nel comune di Verghereto, si trova l’impianto idroelettrico realizzato da Amga Energia come piattaforma di prova; molti aspetti che possono risultare evidenti col senno di poi, non lo erano sicuramente durante la sua costruzione. Inoltre in tal caso è un idroelettrico commissionato dall’“Hera s.p.a.”, che per molti accorgimenti (come la pendenza del fondo delle vasche) ha preferito risparmiare, non consapevole dei costi successivi a cui ora è costretta per la manutenzione (curata dall’Amga Energia, che ha in gestione l’impianto).



Figura 3.16 - L'opera di presa del Para 1

Varie modifiche sono state effettuate nel corso degli anni di funzionamento fino a raggiungere un buon livello di automazione che ancora però non è definibile come ottimale. Un’analisi più approfondita è stata resa possibile dai progetti esecutivi in possesso dello Studio Massari, nonché da un intervento manutentivo eseguito sul corpo turbina e sulla vasca di desabbiatura. Per contestualizzare il tutto, si rende noto che l’impianto ha un dislivello, tra il pelo libero della vasca di captazione e l’asse della chiocciola della turbina, pari a 24,5 [m]; unitamente alla portata di 0,6 [m<sup>3</sup>/s] ha permesso l’installazione di 147 [kW] di potenza sfruttati grazie ad una turbina Francis. Essa, come fotografato nel luogo di installazione, ha una potenza di 175 [kW], una velocità di rotazione di 1000 [rpm], una portata di progetto di 0,8 [m<sup>3</sup>/s] ed una caduta sfruttabile pari a 24 [m]. Commercialmente è stata scelta la turbina più adatta alle condizioni impiantistiche, poiché sarebbe risultato antieconomico porre in studio e produzione una turbina adattata esattamente alle esigenze di questo sito; le è così stato accoppiato un alternatore che con 1000 [rpm] produce energia elettrica a 50 [Hz] (la frequenza di rete), 400 [V] (la tensione trifase richiesta per l’alta potenza prodotta) e 336 [A] di corrente, per una potenza di 200 [kW]. Il discorso economico è analogo a quello della turbina, è stato cioè conveniente acquistare un alternatore commerciale piuttosto che progettarlo da zero.

#### Griglia di captazione dell’acqua fluente

La griglia è un’opera in carpenteria metallica costituita da una serie di barre, poste verticalmente, capaci di fermare le impurità più grandi. Data la quantità di rami, foglie, tronchi ed ogni altro tipo di sporcizia trasportato dalla corrente fluviale, la griglia è solita intasarsi,

causando non pochi problemi al corretto funzionamento della turbina e diminuzioni della produttività. L'impianto "Para1" richiede infatti un intervento straordinario di manutenzione umana ogni qualvolta vi siano interruzioni del corretto flusso di acqua. Una soluzione non troppo ottimizzata (il cosiddetto rimedio di fortuna) è stato dimezzare la quantità di barre per aumentare la permeabilità all'acqua, ma tale sistema presenta poi altri problemi quali ad esempio il passaggio di detriti più grandi ed il veloce riempimento della vasca di sedimentazione; dato però il completo blocco della portata dovuto all'accumularsi di foglie in un breve arco temporale, si è deciso di eliminare tre barre ogni quattro, far sì cioè che la griglia di captazione fermi unicamente gli oggetti più grandi.



Figura 3.17 - La griglia in ingresso, appena montata, sezionata ed intasamento

La soluzione corretta non può essere questa, per tale motivo è in fase di progetto un sistema automatico di sgrigliatura, già presente sulla griglia prima della vasca di adduzione dell'acqua alla tubatura.

Grazie all'esperienza fatta col "Para1", è stato possibile capire che l'investimento sul sistema automatizzato di sgrigliatura è un costo iniziale altamente giustificato, anche perché grazie agli incentivi statali conviene sempre produrre più energia elettrica a fronte di maggiori spese fisse.

### Sgrigliatore per l'acqua entrante in turbina

È l'opera di filtrazione più importante poiché da questa dipendono in maniera direttamente proporzionale la quantità di energia prodotta ed il numero di interventi di manutenzione e sostituzione nel corpo turbina. In questo senso il "Para1" ha fornito un enorme contributo in termini di esperienza conseguita con numerosi tentativi. Con lo scorrere degli anni, la prima soluzione adottata si è rivelata altamente insufficiente e inefficace, per questo si sono seguiti una serie di approcci differenti che hanno fatto capire quale sia la scelta giusta per il carattere dei corsi d'acqua romagnoli. Cronologicamente:

1) La costruzione dell'impianto ha visto la prima installazione di una griglia molto fitta di barre verticali con sezione rettangolare, inclinata di circa sessanta gradi; il veloce accumulo di foglie e rami ha determinato la scelta immediata di ricorrere ad un sistema automatizzato.

Il primo tipo di sgrigliatore installato viene utilizzato, in dimensioni molto più consistenti, nella vasca di carico della condotta forzata delle centrali idroelettriche più grandi; ha la forma di una forchetta, il cui funzionamento è assicurato da un cilindro idraulico che lentamente sposta i rebbi attraverso la



Figura 3.18 - Il primo sgrigliatore, del tipo oleodinamico



griglia per pulirla; il tutto è completato da un piccolo nastro trasportatore che restituisce la sporcizia al letto del fiume, trattandosi comunque di scorie naturali. Tale sistema si è rivelato efficace dal punto di vista della pulizia della griglia, ma con il tempo sono state le barre verticali a dimostrarsi il vero punto debole dell'automazione: esse sono infatti



Figura 3.19 - Ciclo di pulizia dello sgrigliatore oleodinamico

in grado di bloccare rami e foglie solo se il loro lato lungo è normale all'asse delle barre, altrimenti il loro passaggio non è ostacolato. Il risultato è che i rami piegano le alette del distributore, vi si incastrano e intasano i condotti palari della girante; le foglie, invece, per via della forza centrifuga, vengono letteralmente sparate sulla chiocciola e se ne saldano alla superficie; è impossibile rimuoverle senza danneggiare la chiocciola stessa. Si è quindi scelto di cambiare radicalmente la forma dell'opera di filtrazione, con una

metodologia più accurata. Il tutto è giustificato dal fatto che in un arco temporale di circa due anni si sono rivelati necessari cinque interventi, ognuno della durata di sei ore per due operai, e che nella maggior parte dei casi hanno richiesto la sostituzione della girante e delle palette del distributore.

- 2) L'ultima ed efficace soluzione consiste nell'adozione di uno sgrigliatore a nastro, la cui superficie è costituita da una fitta rete modulare in carpenteria metallica, che riesce a bloccare anche i detriti di minima dimensione senza incidere sulla portata di acqua. Come per la soluzione precedente, un ulteriore nastro posto superiormente in direzione normale serve per evacuare i ramagli raccolti. I vantaggi registrati sono i seguenti:

- intervento umano ridotto alla sola manutenzione meccanica;
- meno interruzioni nella produzione dell'energia, dato che si riduce il numero di manutenzioni;
- il flusso di acqua si mantiene lineare, senza interruzioni o ondate improvvise, e soprattutto non si interrompe causando enormi perdite nella produzione di elettricità;
- la turbina a mantenuto uno standard di pulizia molto elevato, ed anche la corrosione è stata ridotta ai termini propri del funzionamento con sola acqua pura.

- 3) Nel corso dell'intervento manutentivo visionato dal sottoscritto, recatosi in loco con i manutentori dell'impianto, è sorta un'ulteriore problematica. Immaginando che i detriti più pesanti si adagiassero sul fondo e non considerando la forza della corrente in alcuni frangenti, soprattutto per il fatto che la vasca di desabbiatura riempiendosi di materia inorganica facilita il moto in tale senso, è stata erroneamente lasciata aperta una piccola



Figura 3.20 - Il nuovo sgrigliatore, del tipo a nastro

luce tra il fondo dello sgrigliatore ed il muro di contenimento tra la prima vasca di de-sabbatura e la seconda, successiva allo sgrigliatore. Tale passaggio, che ha comunque una minima estensione (si parla di una profondità non superiore ai venti centimetri), si è rivelato deleterio, perché ha permesso il passaggio di alcuni elementi quali foglie e tronchi che hanno poi intasato il distributore; il comando idraulico del suddetto ha poi causato la rottura delle alette rimaste bloccate da tale sporcizia, poiché gli sforzi di fatica si riversano tutti sull'elemento che oppone più resistenza. È stato perciò deciso di chiudere questa luce fissando inferiormente allo sgrigliatore delle grate.

### Vasca di sedimentazione

La vasca in oggetto è un'opera in cemento armato posta in serie tra la presa dell'acqua fluente ed il distributore della turbina, a livello logico. Essa svolge una consistente quantità di compiti che ne giustifica la costruzione, dato che comunque rappresenta una notevole complicazione dal punto di vista progettuale, applicativo, costruttivo e, non meno importante, normativo. Le sue elevate dimensioni, infatti, ne fanno la parte più estesa dell'impianto.

Le sue funzioni si possono così riassumere:

- creare un bacino di acqua che non risenta dei moti ondosi o di improvvise variazioni di portata, elementi invece propri dei corsi d'acqua e che potrebbero danneggiare seriamente la turbina nel caso si verificano inclusioni di aria. È un compito assimilabile a quello del volano meccanico, rendere cioè più regolare possibile l'andamento della grandezza in oggetto, in questo caso rappresentata dalla portata d'acqua, e ridurre al massimo le oscillazioni;
- dare la possibilità di collocare la presa dell'acqua per la turbina in un punto al di sotto del pelo libero con un certo grado di sicurezza, senza l'obbligo di costruire condutture sotterranee e subacquee sul letto del fiume, che comporterebbero una complicata costruzione ed una ancor più difficoltosa manutenzione; la vasca infatti ha la possibilità di essere svuotata in ogni momento, all'occorrenza;
- tramite opportuni controlli livellostatici, mantenere la quota piezometrica ad un livello ottimale per il rendimento dell'impianto, e tramite gli stessi individuare con un certo anticipo eventuali situazioni di allarme;
- depurare l'acqua in ingresso alla turbina tramite un sistema di filtraggio (precedentemente presentato) in ingresso alla vasca ed un procedimento fisico di sedimentazione, anche grazie ad un sapiente sfruttamento dei vortici creati grazie a ostacoli logicamente disposti. Si sfrutta l'elementare principio che i corpi con un peso specifico maggiore di quello dell'acqua, pesanti cioè più di un chilogrammo per decimetro cubo, si depositano sul fondo in condizioni statiche del fluido. Entra infatti in gioco la componente della forza di trascinamento (o "drag"), che va equilibrata con la forza di gravità e quella di galleggiamento; per ampliare tale discorso:



Figura 3.21 - Il deposito di detriti

- la forza di gravità è indipendente da dimensioni, peso specifico e quant'altro, infatti in condizioni di vuoto e senza attrito una piuma cade in eguale maniera ad una mela; essa semplicemente attrae verso il basso qualunque tipologia di massa, tra cui anche l'aria (basti pensare all'atmosfera che non si disperde nel vuoto cosmico);
- la forza di galleggiamento deriva invece dalla differenza dei pesi specifici tra un fluido e l'altro, in questo caso tra acqua ed il materiale del detrito in questione, determinandone il galleggiamento o la caduta;
- la forza di trascinamento o drag, che dipende da molti fattori quali la densità e la velocità del fluido, la forma dell'impurità e quindi quanta resistenza si presenta allo scorrere della massa fluida.

In particolare la vasca del “Para1” è suddivisa in due parti, la prima è la zona immediatamente consecutiva all'opera di captazione, detta di sghiaatura, necessaria per la sedimentazione dei massi e dei ciottoli più grandi: consiste in una vasca delimitata da uno sbarramento in cemento armato che crea una luce laterale a quella che invece è la seconda zona, dove il fluido viene rallentato.

In tale sezione la velocità dell'acqua naturalmente presente nel letto del fiume viene diminuita fino quasi ad annullarla (un accorgimento ad esempio è porre la sua presa in direzione normale a quella di captazione) per creare le migliori condizioni possibili atte al deposito di eventuali detriti di ogni dimensione, dai massi alla sabbia. Si può affermare che la sua funzione principale è proprio questa. Una volta arrivati ad un certo livello di detriti presenti sul fondo della vasca, una paratoia ne permette il completo svuotamento. La tendenza nei nuovi impianti è di migliorare l'efficienza della vasca nella sua completezza per diminuirne le dimensioni, generando un beneficio sui costi e sull'impatto ambientale, e soprattutto sugli interventi manutentivi che per il Para 1 sono molto onerosi in questo senso (per risparmiare il fondo è stato costruito senza la pendenza descritta nel progetto esecutivo, e questo porta all'estrema difficoltà di evacuare il sedimentato);

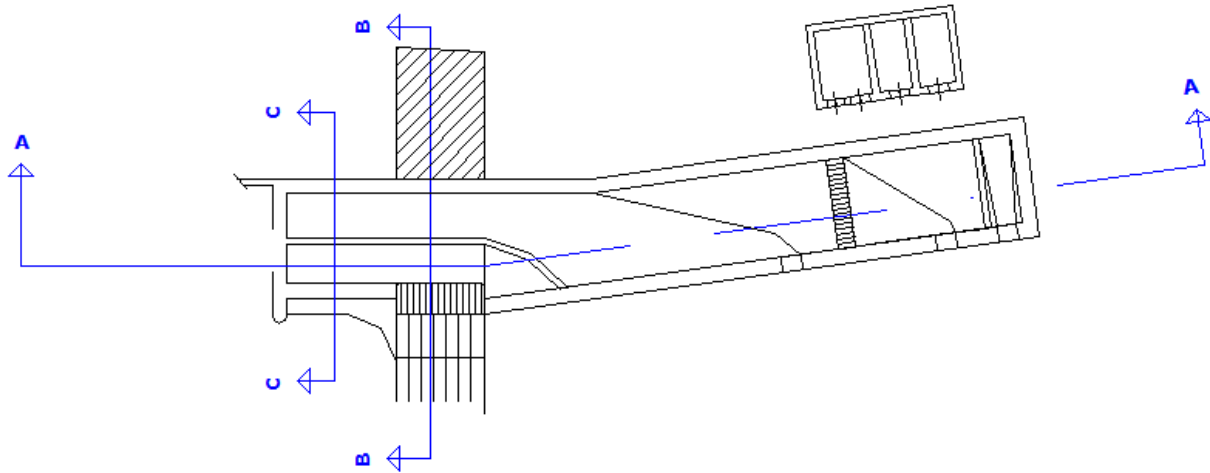
- facilitare il controllo visivo del livello dell'acqua;
- ottimizzare e velocizzare le operazioni di manutenzione, diminuendo anche i pericoli derivanti da un intervento sul letto del fiume.

### **Analisi capacitiva delle opere di presa del “Para 1”**

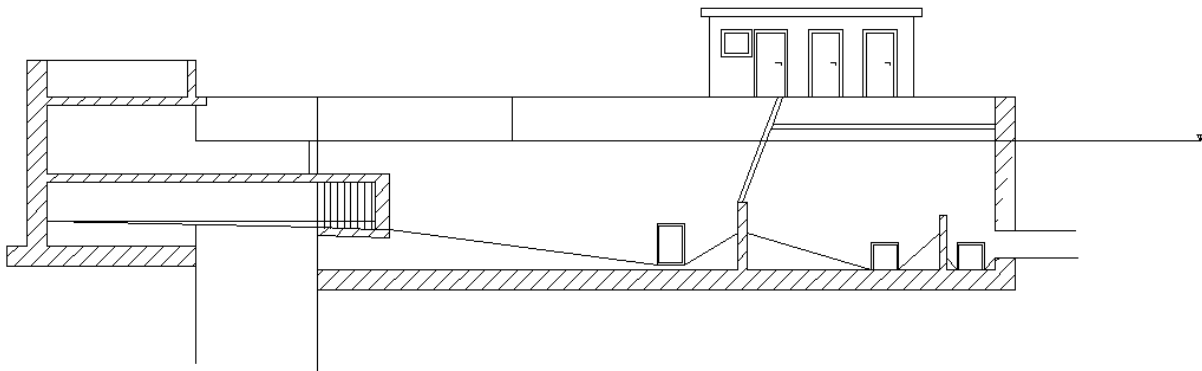
Essendo il primo impianto creato dallo “Studio Tecnico Massari” e costituendo la prima effettiva esperienza in questo campo, si è scelto di costruire un'opera di presa di dimensioni relativamente elevate per mantenere un alto coefficiente di sicurezza nella produzione di energia. Come già accennato, maggiori sono i volumi in gioco, migliori sono le capacità di smorzare eventuali irregolarità nella portata di acqua e quindi di stabilizzare il flusso inviato alla turbina; ma la soluzione è da ottimizzare, perché con vari accorgimenti è possibile diminuire le dimensioni senza penalizzare i benefici.

Nello specifico, i disegni costruttivi dell'opera di presa dell'acqua fluente e della centrale dell'impianto "Para 1" sono i seguenti:

**Figura 3.22 - I disegni costruttivi del "Para 1"**

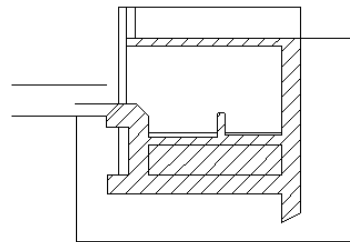
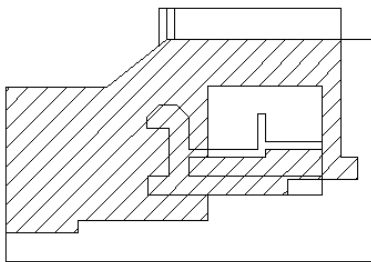


**SEZIONE A-A**



**SEZIONE B-B**

**SEZIONE C-C**





Suddividendo il percorso dell'acqua in quattro vasche consecutive la cui capacità viene ricavata considerando le varie casistiche possibili, si ottengono le seguenti terne di valori riferiti alla capacità minima (o statica), alla massima ed a quella di regime (con una portata impiantistica di  $0,8 \text{ [m}^3/\text{s]}$ , poi mediata a  $0,6$ ):

- 1) la prima vasca che incontra l'acqua una volta attraversata la griglia e captata dal fiume è quella di sghiaiatura e serve per smorzare i moti turbolenti del fluido immettendo acqua solo lateralmente nella vasca successiva, per eliminare i massi di dimensioni più elevate, ed è inoltre necessaria per interventi manutentivi perché grazie all'apertura di una luce permette l'interruzione del flusso dell'acqua ai successivi stadi.

La sua capacità minima è pari a:

$$V_{1\min} = \left( 6,05 \cdot 1,85 + \frac{1,23 \cdot 0,69}{2} \right) \cdot 1,3 = 15,102 \text{ [m}^3\text{]};$$

la sua capacità massima è invece pari a:

$$V_{1\max} = \left( 6,05 \cdot 1,85 + \frac{1,23 \cdot 0,69}{2} \right) \cdot 2,1 = 24,395 \text{ [m}^3\text{]};$$

a regime si ottiene invece:

$$V_{1\text{regime}} = \left( 6,05 \cdot 1,85 + \frac{1,23 \cdot 0,69}{2} \right) \cdot 1,54 = 17,89 \text{ [m}^3\text{]};$$

- 2) la seconda vasca, quella di dimensioni maggiori, è detta di desabbiatura e funge da volano per le difformità della corrente del fiume e serve per sedimentare il più possibile le impurità ancora largamente presenti; lateralmente è posto uno sfioratore necessario a mantenere la portata di regime, il DMV fluviale ed evitare debordi quando la quantità d'acqua è eccessiva.

La sua capacità statica è pari a:

$$V_{2\min} = \frac{(1,4+1,94) \cdot 6,29}{2} \text{ [m}^2\text{]} \cdot 1,3 \text{ [m]} + \left[ \frac{0,43 \cdot 4}{2} + \frac{(1,94+4) \cdot 2,4}{2} + 11,95 \cdot 4 \right] \text{ [m}^2\text{]} \cdot 2 \text{ [m]} = 125,3 \text{ [m}^3\text{]}$$

la capacità massima, compresa l'altezza dello sfioratore:

$$V_{2\max} = \frac{(1,4+1,94) \cdot 6,29}{2} \text{ [m}^2\text{]} \cdot 2,1 \text{ [m]} + \left[ \frac{0,43 \cdot 4}{2} + \frac{(1,94+4) \cdot 2,4}{2} + 11,95 \cdot 4 \right] \text{ [m}^2\text{]} \cdot 2,8 \text{ [m]} = 178,4 \text{ [m}^3\text{]}$$

a regime si ottiene invece:

$$V_{2\text{reg}} = \frac{(1,4+1,94) \cdot 6,29}{2} \text{ [m}^2\text{]} \cdot 1,54 \text{ [m]} + \left[ \frac{0,43 \cdot 4}{2} + \frac{(1,94+4) \cdot 2,4}{2} + 11,95 \cdot 4 \right] \text{ [m}^2\text{]} \cdot 2,24 \text{ [m]} = 141,3 \text{ [m}^3\text{]}$$

- 3) la vasca dopo lo sgrigliatore ha una semplice forma rettangolare e rappresenta l'anticamera alla vasca dove si trova l'imbocco della tubazione che porta l'acqua alla turbina. Essa costituisce un ulteriore stadio di desabbiatura.

La sua capacità statica è pari a:

$$V_{3\min} = (2,5 \cdot 4) \text{ [m}^2\text{]} \cdot 2,8 \text{ [m]} = 28 \text{ [m}^3\text{]};$$



Figura 3.23 - La prima sghiaiatura



Figura 3.24 - La desabbiatura

la capacità massima:

$$V_{3\max} = (2,5 \cdot 4)[m^2] \cdot 3,6[m] = 36[m^3];$$

a regime si ottiene:

$$V_{3\text{reg}} = (2,5 \cdot 4)[m^2] \cdot 3,05[m] = 30,5[m^3];$$

4) tale vasca è l'ultimo stadio dove si colloca la tubazione di collegamento tra l'opera di presa e la centrale di produzione.

Le sue dimensioni sono pari alla vasca precedente.



Figura 3.25 - Lo stadio finale di desabbatura

Sommando le capacità delle varie vasche, senza la pretesa della precisione assoluta che comunque non è richiesta in questo genere di applicazioni, si ottengono le seguenti valutazioni. L'opera di presa ha una capacità statica di 170 metri cubi, massima di 240 metri cubi ed a regime si mantengono 190 metri cubi per una portata di 800 litri al secondo.

La tubatura utilizzata presenta un diametro di 600 millimetri, o DN600. La velocità al suo interno si può facilmente calcolare in tal modo:

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{0,8 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\pi \cdot \frac{0,6^2 [m^2]}{4}} = 2,83 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

A tale velocità e con la tubatura adottata, le perdite si calcolano in 1,2 metri di dislivello utile.

Il sopralluogo effettuato in un periodo in cui la portata d'acqua era ridotta, ha mostrato un buon funzionamento del sistema nel suo complesso; rispetto tutte le problematiche indicate dall'ingegner Massari, il sottoscritto ha notato un ottimo standard di funzionamento:

- la griglia sul torrente non era intasata, l'acqua transitava liberamente riempiendo la vasca di sghiaatura; il DMV fluiva al di sotto della briglia;
- lo sfioratore laterale, rinforzato con una lamiera metallica per via dell'erosione causata dall'acqua, era in ottimo stato (ma non in funzione per via della portata ridotta);
- lo sgrigliatore a nastro posto a protezione delle vasche adiacenti la tubatura era molto pulito, pur avendo fermato una buona quantità di foglie.

Tutto ciò significa che le soluzioni tecniche gradualmente introdotte sono risultate funzionali, e per questo saranno applicate ai successivi impianti per i quali saranno sostanzialmente migliorate ed introdotte in fase di progetto. Infatti, nonostante l'aumento di efficacia dell'impianto sul Para, esso riporta comunque numerose problematiche che si stanno risolvendo con l'andare del tempo e l'acquisizione dell'esperienza necessaria.

A dimostrazione di questo fatto, un successivo sopralluogo svolto nel giorno 9 del mese di novembre, effettuato per rimontare i palettamenti statorici sottoposti a manutenzione, ha evidenziate altre fonti di problemi riscontrate dopo un certo periodo di funzionamento della turbina. Lo sgrigliatore funziona infatti ottimamente, ma per un'errata valutazione del gal-



Figura 3.26 - La tubatura della turbina



leggiamento di alcuni materiali come foglie o tronchi intrisi di acqua, è stata lasciata aperta una piccola luce tra la base inferiore dello sgrigliatore ed il muretto che funge da tenuta per la penultima vasca di desabbiatura. Tale apertura, grazie alla forza della corrente che a volte si manifesta per piene del fiume, permette il passaggio di alcuni detriti il cui peso specifico è molto prossimo a quello dell'acqua ed il cui moto, quindi, dipende esclusivamente dalla forza della corrente. Per evitare questo fatto, verrà montata una schermatura inferiore allo sgrigliatore, per fare in modo che le luci di passaggio dell'acqua siano unicamente quelle attraverso la rete.

I detriti nel frattempo transitati, complici l'apertura e chiusura del distributore per l'adattamento della turbina alle varie condizioni di portata, creano degli sbarramenti veri e propri che sono da rimuovere manualmente, ed a volte veri e propri danni. In questo caso, infatti, essendo i palettamenti statorici collegati ad un unico attuatore posto su un palettamento, quattro di questi hanno ceduto allo sforzo per fatica. Ingegneristicamente parlando, alcuni detriti hanno bloccato le luci di alcuni palettamenti, inchiodandoli, quindi lo sforzo meccanico dell'attuatore si è riversato tutto su di questi ultimi, esasperando le condizioni di funzionamento. Per questo l'albero di collegamento di quattro di questi ha ceduto dopo un certo periodo affaticante, causando l'apertura indesiderata. La turbina è andata perciò fuori giri e l'alternatore, automaticamente, si è disaccoppiato dalla rete elettrica smettendo di produrre, per evitare rotture e sovratensioni molto pericolose.

L'intervento di manutenzione ha perciò richiesto il completo smontaggio del corpo turbina,



Figura 3.29 - La causa della rottura



Figura 3.30 - Il distributore chiuso



Figura 3.27 - I palettamenti smontati



Figura 3.28 - Il fogliame tra i condotti palari

lasciando in sede unicamente la chiocciola ed alcuni palettamenti funzionanti; i quattro di questi con l'albero rotto a fatica sono stati saldati da un'azienda di San Marino che, in zona, è l'unica per questo tipo di lavorazioni specialistiche, dovendo il giunto possedere le stesse caratteristiche meccaniche e dimensionali di quello di partenza; i palettamenti sono stati poi rimontati e impostati sulla posizione di chiuso del distributore; è stato riposto il coperchio, la girante e la curva a gomito che porta l'acqua al divergente di scarico ed è quindi stata provata il corretto funzionamento dell'impianto. Il tutto ha richiesto, per via della precisione dell'accoppiamento e la difficoltà nel muovere alcuni pezzi dal peso molto elevato, un'intera giornata.

Tale impianto è inserito in un contesto naturalistico dove sono frequenti smottamenti e piccole cadute di massi, raggiungere perciò la centrale di produzione non è risultato facile (il sentiero

dovrà essere sottoposto a manutenzione), ma una volta giunti è risultata evidente la “pioggia” di sassi che ha danneggiato il



Figura 3.31 - Il corpo turbina senza lo scarico



Figura 3.32 - Il distributore

tetto del vecchio mulino adattato a contenere la turbina e l'alternatore. A valle dell'impianto lo scarico che restituisce acqua al torrente.

Nonostante queste problematiche, vi è stato comunque un netto aumento della produttività grazie alla manutenzione sempre più competente. Per fornire un'idea dell'efficacia dei miglioramenti, dal sito dell'Enel sono stati ricava-

ti questi dati: nel 2009 l'impianto ha prodotto 271 [MWh], mentre nel 2010 ne ha immessi 361. Questa differenza elevata di energia, che se conteggiata comporta un guadagno netto di 19.800 euro annui, giustifica l'inserimento delle automazioni, anche a fronte del fatto che le operazioni di manutenzione si riducono drasticamente alla sola usura delle parti mobili o a contatto con l'acqua.



Figura 3.33 - Gomito di scarico e diffusore



## *capitolo quarto*

# Le opere di presa dell'acqua fluente

Svariati sono stati i punti da ottimizzare per tale impianto, sia riguardo le opere edili legate alla vasca di carico, sia riguardo lo sgrigliatore necessariamente da installare. Innanzitutto la capacità e la forma da conferire alle opere in muratura della suddetta vasca si rivelano essere contributi fondamentali ad una buona progettazione dell'impianto, adottando infatti corrette soluzioni si minimizzano i costi variabili che ne susseguono in termini di manutenzione e si massimizza la produttività. Diminuisce la corrosione delle parti mobili e fisse della turbina, diminuiscono le ore di intervento umano sulla parte meccanica e soprattutto sulla pulizia della vasca di raccolta, il rendimento della turbina rimane sempre alto e quindi l'energia prodotta è sempre al massimo consentito dalla portata fluviale, ... la sezione invece meccanica riguarda le valvole di regolazione e lo sgrigliatore presente a monte della vasca di sedimentazione, che come illustrato nei capitoli precedenti si rivela una scelta costosa ma necessaria. I motivi sono sempre gli stessi, ed il bene ultimo a cui si tende è l'utile economico più alto possibile. In questo senso, è stato necessario adattare tutto il progetto all'opera già presente in loco, sfruttata per creare il salto disponibile in turbina: la briglia.

Si tratta di una costruzione in cemento armato predisposta negli anni passati per evitare che la portata di acqua erodesse il letto del fiume e pregiudicasse quindi la stabilità delle costruzioni ad esso adiacenti; nel 1974 è stato predisposto un suo consolidamento che le ha conferito l'attuale forma. Il principio che utilizza per evitare la corrosione del fondale è quello di far scorrere l'acqua su un piano di cemento armato avente una certa larghezza ed inclinazione; l'estensione così ottenuta permette di distribuire la portata d'acqua su una superficie molto ampia, di rallentare così la velocità del flusso e di evitare delle zone dove, concentrandosi la caduta, si creino delle depressioni indesiderate.

I primi giorni di novembre il sottoscritto ha effettuato un sopralluogo nel sito di futura costruzione dell'impianto, per contestualizzare la documentazione studiata e "toccare con mano" quella che è la situazione reale. Le opere in muratura preesistenti, e che non verranno modificate se non in alcuni specifici punti, sono ricoperte di folta vegetazione e da materiale inorganico depositatosi con lo scorrere del tempo e negli episodi di piena. Una foto presa dal ponte carrabile ed una a lato della briglia, dove sarà interrato il tubo, palesano la condizione riscontrata:



**Figura 4.1 - La briglia vista da monte e lateralmente, sulla sponda destra del fiume Rabbi**

Nel punto di collocamento della vasca la situazione rilevata è evidenziata nelle foto seguenti (quella a sinistra mostra il lato della briglia adiacente al quale sarà posato il tubo,

quella a destra mostra l'area in cui si ricaverà l'opera di presa), e la flora che ivi si presenta è quella propria di tutto il letto del fiume, anche a monte del ponte carrabile.



**Figura 4.2 - La zona di collocamento dell'opera di presa**

Per questi motivi l'acqua fungerà da vettore di una gran quantità di fogliame, rami, tronchi ed inorganico. Con sorpresa e piacere personale, a differenza dello sbarramento di Quarto, non sono stati rilevati rifiuti derivanti dalla condotta maleducata degli abitanti, seppur tale corso d'acqua attraversi un centro abitato. Per spostarsi nel campo di interesse testistico, questi sono gli elementi fondamentali osservati e dedotti:

- la folta vegetazione, ricostituibile nella giusta misura dopo gli interventi costruttivi, diminuisce l'impatto visivo rendendo quasi invisibile sia la vasca di captazione, decisamente al di sotto del livello del canneto, sia il caseggiato a valle della briglia per l'accoppiamento turbina-alternatore, coperto da alberi molto robusti e dalla briglia stessa. Nelle foto si mostra l'estremo inferiore dello sbarramento visto dall'alto e frontalmente, la costruzione edile a protezione dell'accoppiamento turbina-alternatore sarà posta sotto ad essa, nei punti evidenziati in giallo; è risultato impossibile avvicinarsi all'estremo inferiore della briglia data l'inagibilità del terreno ricoperto da una barriera arborea;



**Figura 4.3 - La briglia vista da monte e frontalmente**

- l'impatto sonoro, come verificato con la relazione acustica, rimane al di sotto dei limiti consentiti dalla legge, ed un altro fattore importante è la cascata che si forma quando l'acqua abbandona la briglia. Gli abitanti del posto, abituati a questo livello sonoro, difficilmente percepiranno la turbina e l'alternatore in funzionamento, anche per via della distanza e del posizionamento in zona sotto elevata; saranno comunque adottati tutti gli accorgimenti del caso (come le tubazioni interrato) per ridurre al massimo le emissioni;



- come si aspettava l'ingegner Massari, gli elementi che potrebbero danneggiare la turbina sono presenti in quantità considerevole e sono della tipologia più fine, quelli cioè che potrebbero attraversare senza difficoltà alcuni tipi di sgrigliatori. Per questo motivo si è unanimemente deciso di procedere con una tipologia di questi ultimi a rete molto fitta. Nelle foto seguenti risaltano alcuni di questi rifiuti di cui, nonostante la condizione di calma della corrente, il fiume si fa vettore:



Figura 4.4 - L'entità dei detriti

- un'ulteriore osservazione va fatta per l'elevata esposizione ai raggi solari; osservando la briglia si è infatti notata un'alta presenza di muschio e melma (vedere foto sopra); auspicabilmente, quindi, una volta costruita la vasca, molto di questo materiale entrerà nel desabbiatore-sghiaiatore, il quale dovrà essere in grado di eliminarlo;
- in condizioni di piena e quindi di elevata velocità del fluido, è molto probabile che la corrente sradichi alcune piante deboli e le porti a schiantarsi contro la vasca; per tali motivi lo sgrigliatore deve essere molto robusto, in grado di resistere ad urti e sollecitazioni anche importanti senza subire danneggiamenti.



Figura 4.5 - La briglia dalla sponda destra

Dal satellite, evidenziando in giallo la posizione dell'opera di presa ed in rosso quella dell'accoppiamento turbina-alternatore, se ne identifica il posizionamento:



Figura 4.6 - Vista satellitare

#### 4.1 La vasca di captazione dell'acqua fluente

Inizialmente, l'idea dell'ingegner Massari era quella di derivare l'acqua del fiume inglobando l'opera di presa nella briglia stessa, forandola e cementando il tutto. Questa idea, che dal punto di vista delle curvature da far assumere alle tubazioni era sicuramente la migliore, non è però stata autorizzata dal comune di Predappio, che ha ritenuto inappropriata e pericolosa la modifica della briglia in quanto avrebbe compromesso la sua stabilità strutturale.

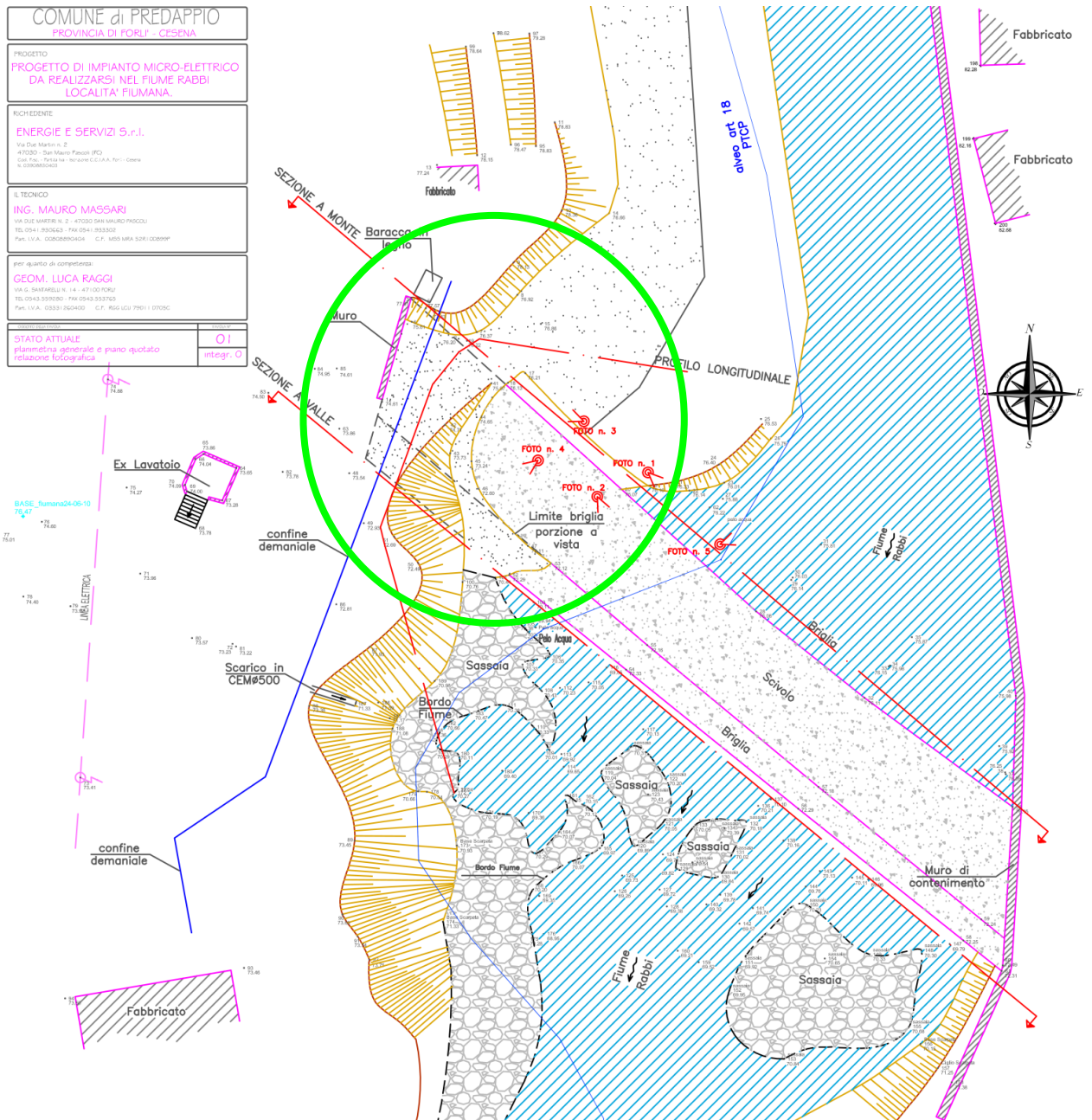
Per tali motivi l'opera di presa è stata situata sulla sponda destra del fiume Rabbi, ed il suo asse è perpendicolare a quello del fiume; da un punto di vista fluidodinamico non si hanno grandi perdite, dato che non è la corrente del fiume che permette l'adduzione dell'acqua ma il semplice dislivello tra il pelo libero del fiume ed il fondo della vasca. Il vero problema insorge pensando alle enormi forze derivanti dalla necessità di curvare una grande massa fluida avente una certa velocità. Innanzitutto sono da prevedere opere edili che reggano le spinte idrodinamiche, spinte che determinerebbero altrimenti uno spostamento della tubazione; in secondo luogo queste curvature sono sede di importanti perdite concentrate (poi nel seguito studiate) e di cui è necessario tener conto nel calcolo dell'effettivo dislivello disponibile. In questi casi però la scelta è sempre dettata dalle normative e dall'indispensabile fattore di sicurezza, per cui si è proceduto senza intaccare la briglia.

La vasca di carico verrà costruita parallelamente allo scalino artificiale, il che comporterà una curva brusca per l'ingresso nella tubazione di collegamento alla turbina; nell'impianto "Para 1" il complesso edile dedicato alla captazione dell'acqua è di proporzioni molto elevate, soprattutto perché permesso dal contesto esclusivamente rustico e fuori dai centri abitati, ma nel luogo di costruzione del "Fiumana" le dimensioni sono necessariamente più piccole. I motivi sono da ricercarsi nel minore investimento iniziale possibile grazie ad una migliore progettazione fluidodinamica, nel fatto che in un centro abitato è molto apprezzata una piccola opera poiché imprime un minore impatto visivo, e nei tempi di pulizia e manutenzione sensibilmente ridotti.

Il sottoscritto ha perciò preso in mano quelle che sono state le misure di massima della vasca, costrette per necessità dal sito e dalle normative in auge, ed ha lavorato sulla parte interna, cercando di progettare al meglio la forma da dare all'opera in calcestruzzo per permettere un'ottima desabbiatura e sghiaiatatura ed al contempo le minori perdite di carico possibili, inserendo il tutto nel contesto naturalistico della frazione di Fiumana.

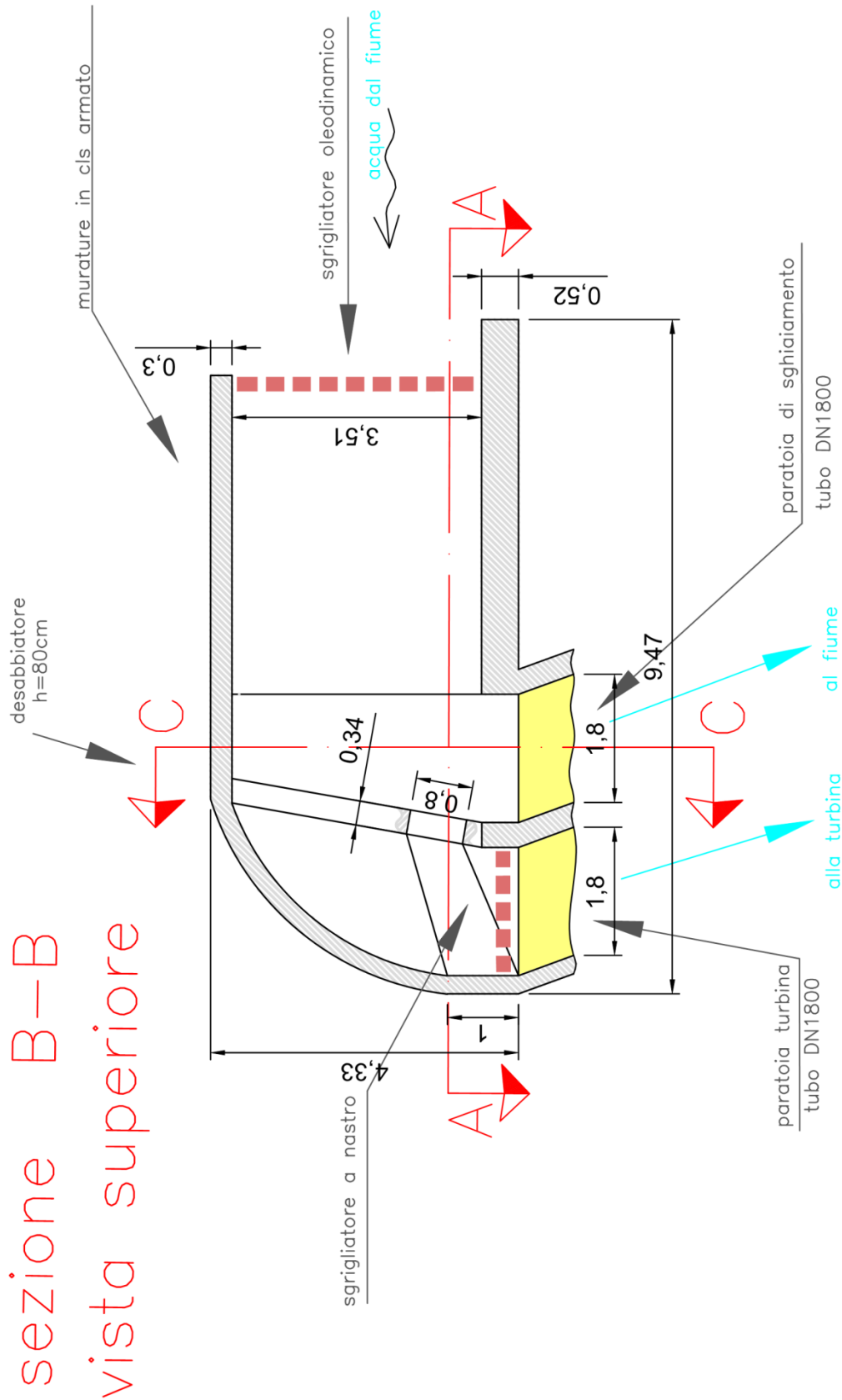
Le forme di massima sono state estrapolate dal disegno presentato in comune per la concessione definitiva di derivazione del fiume Rabbi (il cerchio in verde evidenzia la zona d'installazione dell'impianto):

**Figura 4.7 - Disegno del luogo di futura installazione**



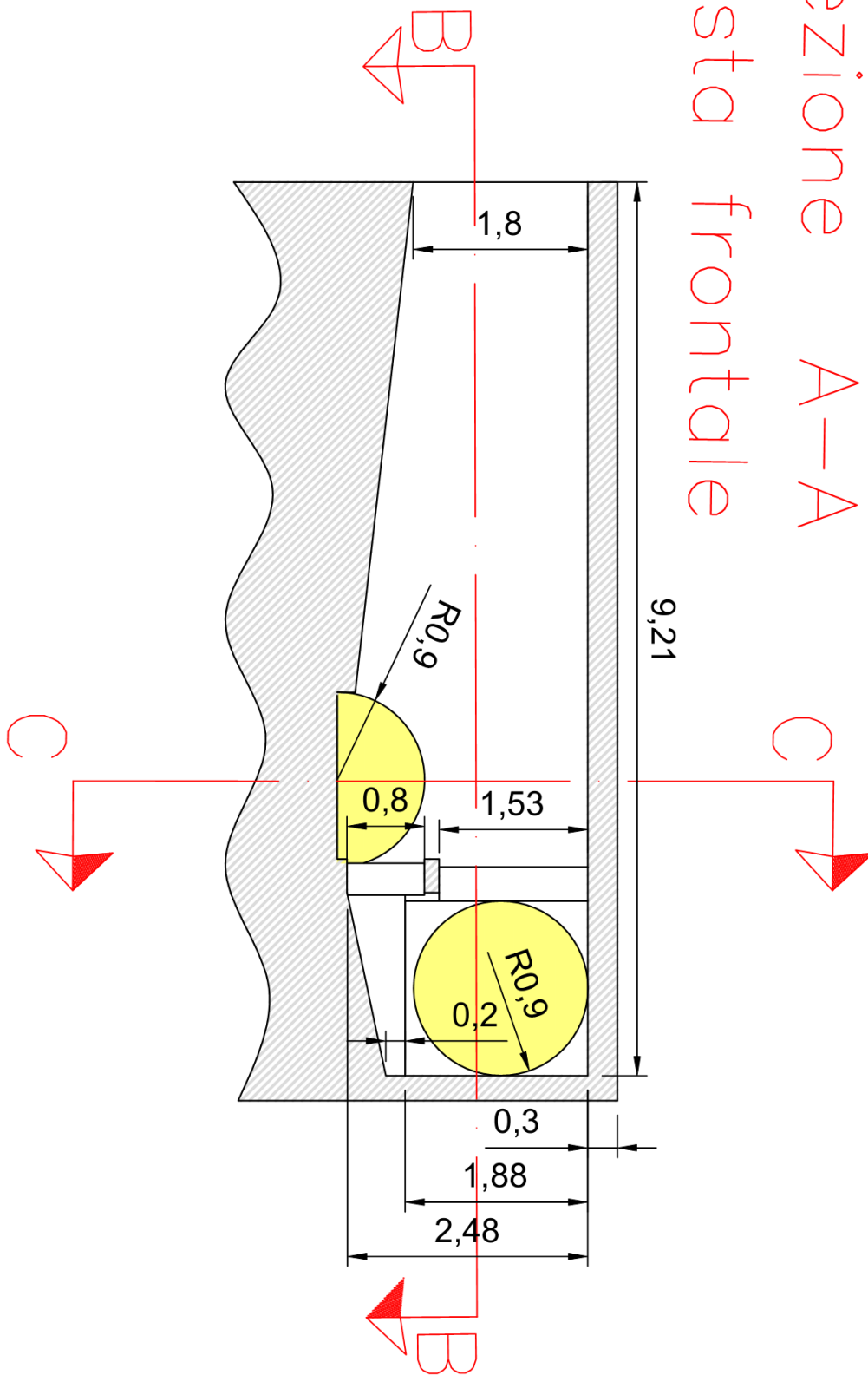


Il disegno del particolare dell'opera di presa poi riportato su larga scala eseguito dal sottoscritto e consegnato all'ingegner Massari, assume invece le seguenti fattezze:

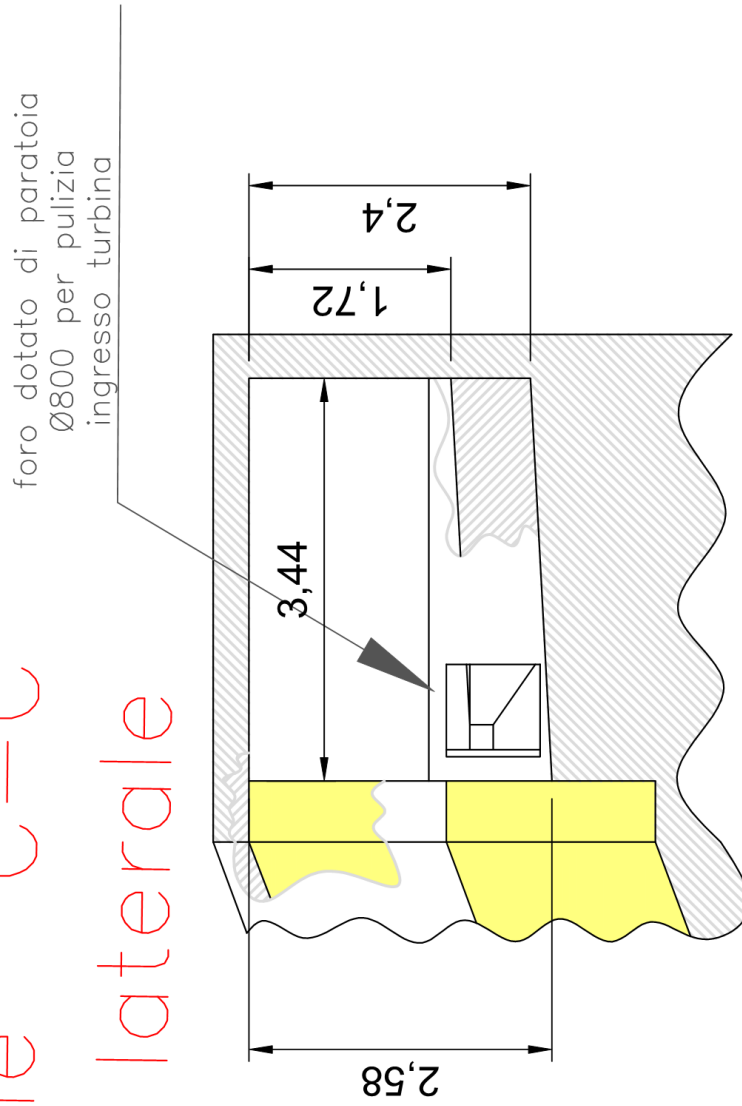




sezione A--A  
vista frontale



sezione C-C  
vista laterale



La vasca così costruita può esser idealmente suddivisa in tre settori:

- 1) zona di ingresso, avente una certa pendenza necessaria per evacuare i detriti depositatisi. Essa possiede un volume di riempimento pari a:

$$V_1 = \left\{ \left[ \frac{(2,4 + 1,8) \cdot 5,27}{2} \right] \cdot 4,48 \right\} [m] = 49,58 [m^3] \approx 50 [m^3];$$

- 2) zona di desabbiatura e sghiaatura, dove si depositano i detriti di vario genere più pesanti dell'acqua, e dove è predisposto il canale per svuotare e ripulire l'intera vasca. Essa possiede un volume pari a:

$$V_2 = \left\{ \left[ \frac{(2,58 + 2,4) \cdot 3,44}{2} \right] \cdot 1,72 \right\} [m] = 14,73 [m^3] \approx 15 [m^3];$$

- 3) zona di carico per la turbina, dove l'acqua viene portata allo sgrigliatore che, filtrandola, la immette nella tubatura. Essa, inglobando il canale di pulizia sul suo fondo, possiede un volume pari a:

$$V_3 = 6 [m^2] \cdot 1,815 [m] + \left[ \left( \frac{1 + 0,8}{2} \cdot 1,95 \right) \cdot 0,395 \right] [m] = 11,6 [m^3] \approx 12 [m^3];$$

la capienza complessiva risulta perciò ammontare a 77 [m<sup>3</sup>]; se confrontata con l'opera costruita per il Para 1, per il quale è richiesta una portata di 600 litri al secondo, si capisce come si sia deciso di mantenere le dimensioni molto più ridotte. Se si rapporta il volume della vasca ad ogni metro cubo di portata al secondo richiesto dall'impianto,

$$\text{Para: } \frac{0,6}{170} = 0,0035 \left[ \frac{m^3 / s}{m^3} \right], \text{ Fiumana: } \frac{2,5}{77} = 0,0324 \left[ \frac{m^3 / s}{m^3} \right],$$

si vede come la vasca per il Para sia 9 volte maggiore di quella per il Rabbi.

Fatte queste considerazioni sulla capienza, si passa all'ambito meccanico; la vasca in oggetto richiede l'utilizzo di due paratoie oleodinamiche:

- la prima posta a chiusura della condotta di sghiaatura, avente dimensioni quadrate con larghezza ed alzata minima pari a 1,5 [m] (per la completa apertura della luce sulla tubatura);
- la seconda, a protezione della tubatura per l'adduzione dell'acqua alla turbina, avente dimensioni quadrate con larghezza ed alzata minima pari a 2 [m].

Lo sgrigliatore è posto in una leggera depressione del terreno per chiudere la maggior quantità di luci possibili ed essere permeabile unicamente ad elementi innocui e soprattutto transitanti in entità limitate. Questo ragionamento si pone nell'ottica che qualunque elemento attraversi la girante della turbina venga distrutto dalle pale stesse, e che la problematica insorga quando il numero di impurità non filtrate causi degli accumuli nel distributore, dei veri e propri "tappi" di elementi organici e non che determinino difformità o interruzioni nella distribuzione dell'acqua.

Nel seguito sono affrontati i calcoli necessari per il dimensionamento di queste problematiche impiantistiche, rapportando i costi e le perdite energetiche all'utile finale.

## 4.2 Lo sgrigliatore per la depurazione dell'acqua

Particolare attenzione è stata richiesta per la scelta dello sgrigliatore in oggetto; i motivi sono sostanzialmente il mantenimento di un alto rendimento impiantistico (la cui diminuzione è sinonimo di elevate perdite economiche), la ridotta manutenzione richiesta, l'investimento iniziale ed il corretto studio della conformazione da conferire al sistema di raccolta dello sgrigliato. La trattazione è quindi passibile di uno studio di fattibilità nel quale rientrano vari parametri come il costo iniziale, il costo di funzionamento e manutenzione, l'entità dell'intervento umano ed il rendimento impiantistico.

Grazie all'esperienza ricavata con il lustrato di funzionamento dell'impianto "Para 1" e per il quale sono stati adottati una serie di diversi accorgimenti, è stato possibile incentrare gli sforzi progettuali su una tipologia specifica di sgrigliatori. In particolare, la captazione dell'acqua dal fiume vede l'installazione di uno sgrigliatore a rete mobile dentata, detto sgrigliatore fine, che scarica lo sgrigliato su un nastro trasportare che a sua volta conduce i rifiuti ad un cassone per la loro raccolta. Nel seguito se ne presenta lo studio di fattibilità, paragonando due diverse soluzioni e valutandone l'effettiva convenienza. Il costo di smaltimento dello sgrigliato, analizzato nella sezione successiva del capitolo, non è ivi preso in considerazione poiché è costante per ognuno dei metodi presentati.

### 1. Griglia a barre verticali.

Impiego di una griglia a barre verticali da pulire manualmente.

**Costo d'acquisto e d'installazione:**

Ammonta a circa 4.000 euro e viene ammortizzato in 20 anni: **200 €/anno**

**Costo di funzionamento:**

**0 €/anno**

**Costo di manutenzione:**

Nei periodi invernali, primaverili ed estivi (escluso agosto, si ha un totale di 8 mesi) è richiesto l'intervento di un operaio per la sua pulizia con frequenza bisettimanale, per circa due ore di lavoro (compreso il viaggio), mentre nel periodo autunnale la cadenza raddoppia (per 3 mesi). Per quantificare:

$$20 \left[ \frac{\text{€}}{h} \right] \cdot 2 \left[ \frac{h}{\text{intervento}} \right] \cdot \left( 8 \text{ mesi} \cdot 2 \frac{\text{interventi}}{\text{mese}} + 3 \text{ mesi} \cdot 4 \frac{\text{interventi}}{\text{mese}} \right) =$$
$$40 \left[ \frac{\text{€}}{\text{intervento}} \right] \cdot 28 \text{ interventi} =$$

**1.120 €/anno**

**Costo di manutenzione del corpo turbina:**

A seguito dell'infiltrazione di ramagli e foglie non bloccati dalla griglia, nei periodi invernali, primaverili ed estivi è richiesto l'intervento di due operai per la pulizia del corpo turbina ogni due mesi, in circa dodici ore di tempo (compreso il viaggio), mentre nel periodo autunnale la cadenza raddoppia. Oltre alla pulizia sono da prevedere eventuali sostituzioni, distribuite per il periodo di attività in 1.000 euro annui. Per quantificare:

$$20 \left[ \frac{\text{€}}{h} \right] \cdot 12 \left[ \frac{h}{\text{interv.}} \right] \cdot 2 \text{ operai} \cdot \left( 8 \text{ mesi} \cdot 0,5 \frac{\text{interv.}}{\text{mese}} + 3 \text{ mesi} \cdot 1 \frac{\text{interv.}}{\text{mese}} \right) + 1.000 \left[ \frac{\text{€}}{\text{anno}} \right] =$$
$$480 \left[ \frac{\text{€}}{\text{intervento}} \right] \cdot 7 \text{ interventi} + 1.000 \left[ \frac{\text{€}}{\text{anno}} \right] =$$

**4.360 €/anno**

### Perdita di rendimento media:

Essa si può solo stimare poiché dipende fortemente dalle condizioni di corrente, dall'entità dei rifiuti trasportati e da molte altre variabili. Mediando tra i periodi più critici e quelli più favorevoli, si può esprimere la variazione di rendimento, tra un intervento e l'altro, di circa il 30 % (in alcuni periodi annuali l'impianto è portato a fermarsi per l'intasamento della griglia), quindi su 11 mesi di funzionamento, si perde in media circa il 15 % di energia producibile con una continua pulizia. Quantificando, con un ricavo annuale stimato (si vedano i capitoli successivi) in 70.000 € ed ammettendo una perdita del 15 %:

**10.500 €/anno**

Annualmente, perciò, le spese ammontano a **16.180 euro** per la prima soluzione, e sono dovute in gran parte alle perdite impiantistiche.

## 2. Sgrigliatore a monte della vasca:

Impiego di uno sgrigliatore a rete mobile dentata con pulizia automatica.

### Costo d'acquisto e d'installazione:

Ammonta a 18.000 [€], considerando un ammortamento in 20 anni: **900 €/anno**

### Costo di funzionamento:

Nei mesi invernali, primaverili ed estivi, esso entra in funzione ogni 4 ore ed il ciclo dura sette minuti e mezzo (una rotazione completa si ha in due minuti e mezzo, ed essa viene ripetuta tre volte per ciclo). Nei mesi autunnali la frequenza viene aumentata ad un ciclo ogni venti minuti. Quantificando, con un consumo di 7 [kWh] degli attuatori (motore dello sgrigliatore e motore del nastro trasportatore, che entra in funzione insieme allo sgrigliatore) ed il costo pari a 0,08 [€/kWh], si trova:

$$7 [kWh] \cdot 7,5 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}} \cdot \frac{1}{60} \frac{h}{\text{min}} \cdot 30 \frac{\text{giorni}}{\text{mese}} \left[ 8 \text{ mesi} \cdot 6 \frac{\text{cicli}}{\text{giorno}} + 3 \text{ mesi} \cdot 52 \frac{\text{cicli}}{\text{giorno}} \right] =$$
$$= 0,875 \left[ \frac{kWh}{\text{ciclo}} \right] \cdot 6.120 \text{ cicli} = 5.355 [kWh] \cdot 0,08 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right] =$$

**430 €/anno**

### Costo di manutenzione:

Si considera ridotta a soli interventi di emergenza o sostitutivi, in media un intervento annuo, sia su turbina che sgrigliatore. Il costo dei materiali si ritiene dimezzato. Per quantificare:

$$20 \left[ \frac{\text{€}}{h} \right] \cdot 12 \left[ \frac{h}{\text{intervento}} \right] \cdot 2 \text{ operai} + 500 \left[ \frac{\text{€}}{\text{anno}} \right] =$$

**980 €/anno**

### Materiali sostitutivi dello sgrigliatore:

Distribuendo su 20 anni il costo:

**500 €/anno**

### Perdita di rendimento media:

Essa non è più funzione dell'opera di filtrazione in oggetto:

**0 €/anno**

Annualmente, perciò, le spese ammontano a **2.810 euro** per la seconda soluzione, che la rendono decisamente migliore anche a fronte di spese iniziali molto consistenti.

Per tali motivi economici, che sempre costituiscono la variabile mancante nei calcoli di un ingegnere, è stato scelto di procedere con uno sgrigliatore a rete mobile dentata per la captazione dell'acqua dal fiume, il quale deve essere sufficientemente robusto per resistere ad eventuali impatti derivanti dalle saltuarie condizioni turbolente dell'acqua del Rabbi. I dati sono stati ricavati dalla migliore offerta scelta tra quelle di varie aziende.

Il sottoscritto ha infatti personalmente contattato e richiesto preventivi per lo sgrigliatore. Le imprese interpellate sono state:

- Lumiei Impianti: fornitrice della turbina, è una ditta di Trento;
- ME.CO.S., di Vicenza;
- Toye Fiore & figlio, di Torino;
- Tecno Energysun, di Massa Carrara;
- Sereco, di Bari;
- Api s.p.a., di Milano;
- SAVI s.r.l., di Mantova;
- Melco s.r.l., di Trento;
- F.lli Baruzzi, di Ravenna.

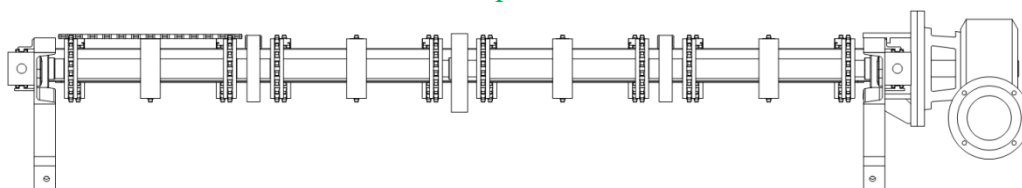
A queste aziende è stata inoltrata la richiesta di un preventivo per lo sgrigliatore, corredato di tutti gli accessori necessari; il sottoscritto ha poi telefonicamente specificato ai vari responsabili le richieste tecnologiche da soddisfare con tali automatismi, anche vagliando eventuali proposte differenti dettate dall'esperienza di tali ditte. Non è possibile, per motivi di privacy, scrivere in questo elaborato gli importi esatti proposti, per cui ci si limiterà ad indicare le specifiche tecniche degli sgrigliatori dal miglior rapporto qualità-prezzo. Anche i costi indicati sopra nello studio di fattibilità sono puramente dimostrativi, passibili di variazioni anche per via delle condizioni reali in cui si eseguiranno poi le installazioni.

Il migliore compromesso qualità – prezzo, anche per via della soluzione ingegneristicamente molto azzeccata, è stato presentato proprio dalla “Lumiei Impianti”, che ha proposto cifre d’investimento iniziali molto più basse. Un motivo di questa differenza importante di prezzo risiede nel fatto che molte aziende sopra citate possiedono un know-how impostato su impianti di grandi dimensioni, ed i propri sgrigliatori possono essere solo ridimensionati e non riprogettati da zero e consoni al contesto in questione, il che comporta comunque un prezzo maggiore sulla carta, nonché peso, consumi e ingombri molto più elevati. La soluzione che sarà adottata sull’impianto di Fiumana è invece molto snella, funzionale e compatta, con un impatto visivo veramente ridotto, come si potrà vedere nei disegni esecutivi riportati nel capitolo quinto.

I prospetti inseriti di seguito mostrano la conformazione dello sgrigliatore a rete che sarà installato davanti l’ingresso della presa dell’acqua fluente; la rappresentazione grafica specifica che sarà utilizzata per l’assemblamento delle parti meccaniche non può essere inserita per via del copyright aziendale, ma si forniscono le misure riportate a disegno; nell’immagine frontale è mostrato l’aspetto della rete montata su un singolo elemento a sinistra, per permettere di visualizzare anche la struttura sottostante di sostegno. La luce di apertura della rete, cioè la sezione che l’acqua dovrà attraversare, è quadrata e di lato pari a 20 [mm], misura che rappresenta il miglior compromesso tra efficienza di filtrazione e perdita di carico ridotta.

Per poter pulire tale rete, lo sgrigliatore è collegato ad un motore elettrico con una potenza di 5 [kW], mentre il nastro trasportatore per l’evacuazione dello sgrigliato è servito da un motore da 2 [kW], che entrano in funzione con le cadenze sopra riportate.

Vista superiore



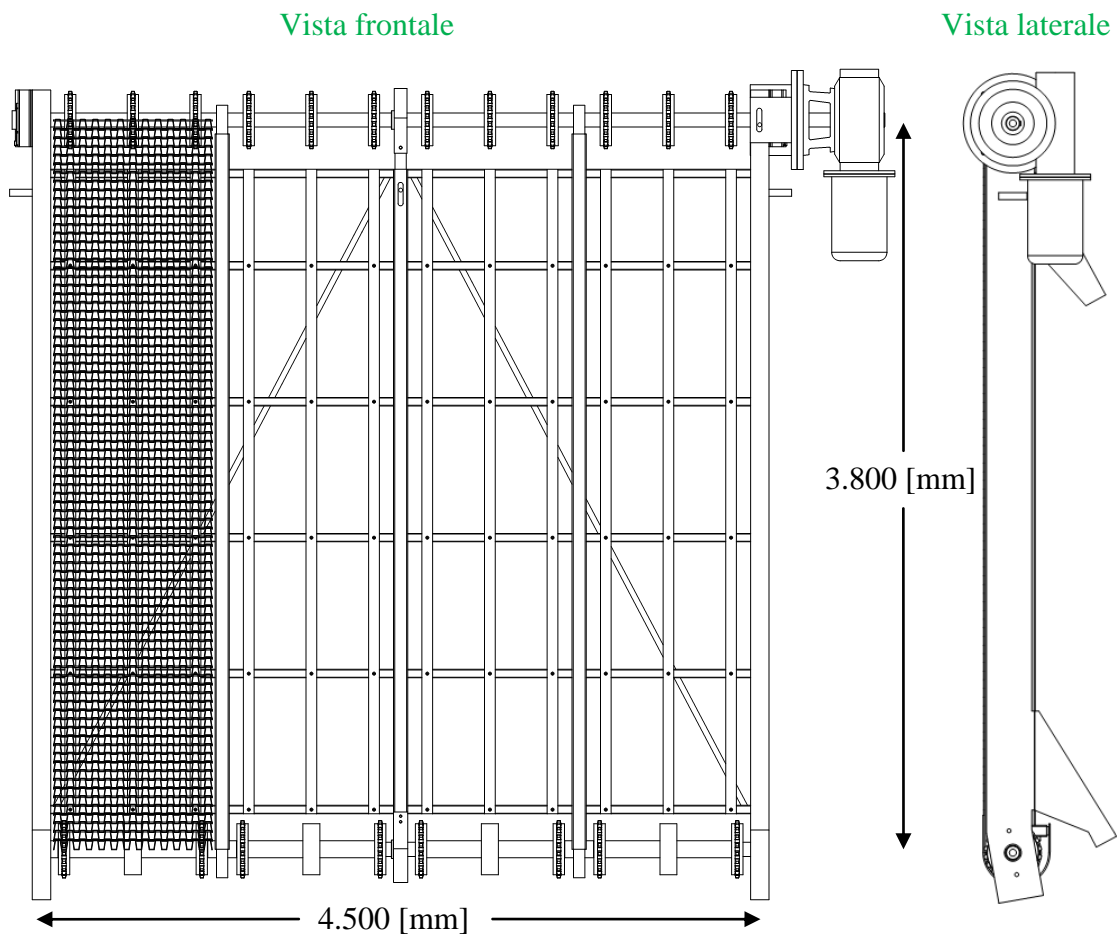
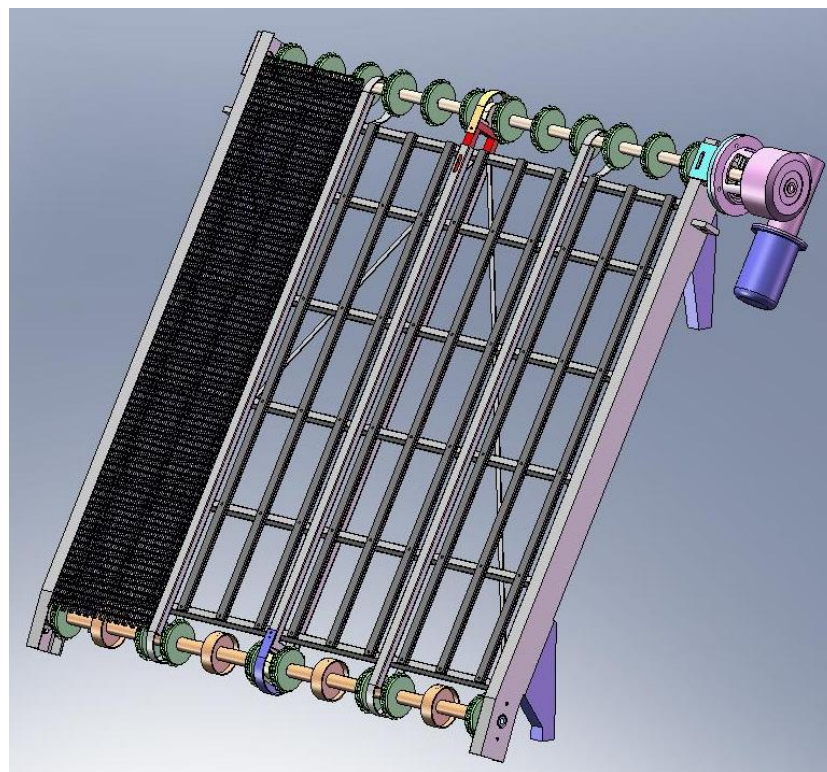


Figura 4.8 - Vista d'insieme dello sgrigliatore a nastro





Un'ulteriore tipologia di sgrigliatore adottabile per l'impianto in oggetto, proposto da tante delle aziende interpellate, è del tipo oleodinamico a barre verticali. Esso è costituito da una griglia che blocca i detriti, come quella presentata nella prima soluzione, e da un automatismo con un attuatore oleodinamico provvisto di una benna che si impegna sulla griglia per pulirla saltuariamente, mantenendosi all'asciutto quando non in funzione. In sostanza corrisponde al primo tipo di sgrigliatore adottato sull'impianto "Para 1", di cui nel capitolo precedente si è largamente disquisito, il quale per la caratteristica dei fiumi romagnoli non presenta le corrette proprietà. Le immagini successive mostrano l'evoluzione nella scelta sul "Para 1", a sinistra con lo sgrigliatore oleodinamico poi sostituito con uno a nastro, raffigurato nella foto di destra.

**Figura 4.9 - L'evoluzione sull'impianto "Para 1"**



Dalle foto è possibile capire alcuni dei perché della scelta di uno sgrigliatore a nastro, ed i motivi possono essere così raggruppati:

- minore efficienza delle barre verticali rispetto la rete mobile, che si traduce in un filtraggio insufficiente dell'acqua fluviale;
- viste le dimensioni molto elevate della luce della vasca (nell'impianto di Fiumana saranno pari al triplo di quelle visibili nelle immagini sopra), sono richiesti un attuatore ed una benna di considerevoli dimensioni, i quali fanno lievitare il prezzo fino a tre volte rispetto il costo di uno sgrigliatore a nastro;
- manutenzione e ricambi, sempre a motivo delle dimensioni consistenti, risultano essere molto dispendiosi;
- ingombro verticale e impatto visivo molto più contenuti per la soluzione a rete mobile, e questa particolarità risulta essere molto gradita in un centro abitato come quello di Fiumana;
- il peso dell'organo meccanico e del sistema oleodinamico avrebbero richiesto una base di sostegno molto robusta, costringendo a coprire la vasca di captazione con una trave di cemento armato molto estesa e resistente, mentre lo sgrigliatore a nastro richiede unicamente dei sostegni laterali ed il peso è molto contenuto.

### 4.3 Lo smaltimento dello sgrigliato

Le normative vigenti fanno espresso divieto di rigettare lo sgrigliato nel fiume, dato che una volta che esso arriva a contatto con lo sgrigliatore diventa automaticamente un rifiuto e come tale deve esser trattato. Si è per questo studiato un cassone capace di contenere la giusta quantità di ramagli, foglie, tronchi e quant'altro venga rimosso dai due sgrigliatori, e che consenta di ridurre al minimo i viaggi necessariamente da compiere alla discarica. Un'idea in merito del sottoscritto, poi personalmente portata avanti, è stata prendere accordi con Hera per la gestione dei rifiuti, e verificare la presenza di incentivi qualora essi si fossero autotrasportati a spese dell'azienda alla discarica. In tale caso non è possibile fare uno studio di fattibilità poiché la gestione dei rifiuti è un aspetto obbligatoriamente da prendere in considerazione soprattutto in un centro abitato, ciò che si deve provare a fare è rimetterci il meno possibile, confrontando varie soluzioni.

L'idea si può così riassumere: se un privato o un ente della provincia di Forlì-Cesena trasporta i propri rifiuti già differenziati ad una discarica, riceve uno sconto sulla tassa di igiene ambientale di 0,05 euro per ogni chilogrammo consegnato. Logicamente si ragiona a peso e non a volume, poiché gli automezzi per la pulizia dei cassonetti hanno una portata in fatto di peso, mentre il volume viene ridotto grazie a compressioni meccaniche. Sulla base di questo fatto, ed essendo presente una discarica a Predappio, a circa 6 chilometri di distanza dall'impianto idroelettrico, il sottoscritto ha contattato l'Hera e richiesto se fossero presenti o meno incentivi. Operativamente, il cassone per la raccolta dello sgrigliato deve avere una capacità tale da evitare il proprio riempimento in un arco di tempo troppo breve, al contempo non può esser sovradimensionato a motivo degli ingombri e dell'investimento iniziale.

In tale caso, per norme igieniche e per non permettere al rifiuto di marcire ed emanare cattivi odori, si impone un limite minimo di viaggi quantificato in due al mese per i periodi autunnale e primaverile, in uno al mese per il periodo invernale ed in un unico viaggio alla fine del periodo estivo. Secondo stime eseguite sulla base di vari sopralluoghi in diversi frangenti annuali e grazie all'esperienza raccolta con altri impianti, si è calcolato che in due settimane autunnali si accatasta una quantità di rifiuto nella misura massima di 2 metri cubi a settimana, corrispondenti a circa 4 quintali. Per considerare un certo fattore di sicurezza ed evitare fuoriuscite di sgrigliato, il volume capacitivo del cassone atto alla raccolta dello sgrigliato è posto a 5 metri cubi.

Sulla base di questi dati e sull'ingombro presentato da tali rifiuti, si è scelto di noleggiare giornalmente un autocarro provvisto di gru e cassone aperto di portata pari a 40 quintali. Nel prezzo di noleggio è compresa una distanza di 100 chilometri massimi percorsi, più che sufficienti a coprire il tragitto autonoleggio – impianto – discarica – autonoleggio.

I dati sui quali si sono basate le considerazioni economiche sono i seguenti:

- massima entità di rifiuto catturato dal fiume: 2 [m<sup>3</sup>/settimana];
- peso specifico medio del rifiuto: 200 [kg/m<sup>3</sup>];
- massima quantità di rifiuto con incentivi economici: 3 [m<sup>3</sup>/conferimento];
- beneficio economico: 0,05 [€/kg];
- costo del trasporto, comprensivo di noleggio dell'autocarro con gru ed operatore, ivato: 100 [€/giorno];
- costo del cassone: 3.000 [€];
- rata dell'ammortamento in 20 anni: 150 [€/anno];

Considerando la quantità massima di rifiuto differenziato passibile di incentivi economici, i quali sono intesi unicamente come "aiuto" al costo totale di smaltimento, ed il fatto che il costo per ogni singolo trasporto è racchiuso completamente nel noleggio dell'autocarro e

dell'operatore addetto, si sono eseguiti i seguenti calcoli per stimare il costo annuo di smaltimento dello sgrigliato:

- numero di viaggi annui necessari:

$$1[\text{viaggio estate}] + 2\left[\frac{\text{viaggi}}{\text{mese}}\right] \cdot 6[\text{mesi autunno} - \text{primavera}] + 1 \cdot \left[\frac{\text{viaggio}}{\text{mese}}\right] \cdot 3[\text{mesi inverno}] = 16\left[\frac{\text{viaggi}}{\text{anno}}\right];$$

- beneficio economico per il conferimento dello sgrigliato:

$$16\left[\frac{\text{viaggi}}{\text{anno}}\right] \cdot \left\{ 3\left[\frac{\text{m}^3 \text{ max}}{\text{viaggio}}\right] \cdot 200\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \cdot 0,05\left[\frac{\text{€}}{\text{kg}}\right] \right\} = 480\left[\frac{\text{€}}{\text{anno}}\right];$$

- costi di ammortamento e trasporto:

$$150\left[\frac{\text{€}}{\text{anno}}\right] + \left\{ 100\left[\frac{\text{€}}{\text{viaggio}}\right] \cdot 16\left[\frac{\text{viaggi}}{\text{anno}}\right] \right\} = 1.750\left[\frac{\text{€}}{\text{anno}}\right].$$

Il costo annuo dello smaltimento dei rifiuti ammonta perciò a **1.280 [€]**.

#### 4.4 Gli strumenti per il controllo e la regolazione

In questo paragrafo si vogliono riportare gli elementi più importanti del sistema di regolazione di portata, velocità e livello dell'acqua; sensori e attuatori sono infatti i punti nevralgici della produzione di energia idroelettrica. Conoscendo il più precisamente possibile i dati di funzionamento si vanno a regolare i parametri in modo da mantenere la quantità di energia prodotta ai livelli massimi. Trattandosi di un impianto idroelettrico e non dovendo utilizzare carburante, è bene ricordare che a fronte di un minor rendimento si preferisce sempre e comunque una produzione più consistente di energia, poiché “non si butta via niente”; è compito del PLC fare in modo di ottimizzare tutte le regolazioni adattando il sistema alle situazioni che si presentano. Il controllo si rende necessario anche a livello normativo, dovendo mantenere il DMV fluviale e non potendo eccedere la portata massima derivabile: il livellostato permette infatti al fluido nella vasca di non scendere mai sotto alla minima quota consentita, che è quella necessaria alla gaveta per permettere il transito di 170 litri al secondo; altresì importante è il discorso della portata massima derivabile, concessa in 2,5 metri cubi al secondo, oltre la quale non ci si può quindi spingere.

Riassumendo, i sistemi di regolazione sono necessari sia per produrre più energia possibile adattando il funzionamento dell'impianto alle condizioni di portata del fiume, sia di mantenere gli standard all'interno dei limiti normativi imposti nella concessione di derivazione; ultimo ma non meno importante motivo è la protezione dell'impianto, in quanto un sistema di sensori riesce a percepire anomalie e ad intervenire prima che si verifichino danni irreparabili su turbina e/o alternatore.

Di seguito sono indicati i sistemi di monitoraggio e regolazione proposti dal sottoscritto all'ingegner Massari, il quale ha caldamente consigliato l'azienda “Terry Ferraris & C.” di Milano, che si occupa di strumenti di misura per l'automazione industriale. Nei suoi cataloghi è perciò stata scelta la strumentazione migliore per l'impianto in questione, tenendo conto di una serie di fattori fondamentali quali: la pressione e la velocità del fluido, la quantità di solidi sospesi nell'acqua, la comodità di installazione, il tipo di strutture costruite, la destinazione d'uso di ogni sensore,...

Sono stati identificati quattro strumenti fondamentali, necessari e sufficienti per il buon funzionamento impiantistico, che comunque saranno espandibili con altri per una miglior precisione e controllo. In tal senso per impianto si intende la parte dedicata all'opera di presa, poiché la strumentazione sulla turbina e sull'alternatore sarà fornita dalla “Lumiei Impianti”; ogni sistema sarà comunque in continua comunicazione con il PLC, che gestirà ogni singolo parametro. Di seguito sono elencati i sistemi di misura personalmente scelti e proposti all'ingegner Massari, con il quale è stato poi pensato il modo di implementarli sull'opera di presa stessa.



### 1. Misuratore di livello a ultrasuoni: MU-C

Per mantenere il livello nella vasca alla giusta altezza si è scelto un misuratore ad ultrasuoni da porre esternamente all'acqua. I benefici sono facilmente immaginabili, e si riassumono nell'assenza di incrostazioni su eventuali parti sommerse e soprattutto, anche a fronte di elevate velocità del fluido per condizioni di piena del fiume, nell'annullamento del rischio di danneggiamenti.



Figura 4.10 - Posizionamento

La sua funzione fondamentale è comunicare al PLC il livello di acqua nella vasca di captazione, il quale agirà sulla valvola di regolazione della portata posta sulla tubatura principale e sulla posizione delle palette del distributore. È con questo strumento che si mantiene il funziona-



Figura 4.11 - Il misuratore di livello

mento dell'impianto entro i limiti imposti per legge, cioè senza eccedere la portata massima derivabile e senza sottrarre il DMV del fiume. Ne sono disponibili tre versioni, il cui range di funzionamento varia da 3 a 10 metri di altezza; per il caso d'interesse è sufficiente la versione meno potente, e verrà posta nella parete adiacente la tubatura per l'adduzione dell'acqua alla turbina. I motivi di questa scelta risiedono nel fatto che in quel punto i moti vorticosi generatisi nel desabbiatore sono nel punto di massimo smorzamento e, eccetto rari casi di piene, la misura si presenterà più regolare possibile. Tale strumento si può collegare con due o tre fili, e nel caso in oggetto la conformazione trifilare permetterà misura e controllo del livello di fluido. Altra particolarità riguarda la possibilità di implementare la geometria della vasca, che in base alla quota misurata permette al misuratore ad ultrasuoni di fornire anche il volume di acqua presente in un dato momento.

### 2. Misuratore di portata a effetto Doppler: MD 40

Tale strumento è stato pensato per verificare l'effettiva portata e quindi la velocità del fluido all'interno della tubazione grazie ad un sistema emettitore-ricevitore che analizza la riflessione/rifrazione di segnali ultrasonori da parte delle particelle di fluido e non. Il tutto è applicato all'esterno della tubazione e funziona anche in condizioni di fluido non pulito, come avverrà molto spesso nel contesto di Fiumana per via di particelle di fango



Figura 4.13 - La ricezione dei dati

in sospensione o materiale organico transitati attraverso le maglie degli sgrigliatori. Lavorando esternamente al tubo si garantisce una maggior durata e precisione, evitando anche di praticare dei fori. Non è una strumentazione strettamente necessaria, ma la conoscenza dell'entità della portata concorre ad una buona regolazione della posizione del distributore per ottenere il mas-



Figura 4.12 - I sensori per la misura



simo dall'energia disponibile. Essendo ogni impianto idroelettrico a sé stante, col passare del tempo e l'acquisizione della giusta esperienza sul Rabbi sarà possibile individuare le conformazioni migliori per produrre più elettricità possibile.

### 3. Misuratore del livello dell'interfaccia solido-liquido: Stratigrafo



Misuratore necessario per conoscere l'entità del deposito di detriti nella vasca di desabbiatura-sghiaiatore e comandare quindi la paratoia per la sua pulizia. È stato scelto uno strumento non a contatto con i detriti, per via del movimento che possono avere e dei conseguenti danni che possono causare impattando contro le aste di altri misuratori a microonde (pensati per sedimenti di fanghiglia e non per massi di certe dimensioni). Funzionante grazie ad un'innovativa tecnologia ultrasonora, il sensore è immerso in acqua e grazie all'eco che si presenta è in grado di fornire la misura della quota del deposito sul fondo (per il principio fisico è molto simile al sonar di una nave). Collegato al PLC che a sua volta comanda la paratoia per la pulizia della vasca, è uno strumento fondamentale in vista dell'automazione completa; la sua corretta impostazione permette di mantenere un basso livello di detriti

Figura 4.14- Il sensore

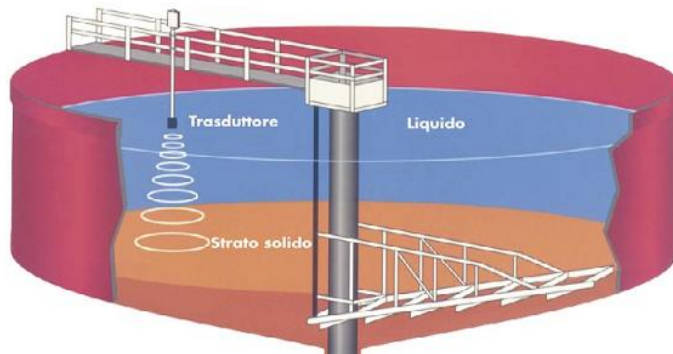


Figura 4.15 - Modalità di funzionamento dello stratigrafo

e al contempo limitare al massimo le fermate impianto; aprendo parzialmente la paratoia nei periodi di piena la desabbiatura-sghiaiatore è fattibile anche con impianto in funzione. La collocazione della strumentazione è stata proposta sulla parete opposta alla paratoia per la pulizia della vasca, in corrispondenza dell'asse di quest'ultima.

### 4. Centralina per la gestione dei dati in ingresso e l'invio al PLC: AquaRanger 3

Essa è una stazione intermedia che riceve tutti i dati, li digitalizza in tensione e li invia al PLC del sistema, il quale poi deciderà come utilizzarli per far rendere al massimo l'impianto. Anche in tal caso può apparire come strumento superfluo, poiché ognuno dei sensori sopra citati è in grado autonomamente di comunicare con il PLC, ma rappresenta comunque un buon investimento per il continuo controllo degli input dei misuratori e la supervisione del corretto funzionamento impiantistico, permettendo anche di agire direttamente in loco per la taratura o le impostazioni avanzate.



Figura 4.16 - La centralina per la gestione degli strumenti

#### 4.5 La luce a stramazzo sulla briglia per il DMV

Il DMV del fiume verrà assicurato e mantenuto grazie ad un incavo trapezoidale realizzato al centro della briglia stessa; ovviamente, la base dovrà possedere una quota inferiore a quella del livello del pelo libero della presa di una quantità sufficiente a consentire la minima portata di 170 litri al secondo. Inizialmente era stata impostato, come valore approssimato, una larghezza di 2,5 metri ed una profondità di 15 centimetri. Per ottimizzare il tutto, non riducendo la portata d'acqua da turbinare e non fuoriuscendo dai limiti normativi, il sottoscritto ha verificato il dimensionamento e proposto dei miglioramenti. La briglia, secondo il progetto di consolidamento dell'anno 1974 eseguito dall'ingegner Vittorio di Gennaro, presenta la struttura indicata nei successivi disegni, riportanti rispettivamente la vista laterale e quella superiore (la scarsa qualità delle immagini è dovuta alla datazione dei documenti ritrovati nei catasti comunali):

Figura 4.17- Il progetto della briglia, vista in destra idraulica

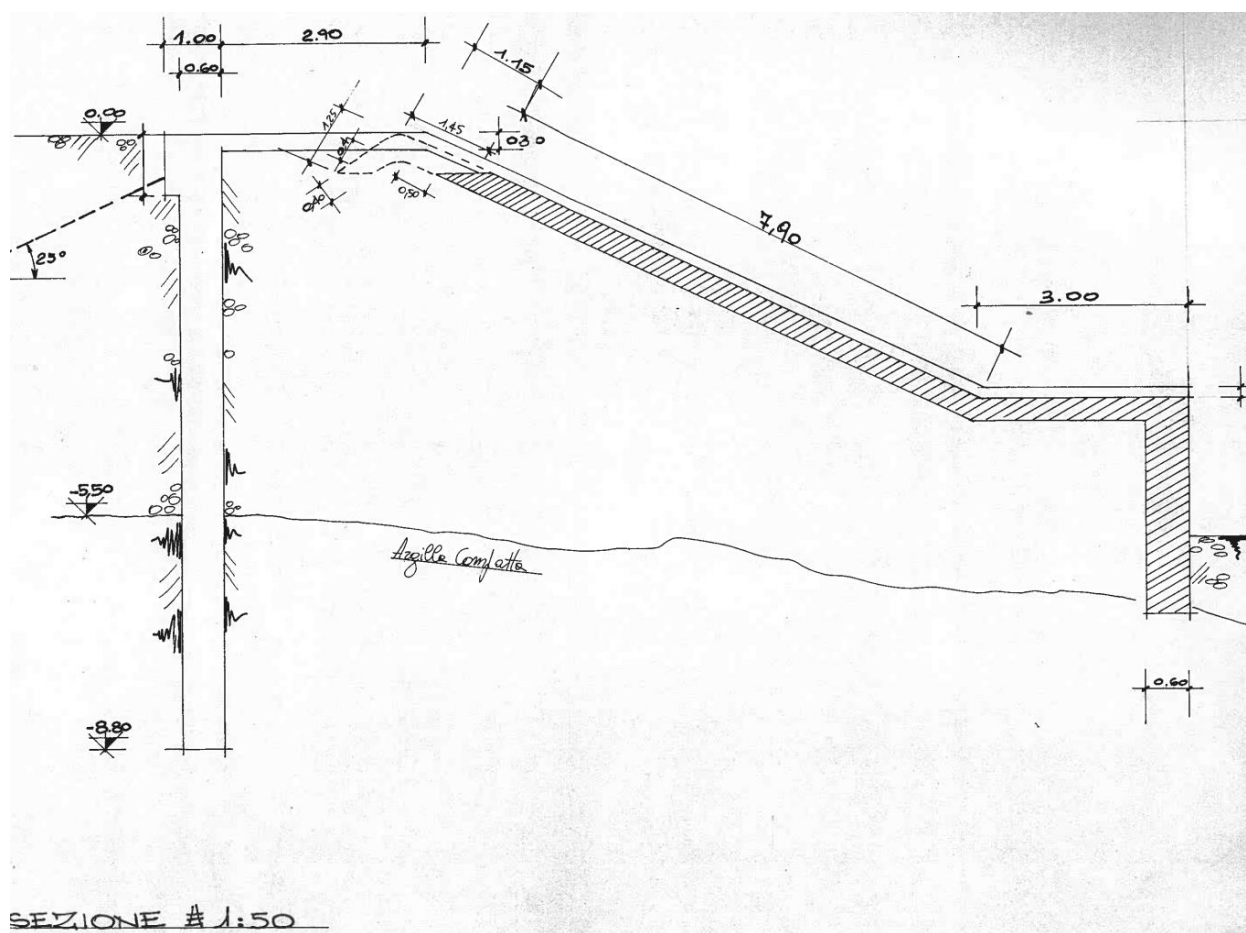
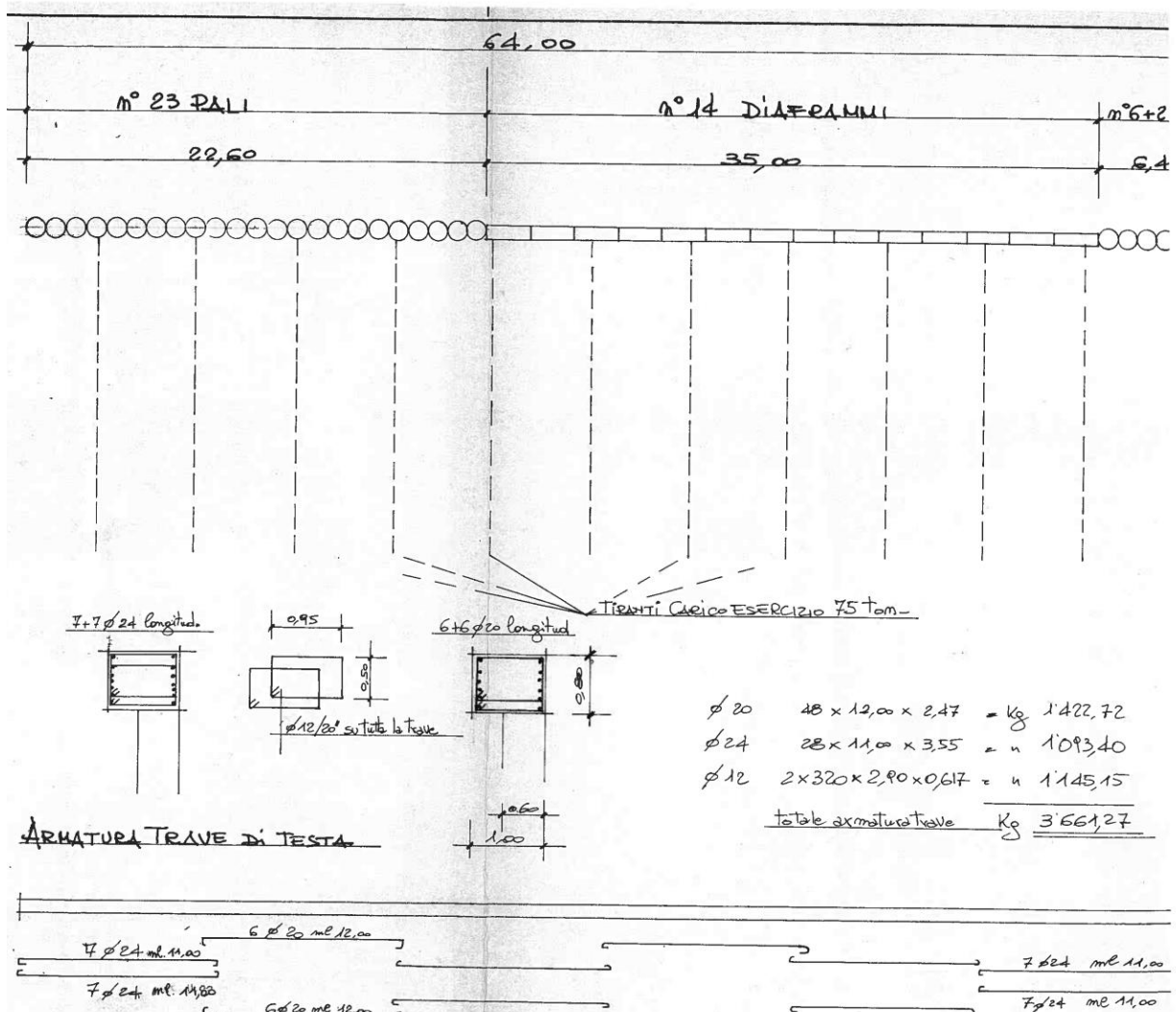


Figura 4. 18 - Schema strutturale dei rinforzi



Per il calcolo si suppongono noti e costanti i tali dati:

- ✓ deflusso minimo vitale del fiume, o DMV: 170 [l/s];
- ✓ quota del pelo libero costante;
- ✓ larghezza massima della gaveta: 2,5 metri

dai progetti originali dei lavori di consolidamento della briglia, emerge la suddivisione, poi riportata in disegno, di 31 pali posti alle estremità e di 14 diaframmi centrali per 35 metri di lunghezza, con un interstizio di 2,5 metri, che sarà la massima misura adottabile per l'incavo.

Da manuali d'idraulica e da conoscenze pregresse:

- correlazione di Bèlanger per luci a stramazzo in parete grossa:

$$Q = 0,385 \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\left(\frac{3}{2}\right)} \cdot L;$$

dove L è la larghezza della luce, g l'accelerazione di gravità, Q la portata, h l'altezza (in questo caso incognita) della luce, 0,385 un coefficiente di efflusso da parete grossa;



- per una gaveta rettangolare, la correlazione diventa:  $h=0,7 \cdot \left(\frac{Q}{L}\right)^{\frac{2}{3}}$

nella quale, inserendo i valori, si ottiene:

$$h=0,7 \cdot \left(\frac{0,17 \left[\frac{m^3}{s}\right]}{2,5[m]}\right)^{\frac{2}{3}} = 0,116619[m] \approx 11,66[cm]$$

Il valore ottenuto, ridotto rispetto quello inizialmente ipotizzato, permette una più precisa portata del DMV fluviale ed al contempo minori perdite impiantistiche; il tutto si può quantificare, con 15 centimetri di scavo, in una portata di 248 litri al secondo, valore superiore del 46 % al minimo consentito e che costituirebbe, in casi in cui sia necessaria quella minima portata di 80 litri al secondo in più, anche un motivo di fermata dell'impianto; esso

infatti non può funzionare con portate inferiori al 30% della portata di progetto, la turbina si ferma perché non riesce più a sopperire alla richiesta di coppia dell'alternatore. Per questi motivi un accurato dimensionamento della gaveta permette di evitare fermate dell'impianto indesiderate e al contempo aumentare la potenza prodotta quando la portata fluviale è ridotta. Con un valore approssimato a 12 centimetri, si ottiene un più ragionevole errore del 5 %, con 8 litri al secondo in più, sufficiente a lavorare in sicurezza



Figura 4.19 - Posizionamento della gaveta, vista satellitare



Figura 4.20 - Posizionamento della gaveta, vista dalla sponda destra

nel rispetto delle normative.

Nelle foto a lato e sotto, si evidenziano rispettivamente il posizionamento della gaveta (vista satellitare) e la sua forma.

Nel corso dello studio di approfondimento, però, il sottoscritto si è reso conto di una problematica riguardante il convogliamento dell'acqua nella vasca di captazione; il tutto è

incentrato sul livello di acqua presente nell'invaso artificialmente creato dalla briglia, che nei periodi di scarsa portata fluviale risulta estremamente basso. Il primo approccio seguito, per il quale sono stati implementati dei calcoli nel foglio di lavoro preparato per l'azienda, si è basato sull'abbassamento del livello del letto fluviale mediante l'asportazione di pietre e terreno. In sostanza si sarebbe trattato di creare una depressione graduale dal centro del corso d'acqua fino alla vasca, per invitare il fluido ad entrarvi ed assicurare così la massima portata ammissibile, dalla concessione dello sfruttamento idrico e dalle condizioni di portata del fiume. Come succede nella maggior parte dei casi, però, la soluzione ingegneristicamente più furba non coincide con le volontà di tutti gli attori interessati nel contesto in esame. In questo particolare caso si è fatto divieto di modificare il letto del fiume, anche se superficialmente non si avrebbero variazioni, per cui ci si dovrà accontentare di costruire la presa della vasca dell'altezza desiderata ed attendere che la forza dell'acqua ed i fenomeni naturali lavorino per equilibrare il tutto.

La soluzione ottimale per tale problematica, quindi, si presenta in un controllo proporzionale del livello dell'acqua della vasca con un livellostato che comandi una valvola di regolazione a monte della turbina. Tale valvola è richiesta anche per il sezionamento della parte meccanica dell'impianto, così da potervi intervenire in sicurezza, e sarà utilizzata anche per regolare il minimo deflusso vitale del fiume: il procedimento logico seguito è a prova di errore, basandosi unicamente sul livello dell'acqua nella vasca che dovrà perciò esser costruita con un alto grado di precisione. Tale livello coincide con l'estremo inferiore della gaveta; quando il livellostato avverte dei cali chiude in modo proporzionale la valvola di regolazione fino a ristabilire il livello ottimale; se il fiume non presenta corpose variazioni nella portata in archi temporali ristretti (il che significherebbe grandi portate, e non è questo l'ambito), tale sistema tende all'equilibrio quasi perfetto, senza l'aggiunta di controlli integrali o derivativi poiché superflui; trattandosi di un corso d'acqua con una consistente portata ed essendo i casi di portata ridotta appena descritti appartenenti a finestre temporali molto piccole, si suppone sufficiente agire in tale senso.

Un altro sistema immaginato e proposto all'ingegner Massari, consiste nel mantenere il DMV agendo sulla paratoia di sghiaiatrice, aprendola cioè di una quantità sufficiente a far transitare la portata richiesta. Questa soluzione permetterebbe anche una miglior pulizia da sabbia e sassi di piccole dimensioni, trascinati dalla forza della corrente. Anche in tal caso, però, ci si scontra con un muro molto alto che è l'opinione pubblica, che vieta di prosciugare la briglia anche se per pochi giorni all'anno, dato che nei mesi estivi l'impianto deve comunque essere mantenuto spento.

Il sottoscritto non è contro gli ecologisti, ma rimane fermamente convinto del fatto che ogni sito debba essere analizzato intelligentemente. In alcuni casi il DMV è infatti giustamente da mantenere per non prosciugare il letto fluviale e non distruggere la flora e la fauna, ad esempio quando le tubature coprono centinaia di metri. In questo frangente, però, l'opera umana ha già ampiamente modificato l'aspetto naturale, creando uno sbarramento di cemento armato che l'impianto idroelettrico semplicemente bypassa. Certi divieti quindi sembrano mossi più per generalizzare alcune leggi che per dimostrare di aver effettivamente ragionato sulle potenzialità del sito. È da ricordare il fatto che impianti come questi creano un minimo impatto ambientale a fronte di grandi quantitativi di inquinamento risparmiati.



#### 4.6 La tubatura per l'adduzione dell'acqua alla turbina

Il progetto ha richiesto lo studio ottimizzato della tubazione da adottare per trasferire l'acqua dalla vasca di sedimentazione al corpo turbina. A differenza degli altri impianti, in questo particolare frangente il salto disponibile è minimo ed al contempo è molto ridotta la distanza che l'acqua deve percorrere. La linea di principio è sempre quella della “velocità economica”, ottenuta confrontando i valori di perdita di carico, di durata dell'impianto e di costo della tubazione. Essendo le metrature ridotte, anche a fronte di un costo unitario molto elevato è buona norma ridurre al massimo le perdite di carico. Nel seguito viene presentata l'analisi economica ed analitica effettuata dal sottoscritto per giungere alla scelta della corretta tipologia di tubatura finale, sia dal punto di vista del materiale sia da quello delle dimensioni nominali.

Il materiale da impiegare per le tubature di questo genere di impianti può essere di vario tipo, ad esempio in acciaio, in calcestruzzo, in PVC, in resina poliestere... genericamente, il calcestruzzo non viene mai usato perché la sua scabrezza molto alta genera perdite di carico eccessive e quindi viene sempre scartato, anche per la pesantezza, per la difficoltà di montaggio e per la tendenza a corrodersi; resta comunque il materiale principalmente utilizzato per gli scarichi fognari perché molto economico e resistente, e sarà perciò utilizzato per il condotto di sghiaiatura e desabbiatura. I materiali metallici come acciaio od altre leghe vengono utilizzate soprattutto dove sono richieste capacità meccaniche altrimenti non ottenibili, come nel caso della diga di Quarto con la tubatura sospesa che costeggia il crinale della collina; sicuramente il rapporto peso/resistenza è a favore di questi materiali.

Le resine polimeriche sono gli ultimi ritrovati in fatto di trasporto dell'acqua, ed i tubi così costruiti vengono progettati per prestazioni a gravità, dove cioè non vi sono sovrappressioni, oppure per l'utilizzo con più atmosfere; i punti di forza sono la leggerezza e la superficie a specchio presentata dall'interno di tali tubazioni, nonché la totale assenza di manutenzione. Nel contesto in esame la scelta migliore è sicuramente il prodotto della ditta Hobas, un tubo composto da una resina poliestere insatura rinforzata con fibra di vetro e materiali inerti, elementi che svolgono i seguenti compiti:

- è richiesta la più bassa perdita di carico possibile essendo minimo il dislivello, e la scabrezza irrisoria della superficie interna di tali tubazioni, ottenuta grazie alla forza centrifuga conferita durante l'applicazione della resina, è la giusta soluzione a questa problematica;
- la resina ricoprente gli altri elementi di rinforzo è scelta del tipo corretto per resistere alle varie condizioni di corrosione, per cui in questo caso si possono scegliere tipologie più economiche essendo acqua il fluido trasportato;
- la fibra di vetro in spezzoni (con diametri da 10 a 20 [ $\mu\text{m}$ ]) aumenta la resistenza a flessione e trazione, diminuendo il rischio di rotture accidentali o dovute a stress durante l'esercizio;
- i materiali inerti sono adatti ad assorbire le sollecitazioni di compressione, quindi vengono adoperati nella parte della tubazione atta a questo tipo di sforzo e che la rende adatta a impieghi “a gravità” anche interrati;
- rugosità interna  $\leq 0,015$  [mm];
- insensibilità a gelo e ad alte temperature (critiche per i materiali metallici);
- resistenza a carichi statici;
- resistenza chimica;
- i costi di trasporto e montaggio sono compresi nella fornitura;

- dati i grandi diametri, tubature di altro materiale avrebbero richiesto particolari strutture poiché pesanti esse stesse; la resina poliestere rimane comunque relativamente leggera (2.000 [kg/m<sup>3</sup>], contro le 8 tonnellate dell'acciaio);
- nonostante un costo d'acquisto elevato, sono le migliori tubazioni in circolazione.

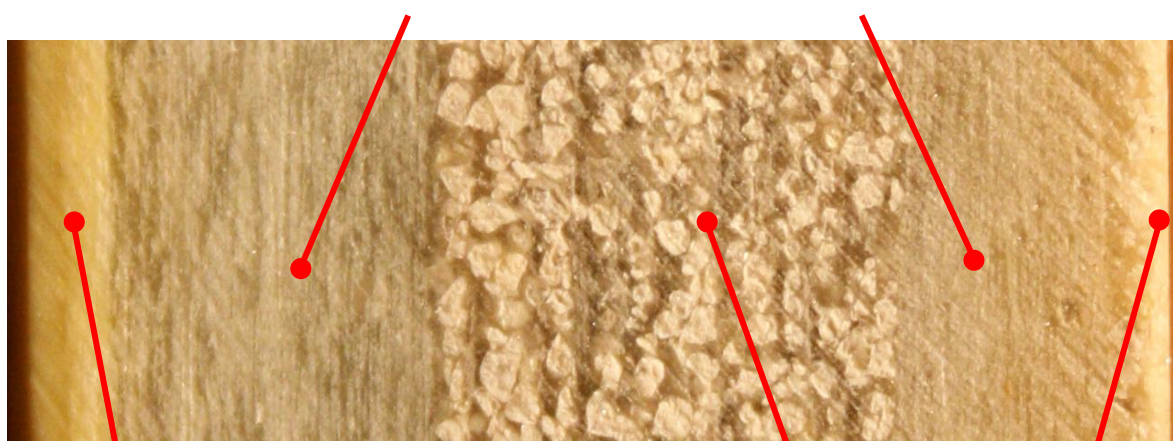
Per l'impiego desiderato, si è scelta una tubazione SN10000, avente una rigidezza di 10 [MPa] secondo la normativa ISO. La classe di pressione è PN1, dato che l'applicazione è "a gravità" e non si sorpassano i dieci metri di dislivello che porterebbero a valori di pressione maggiori di un bar con valvole chiuse.

L'ingegner Massari ha messo a disposizione del sottoscritto un saggio del tubo costruito con resina poliestere.

La foto mostra la sezione di uno spezzone di tubo, a sinistra è posta la parte interna e a destra quella esterna:

**Figura 4.21 - Macrografia della sezione di un tubo in resina poliestere**

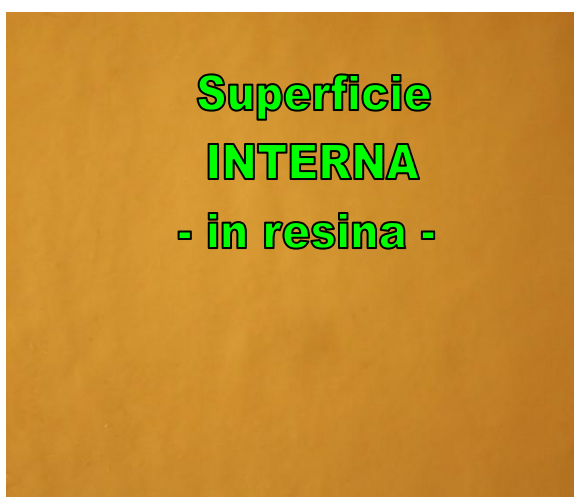
## Spezzoni di fibra di vetro



**Resina poliestere**

**Materiali inerti**

**- a contatto col fluido - - a contatto con il terreno -**



**Superficie  
INTERNA  
- in resina -**



**Superficie  
ESTERNA  
- in materiale inerte -**



Prodotto da:  
**HOBAS Rohre - Austria**  
Distribuito da:  
**HOBAS Tubi srl**  
I - 30020 MARCON (VE)  
Tel. +39.041.5952282  
e-mail: hobas.italy@hobas.com

Per scegliere il corretto diametro, si sono impostate le seguenti grandezze note:

- portata di acqua: 2,5 [m<sup>3</sup>/s];
- lunghezza della tubazione:  
 $10,5 + \sqrt{17,5^2 + 2,5^2} = 28,2[m] \approx 29[m]$ ;
- curva della tubazione: bend di 50°;
- durata dell'impianto: 30 anni (inferiore a quella garantita per le tubazioni);
- dislivello senza perdite di carico: 5,6 [m];
- produzione annua (ricavata dalle curve di durata) con tubatura ideale (che non costituisce fonte di perdite): 380.000 [kWh/anno];
- prezzo di vendita dell'energia elettrica con incentivi: 0,22 [€/kW];
- utile annuo con tubatura ideale: 85.000 [€/anno];
- ammortamento a rate costanti della durata di 20 anni.

Oltre che da quelle appena descritte, le grandezze in gioco dipendono dal diametro del tubo che deve esser scelto in base alla migliore economicità. Il sottoscritto ha perciò contattato il rappresentante dell'azienda Hobas, leader di tale settore, richiedendo il listino dei prezzi per la tipologia sopra indicata e per un range dal DN2400 al DN1100, al fine di ottimizzarne la scelta in funzione dell'investimento iniziale e delle perdite che ne conseguono in termini di produzione di energia elettrica e quindi di ricavo annuo.

Nel seguito si presenta l'analisi economico-tecnica partendo dai diametri più grandi e quantificando di volta in volta le perdite sempre più elevate, rapportando il tutto al prezzo della tubazione ammortizzato e alla diminuzione di produttività. I prezzi indicati sono puramente dimostrativi, in quanto il loro effettivo ammontare è "segreto industriale" dell'azienda Hobas, che si riserva di cambiarlo in base all'andamento del mercato.

Per velocizzare il lavoro di analisi il sottoscritto ha compilato e testato un foglio di calcolo con Excel, il quale è stato reso più generico possibile per essere utilizzato in futuro anche dallo Studio Tecnico Massari al fine di valutare l'economicità del diametro delle tubazioni. I valori da inserirvi riguardano il range di diametri considerati, i relativi costi (come riportato nelle tabelle sottostanti), la lunghezza complessiva della tubazione, i valori di perdita concentrata, il prezzo di vendita dell'energia elettrica e le entità di portata e di DMV desunte dalle curve di durata effettuate dalla regione per i corsi d'acqua, oltre ai valori di rendimento e portata di progetto. Per lo studio fluidodinamico ci si trova in condizioni di moto turbolento e con tubi lisci, quindi si è reso necessario introdurre un'approssimazione della correlazione di Colebrook (implicita) che è la formula di Haaland, resa invece esplicita. Inseriti i valori appena detti, il foglio di calcolo restituisce il miglior diametro nominale della tubazione da acquistare, confrontando le due soluzioni sperimentale (dal catalogo costruttore) e fluidodinamica (dalla teoria).

**Tabella 4.1 - Costi delle tubazioni, unitari e totali**

Diametro	Costo unitario	Costo curva	Costo totale tubatura	Ammortamento
DN2400	1.670,00 €/m	2.500,00 €	50.935,00 €	2.546,00 €
DN2400	1.360,00 €/m	2.040,00 €	41.480,00 €	2.074,00 €
DN2000	1.157,00 €/m	1.735,00 €	35.288,00 €	1.764,00 €
DN1800	962,00 €/m	1.443,00 €	29.341,00 €	1.467,00 €
DN1600	780,00 €/m	1.170,00 €	23.790,00 €	1.189,00 €
DN1500	694,00 €/m	1.041,00 €	21.167,00 €	1.058,00 €
DN1400	628,00 €/m	942,00 €	19.154,00 €	957,00 €
DN1200	462,00 €/m	693,00 €	14.090,00 €	704,00 €
DN1100	405,00 €/m	607,00 €	12.352,00 €	617,00 €

Per il costo totale della tubatura si è sommato il costo unitario moltiplicato per la lunghezza desiderata al costo della curva da approntare sull'impianto. L'ammortamento è calcolato a rate costanti della durata di 20 anni; in particolare esso rappresenta solo un'idea annua dell'effettivo investimento per un certo tipo di tubazione. Il sottoscritto desidera aprire una particolare parentesi per le scelte operate in questo senso, dato che l'investimento è una parte fondamentale dello studio di fattibilità dell'impianto e che è necessario porsi nelle condizioni migliori per guadagnare il più possibile. Per tale discorso si fissano alcuni punti conoscitivi: l'impianto ha una durata di trent'anni mentre gli incentivi statali si applicano su un arco temporale di due decenni. In sostanza, il prezzo di vendita maggiorato a 0,22 euro per chilowattora immesso in rete è valido solo per i primi vent'anni di funzionamento. Le tipologie di ammortamento sono due: la prima è detta "ammortamento economico" ed è dettata dall'agenzia delle entrate, che si riassume in un piano decennale per le parti meccaniche (turbina, alternatore e paratoie) e della durata di 18 anni per le opere civili (cabina, vasca di presa, tubatura); la seconda invece è detta "ammortamento finanziario" ed è a discrezione dell'azienda. In tale situazione la "Energie e Servizi s.r.l.", basandosi sulla durata degli incentivi, ha posto l'ammortamento per l'intero impianto al limite di 20 anni, per distribuire il più possibile l'investimento alla ricerca del miglior guadagno possibile con il prezzo di vendita maggiorato. Il bilancio economico va ovviamente redatto con i criteri economici dell'agenzia delle entrate, ma è la società che decide la gestione dei suoi fondi.

**Tabella 4.2 - Valori delle velocità**

Diametro	Velocità
DN2400	0,55 [m/s]
DN2400	0,66 [m/s]
DN2000	0,80 [m/s]
DN1800	0,98 [m/s]
DN1600	1,24 [m/s]
DN1500	1,41 [m/s]
DN1400	1,62 [m/s]
DN1200	2,21 [m/s]
DN1100	2,63 [m/s]

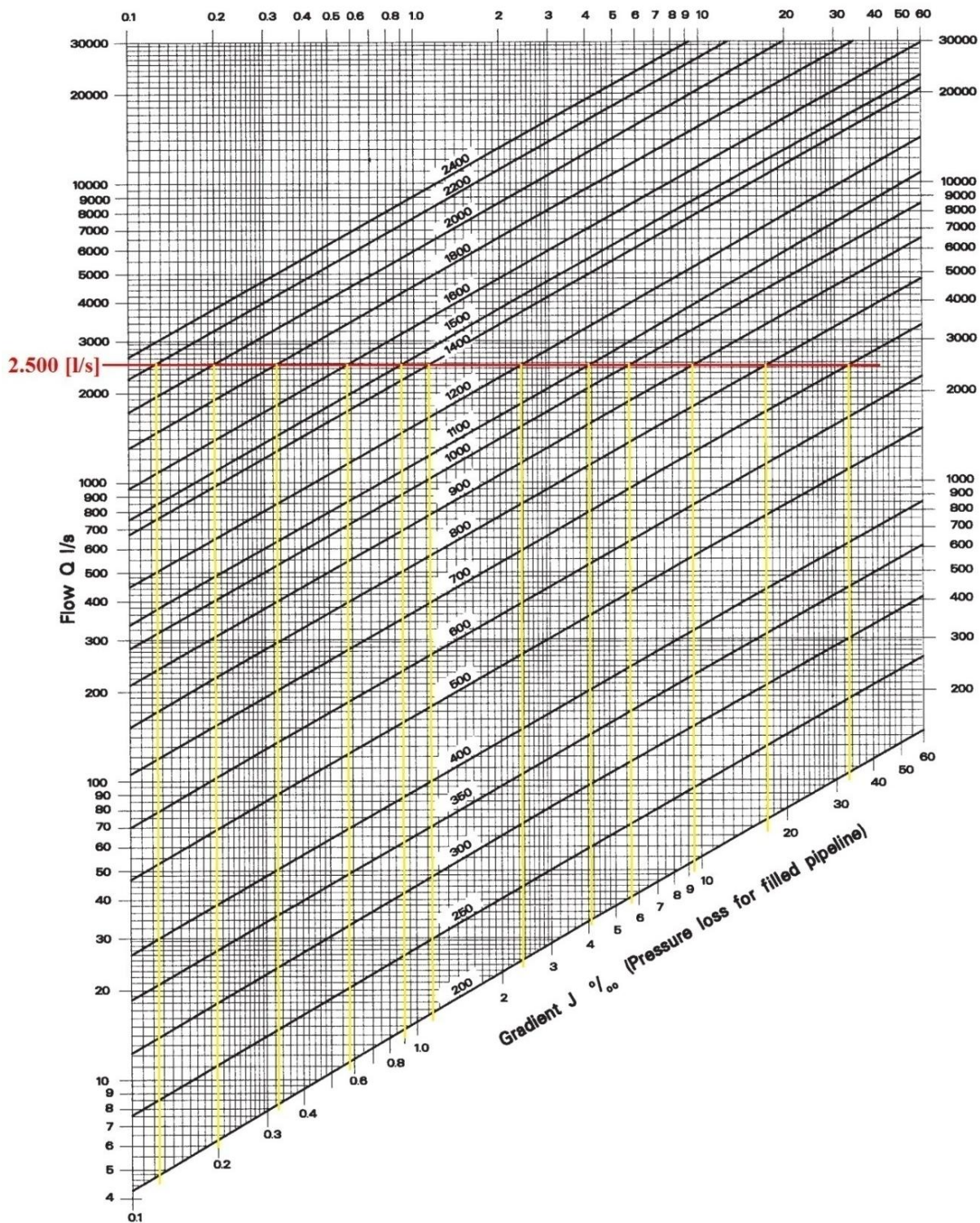
**Figura 4.22 - Tubazioni Hobas**





Grazie a questi valori e a conoscenze di fluidodinamica, sono stati eseguiti i seguenti conti per verificare le perdite nelle tubazioni. In particolare si sono seguiti due approcci, uno sperimentale basato sulle prove effettuate dalla ditta Hobas che ha redatto il seguente grafico:

Figura 4.23 - Perdite di carico per tubazioni Hobas





L'altro metodo è stato basato invece su calcoli teorici ricavati da conoscenze universitarie pregresse; la differenza tra i due risulta molto bassa, nella misura massima del 2 %. La correlazione utilizzata, detta di Haaland, è la seguente:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{R}{3,7 \cdot D} \right)^{\frac{10}{9}} + \frac{6,9}{Re} \right]$$

dalla quale si ricava:

$$\lambda = \left( \frac{1}{-1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{R}{3,7 \cdot D} \right)^{\frac{10}{9}} + \frac{6,9}{Re} \right]} \right)^2$$

dove "D" identifica il diametro della tubazione, "R" la scabrezza relativa, "Re" il numero di Reynolds e  $\lambda$  il fattore di perdita. Nel caso specifico le variabili per le tubazioni sono rappresentate da diametro e Reynolds, mentre la costante è la scabrezza il cui valore medio è stato ricavato dalle tabelle Hobas e posto a 0,013 [mm]. Per il calcolo del Reynolds, pari al prodotto di velocità e diametro rapportati alla viscosità cinematica dell'acqua, si è riservata una sezione al calcolo di quest'ultima ottenuta grazie ad una polinomiale:

$$\nu = 10^{(-6)} \cdot (1,67952 - 0,042328 \cdot t + 0,000499 \cdot t^2 - 0,00000214 \cdot t^3) \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

dove "t" è la temperatura in gradi Celsius:

Temperatura media dell'acqua
12 °C
viscosità cinematica
1,24E-06 [m <sup>2</sup> /s]

Si ottengono quindi i seguenti valori:

**Tabella 4.3 - Perdite di carico calcolate**

diametri	perdite di pressione								differenza metodi Hobas - Teorico
	dal grafico Hobas				conti idrodinamici				
	J da grafico	distribuite	concentrate	$\Delta H$ Hobas	Re	lambda	$\Delta H$		
2,4	0,080	0,00232	0,016	0,017886 m	1.069.844	0,011552	0,017739 m	0,83 %	
2,2	0,125	0,00363	0,022	0,025671 m	1.167.102	0,011404	0,025360 m	1,23 %	
2,0	0,200	0,00580	0,032	0,038078 m	1.283.812	0,011248	0,037543 m	1,43 %	
1,8	0,325	0,00943	0,049	0,058622 m	1.426.458	0,011086	0,057983 m	1,10 %	
1,6	0,590	0,01711	0,079	0,095914 m	1.604.766	0,010916	0,094396 m	1,61 %	
1,5	0,900	0,02610	0,102	0,128114 m	1.711.750	0,010829	0,123373 m	3,84 %	
1,4	1,120	0,03248	0,134	0,166916 m	1.834.018	0,010741	0,164348 m	1,56 %	
1,2	2,400	0,06960	0,249	0,318659 m	2.139.687	0,010565	0,312648 m	1,92 %	
1,1	4,100	0,11890	0,353	0,471641 m	2.334.205	0,010478	0,450186 m	4,77 %	

Altro dato importante per considerare l'ammontare annuo delle perdite è il valore di portata assunto nei vari giorni dell'anno, che non sarà sempre quello massimo. Il seguente pro-

spetto riassume i passaggi per calcolare la potenza annua prodotta (procedimento utilizzato anche per la scelta della turbina), ed è da questa formulazione che, considerando un valore di portata annua cumulativa costante e variando di volta in volta i  $\Delta H$  (che sono espressi in termini di perdita di quota utile), è stato possibile calcolare le effettive perdite di energia elettrica. Il tutto è stato implementato nel foglio di calcolo, per una veloce e rapida lettura da parte degli ingegneri che lo utilizzeranno:

**Tabella 4.4 - Calcolo della potenza annualmente prodotta**

conti per potenza prodotta																																																		
g	rendimento	Portata max	Portata min	Dislivello	Potenza max	Potenza min																																												
9,81	0,88	2,50 m <sup>3</sup> /s	0,75 m <sup>3</sup> /s	5,60 m	121 kW	36 kW																																												
Curve di durata del PTA																																																		
%	giorni/anno	Portata	Portata - DMV																																															
0,00	0,00	10,00	9,83 m <sup>3</sup> /s	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DMV</th> </tr> <tr> <td colspan="2">170,00 l/s</td> </tr> </thead> </table>			DMV		170,00 l/s																																									
DMV																																																		
170,00 l/s																																																		
0,05	18,00	7,80	7,63 m <sup>3</sup> /s																																															
0,10	36,00	5,00	4,83 m <sup>3</sup> /s	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Giorni</th> </tr> <tr> <th>Funzionamento</th> <th>Cumulativi</th> <th>% annua</th> <th>Portata</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>91</td> <td>91</td> <td>25 %</td> <td>2,50 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>109</td> <td>30 %</td> <td>1,63 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>127</td> <td>35 %</td> <td>1,23 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>146</td> <td>40 %</td> <td>0,93 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0 %</td> <td>0,00 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0 %</td> <td>0,00 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0 %</td> <td>0,00 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0 %</td> <td>0,00 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0 %</td> <td>0,00 m<sup>3</sup>/s</td> </tr> </tbody> </table>			Giorni				Funzionamento	Cumulativi	% annua	Portata	91	91	25 %	2,50 m <sup>3</sup> /s	18	109	30 %	1,63 m <sup>3</sup> /s	18	127	35 %	1,23 m <sup>3</sup> /s	19	146	40 %	0,93 m <sup>3</sup> /s	0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s
Giorni																																																		
Funzionamento	Cumulativi	% annua	Portata																																															
91	91	25 %	2,50 m <sup>3</sup> /s																																															
18	109	30 %	1,63 m <sup>3</sup> /s																																															
18	127	35 %	1,23 m <sup>3</sup> /s																																															
19	146	40 %	0,93 m <sup>3</sup> /s																																															
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,15	54,00	3,80	3,63 m <sup>3</sup> /s																																															
0,20	73,00	2,95	2,78 m <sup>3</sup> /s																																															
0,25	91,00	2,30	2,13 m <sup>3</sup> /s																																															
0,30	109,00	1,80	1,63 m <sup>3</sup> /s																																															
0,35	127,00	1,40	1,23 m <sup>3</sup> /s																																															
0,40	146,00	1,10	0,93 m <sup>3</sup> /s																																															
0,45	164,00	0,90	0,73 m <sup>3</sup> /s																																															
0,50	182,00	0,80	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,55	200,00	0,70	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,60	219,00	0,60	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,65	237,00	0,48	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,70	255,00	0,36	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,75	273,00	0,24	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,80	292,00	0,12	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,85	310,00	0,03	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,90	328,00	0,00	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
0,95	346,00	0,00	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															
1,00	365,00	0,00	0,00 m <sup>3</sup> /s																																															

0 = la portata, rispetto la minima turbinabile, è troppo bassa

Le perdite elettriche si sono ottenute moltiplicando le perdite idrauliche e le ore di funzionamento annuo ad ogni specifico valore di portata, le perdite economiche invece grazie al prezzo di vendita dell'energia elettrica; sommando le perdite economiche all'ammortamento richiesto per l'acquisto del tubo, si sono ricavati i valori passivi complessivi:

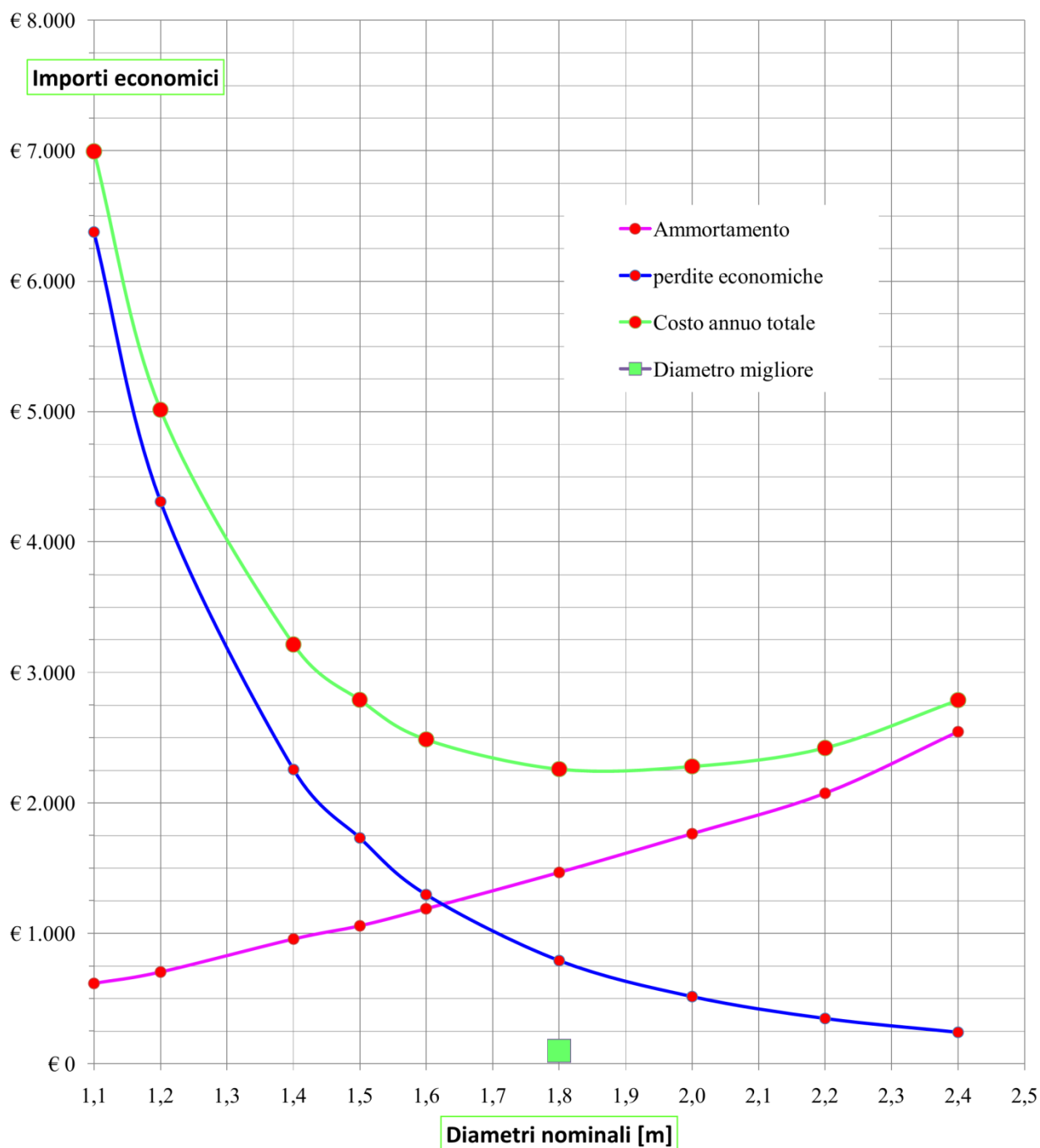
**Tabella 4.5 - Spese annue totali**

Hobas			Conti idrodinamici				
perdite elettriche	perdite economiche	ammort+perdite		perdite elettriche	perdite economiche	ammort+perdite	
1.099 kWh/anno	241,85 €/anno	2.788,60 €/anno	DN2400	1.090 kWh/anno	239,86 €/anno	2.786,61 €/anno	DN2400
1.578 kWh/anno	347,12 €/anno	2.421,12 €/anno	DN2200	1.559 kWh/anno	342,91 €/anno	2.416,91 €/anno	DN2200
2.340 kWh/anno	514,88 €/anno	2.279,30 €/anno	DN2000	2.307 kWh/anno	507,64 €/anno	2.272,06 €/anno	DN2000
3.603 kWh/anno	792,66 €/anno	2.259,71 €/anno	DN1800	3.564 kWh/anno	784,03 €/anno	2.251,08 €/anno	DN1800
5.895 kWh/anno	1.296,91 €/anno	2.486,41 €/anno	DN1600	5.802 kWh/anno	1.276,38 €/anno	2.465,88 €/anno	DN1600
7.874 kWh/anno	1.732,32 €/anno	2.790,67 €/anno	DN1500	7.583 kWh/anno	1.668,21 €/anno	2.726,56 €/anno	DN1500
10.259 kWh/anno	2.256,98 €/anno	3.214,68 €/anno	DN1400	10.101 kWh/anno	2.222,25 €/anno	3.179,95 €/anno	DN1400
19.585 kWh/anno	4.308,80 €/anno	5.013,35 €/anno	DN1200	19.216 kWh/anno	4.227,52 €/anno	4.932,07 €/anno	DN1200
28.988 kWh/anno	6.377,37 €/anno	6.995,00 €/anno	DN1100	27.669 kWh/anno	6.087,26 €/anno	6.704,88 €/anno	DN1100

Come si evince da un'analisi dei costi totali, ottenuti sommando l'ammortamento e le perdite, il compromesso migliore, in entrambi i casi calcolati, è rappresentato dalla scelta della tubatura DN1800. Se i valori diminuissero di poco, potrebbe risultare conveniente secondo i conti idrodinamici la tubatura DN2000, ma è necessario fare alcune considerazioni al contorno: sarebbe richiesta una vasca di dimensioni maggiori, lo scavo dovrebbe essere più largo e profondo, la quantità di calcestruzzo per immobilizzare la tubatura crescerebbe; alla luce di queste nozioni, il compromesso migliore risulta il DN1800.

Graficamente, l'andamento assume tale conformazione:

**Figura 4.24 - Andamento economico in funzione del diametro**



## 4.7 Gli sforzi sulla tubatura

Per diametri così elevati della tubatura che rendono anche solo il peso del fluido estremamente consistente, è necessario eseguire dei conti strutturali per equilibrare le forze e fare in modo che, anche se le velocità aumentassero, il tubo rimanga fermo al suo posto. Può sembrare un intervento di poco conto, ma la forza presente nelle eventuali curvature del tubo stesso sarebbe capace di spostare l'edificio a protezione della turbina; per questo è necessario dimensionare un corretto supporto di calcestruzzo (che sarà interrato insieme alla tubatura) per evitare smottamenti di questo genere. Nell'impianto in questione, data la morfologia del sito e particolari impedimenti normativi, si è rivelata necessaria l'introduzione di un'unica curva (perdita concentrata) sulla quale si considerano concentrate le forze maggiori. Se si dimensiona la tenuta in tale tratto, i restanti saranno più che largamente in sicurezza, dovendo sopportare unicamente al peso di tubo e fluido e non a forze d'inerzia. In particolare, si assumono:

- il diametro della tubatura DN1800;
- la portata massima pari a 3 metri cubi al secondo;
- un coefficiente di sicurezza pari a 2,5;
- la curva di 50°;
- il dislivello di 3 metri;
- pendenza della tubatura a monte della valvola: 30°;
- pendenza della tubatura a valle della valvola: 5°;
- peso per metro lineare del DN1800: 490 [kg/m].

Per generalizzare il procedimento e renderlo applicabile a vari impianti si è approntato un foglio di calcolo dal quale, inserendo tutti i valori noti, è possibile ricavare il peso dei supporti da collocare nel punto di maggior sollecitazione; per le altre sezioni la tenuta è effettuata mediante cementazione ed interrimento del tubo, soprattutto per proteggerlo più che per immobilizzarlo. Nel foglio di calcolo si è voluta inserire una sezione riguardante un possibile evento di colpo d'ariete, qualora accidentalmente si ostruisca il percorso lungo la tubatura o la valvola di regolazione si chiuda bruscamente; grazie a tali calcoli è stato possibile verificare l'effetto di una chiusura improvvisa e le sovrappressioni che ne deriverebbero per adeguare eventualmente il grado di resistenza di tubatura e giunti a questo tipo di sollecitazioni.

Per il dimensionamento dei supporti si è supposto concentrato tutto lo sforzo nella curva che viene fatta compiere al fluido; non vi sono variazioni della quantità di moto o di pressione poiché le sezioni rimangono costanti, le uniche componenti da considerare sono la forza d'inerzia e la forza di gravità. Dato il caso specifico di considerevoli dimensioni e ridotte velocità, i calcoli hanno da subito evidenziato la preponderanza dello sforzo verticale rispetto quello orizzontale, quindi la sintesi progettuale deve essere volta ad un'ottima preparazione del letto su cui adagiare la tubatura per evitare cedimenti indesiderati ed ai supporti che contrastino le spinte inerziali ed evitino che il tubo si sposti dalla sua sede. Il tutto sarà interrato e cementato, a favore di sicurezza e per evitare danni accidentali.

I primi calcoli identificano il peso del fluido e della tubatura, per dare un'idea dello sforzo di compressione a cui il letto su cui andrà adagiata la tubazione sarà sottoposto:

Sforzi normali al terreno, sul piano di appoggio			
Sforzo del fluido per metro di tubatura		Sforzo totale per metro di tubatura	
A monte	A valle	A monte	A valle
21.618,95 N/m	24.868,42 N/m	25.775,05 N/m	29.649,21 N/m

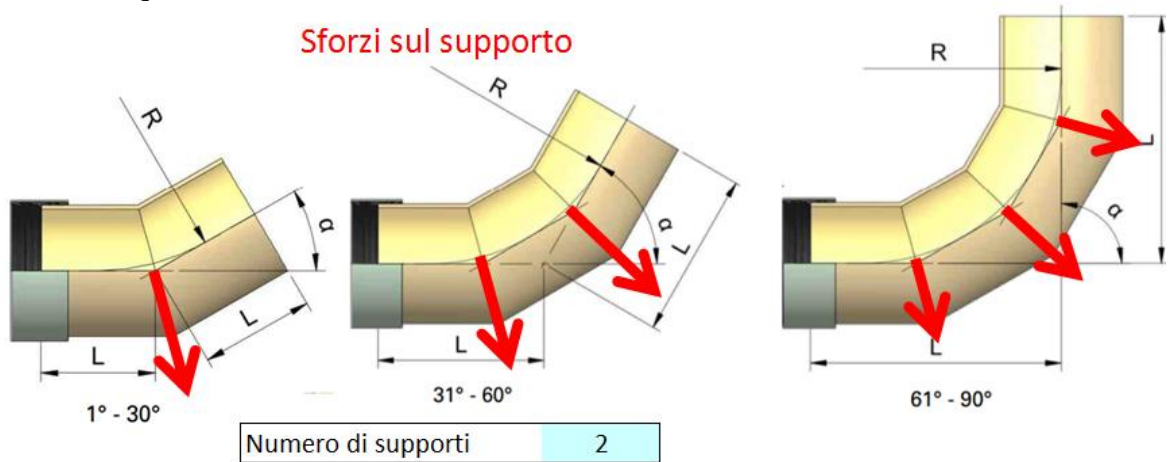
Il modo di ottenere questi valori è, semplicemente:

$$\text{Sforzo normale del fluido} = \rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \cos(\alpha),$$

$$\text{Sforzo normale totale} = \left( \rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} + \rho_{\text{tubo}} \right) \cdot \cos(\alpha),$$

dove la proiezione in senso normale al piano di appoggio è ottenuta grazie al coseno dell'angolo di inclinazione "α". Le diciture "a monte" ed "a valle" identificano, in tal caso, le sezioni precedente e successiva alla curva del tubo, qualora esse presentino differenze di pendenza (come nel caso in esame).

Sulla curva, vista la sua geometria dipendente dall'angolo di apertura, gli sforzi si suddivideranno in questo modo:



Il numero di supporti è dettato dal numero di "curve secche" conferite alla curva; ogni curva avrà un angolo pari al rapporto tra l'angolo totale ed il numero di tratti rettilinei.

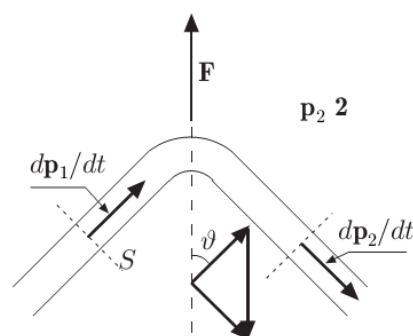
Per considerare ora gli sforzi a cui la curva è sottoposta, si richiedono un'analisi statica ed una dinamica. Staticamente si può procedere come in precedenza, calcolando il peso dell'acqua e quello della curva (le lunghezze L sono tabulate in base al diametro e all'angolo, e con una proporzione è possibile ricavarsi la lunghezza corretta), per la velocità del fluido la relazione è il ben noto rapporto tra portata e sezione di passaggio:

Peso del fluido nella curva	66.315,78 N
Peso della curva	12.797,47 N
Velocità del fluido	1,18 m/s

Dinamicamente, lo sforzo inerziale è dato da:

$$F_{\text{inerzia}} = 2 \cdot \rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v_{\text{fluido}}^2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2 \cdot n}\right),$$





dove “n” è il numero di curve secche per arrivare all’angolo di curvatura “ $\alpha$ ”. Dinamicamente si ottengono quindi i seguenti valori (per le proiezioni si è utilizzato l’angolo di pendenza della tubazione a monte):

Sforzo inerziale sul tratto di curva	
6.905,88 N	
Orizzontale	Verticale
5.980,67 N	3.452,94 N

Sommando il peso del fluido, il peso della curva e lo sforzo inerziale in direzione verticale moltiplicato per il numero di tratti da cui è composta la curva, è stato possibile ricavare lo sforzo sul terreno reggente la curva:

**Verticale totale**  
**86.019,13 N**  
**8.768,51 kg**

Grazie alla formula:

$$W = \left( \frac{F_{inerzia\ orizzontale} \cdot CS}{f} - \frac{F_{verticale\ totale} \cdot f}{n \cdot CS} \right) \cdot \frac{1}{g}$$

dove “W” è il peso di uno dei supporti (in [kg]), “CS” il coefficiente di sicurezza, “n” il numero di supporti, “f” il coefficiente di attrito tra terreno e supporto (posto a 0,55), “g” l’accelerazione di gravità, si ottiene il valore del minimo peso richiesto sui supporti per sorreggere le spinte inerziali del fluido:

**Peso minimo di ognuno dei 2 supporti**  
**1.806,60 kg**  
**Peso totale dei supporti**  
**3.613,20 kg**

A favore di sicurezza, le spinte laterali del terreno sono state ignorate, anche per via della comprimibilità che può presentare. Grazie a questi valori, si potranno studiare corretti sostegni per la tubatura, che a seconda della convenienza potranno essere prefabbricati del giusto peso e saldati insieme al cemento ricoprente la tubazione, oppure ottenuti direttamente per gettata di cemento su apposite armature.

L’altro grande nemico delle tubazioni è il colpo d’ariete; nel caso dell’impianto in esame il pericolo è ridotto al minimo, anche perché un eventuale ostacolo sarebbe disintegrato dalla forza e pressione dell’acqua stessa, oppure dalla stessa sovrappressione creata dal colpo

d'ariete. Per quantificare la sovrappressione nel punto dove essa si manifesterebbe al massimo, si è impostato il calcolo della celerità di propagazione delle onde:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}}{\sqrt{1 + \lambda \cdot \frac{\varepsilon}{E} \cdot \frac{D}{e}}}$$

dove “ε” è il modulo di comprimibilità dell’acqua (pari a 2,2 [GPa]), “ρ” la sua densità, “E” il modulo elastico della tubazione (pari a 11.000 [MPa]), “D” il suo diametro ed “e” il suo spessore; “λ” è un valore dettato dal tipo di ancoraggi e dal modo di bloccare certe deformazioni (assunto pari a “1-μ<sup>2</sup>”, dove “μ” è il coefficiente di Poisson pari a 0,25 per i tubi Hobas).

Grazie alla celerità così ricavata, il valore di sovrappressione è dato dalla somma della pressione derivata dal colpo d’ariete e quella della colonna di fluido sovrastante, che non ha più sfoghi:

$$P_{\max} = \rho \cdot v_{\text{fluido}} \cdot c + h \cdot \rho \cdot g ;$$

per studiare il tempo di apertura minimo per stare in certi limiti di sovrappressione, si è utilizzata la formulazione di Michaud opportunamente modificata:

$$T_m = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot v_{\text{fluido}}}{\Delta p_{\max}}$$

dove “T<sub>m</sub>” è il tempo di manovra, “L” la lunghezza della tubatura soggetta al colpo d’ariete, “Δp<sub>max</sub>” il valore di sovrappressione massima desiderata.

Inserendo i dati, il foglio di calcolo ha restituito i seguenti risultati:

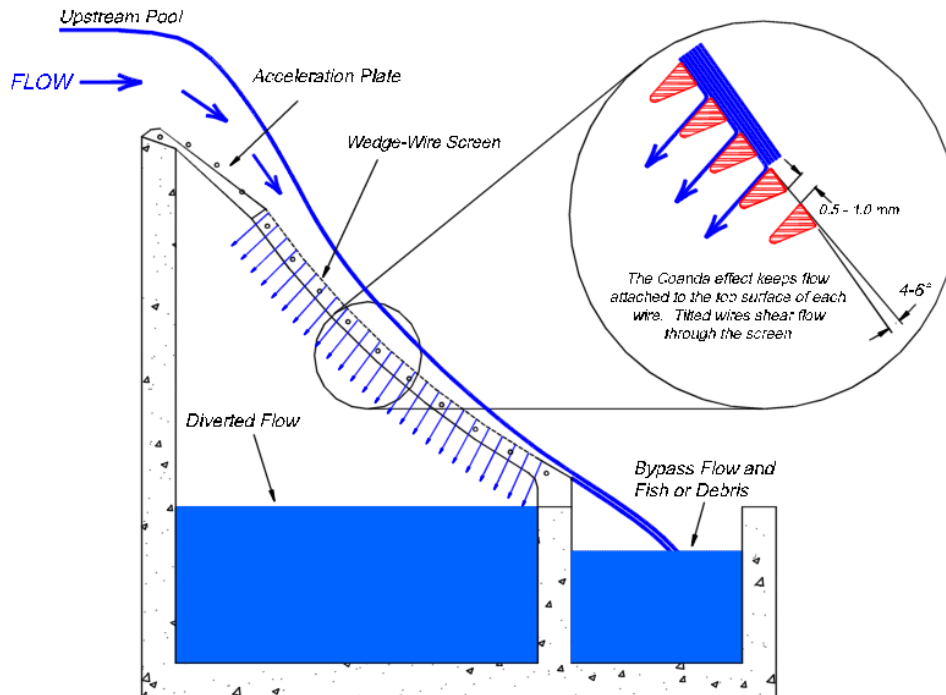
Effetto di un possibile colpo di ariete (condizione peggiore, chiusura istantanea)	
celerità di propagazione delle onde	Tubo PN 1
485,50 m/s	La pressione totale è eccessiva, scegliere una tubatura con PN più elevato
Pressione totale nel tratto più sollecitato 0,60 Mpa                      6,02 bar	
Valore massimo di sovrappressione desiderato	
0,10 bar 0,010 Mpa	Lunghezza totale tubatura sottoposta al colpo d'ariete 29,00 m
Per non eccedere tale valore, il tempo di manovra deve risultare di almeno	
	6,84 s

Essendo un tubo a gravità, funzionante con pressione nominale massima pari ad un bar, è ovvio che una sovrappressione tale sia eccessiva. Si vuole però sottolineare il fatto che essa deriva da un evento occasionale che nella realtà non dovrebbe verificarsi, anche per via del fatto che una chiusura istantanea distruggerebbe la valvola stessa; la stessa Hobas però garantisce la resistenza dei tubi in funzionamento fino a quattro volte il valore nominale di pressione, per cui contando i vari coefficienti di sicurezza ed il tempo infinitesimo della sovrappressione, essi dovrebbero resistere. Tutta la trattazione potrebbe però essere molto interessante ad esempio trovandosi a lavorare con gli ugelli di una Pelton, dove infatti i tegoli deviano il flusso dell’acqua prima di bloccarlo grazie alle valvole poiché i tempi di manovra (viste le pressioni enormi) sono molto lunghi.

## 4.8 Curiosità

Per l'opera di presa è stata considerata anche una tipologia denominata "Coandă", dal nome del suo inventore, che non fu il primo osservatore di tale effetto ma l'unico che lo brevettò e ne capì le potenzialità. Il tutto si basa sulla tendenza del fluido a seguire la superficie ad esso adiacente, anche in condizioni che normalmente non lo permetterebbero.

Figura 4.25- Funzionamento dell'opera di presa Coandă



Features and Typical Arrangement of a Coanda-Effect Screen

L'opera di presa Coandă sfrutta tale principio per fermare le impurità e lasciar cadere sotto di essa solo l'acqua, libera da foglie o rami; in pratica il fluido segue la conformazione ricurva di tale presa, mentre le impurità vengono bloccate. Questo è quindi un ottimo sistema, esente da organi meccanici poiché autopulente; la grande problematica che ha convinto il sottoscritto e l'ingegner Massari a non prendere in considerazione una filtrazione di questo tipo è che essa causa una diminuzione del salto utile netto, ed in opere come il progetto Fiumana dove il dislivello è minimo, causerebbe una grande perdita di energia.

Figura 4.26 - Alcuni esempi applicativi



## *capitolo quinto*

# **L'investimento ed il progetto esecutivo**

In termini economici, il progetto in questione richiede un investimento iniziale che si calcola ripagato in venti anni di attività secondo il principio dell'ammortamento finanziario, con un certo utile per giustificarne la costruzione. La società che inizialmente, nell'anno 2010, fece la domanda per la concessione necessaria per lo sfruttamento dell'acqua fluviale del Rabbi si chiamava "Energie e Servizi s.r.l.". Data la convenienza ma anche gli enormi capitali inizialmente richiesti, si è fondata nel 2011 una nuova società, denominata "Idrofiumana s.r.l.", la cui compagine è suddivisa nella misura del 50 % di appartenenza alla "Energie e Servizi s.r.l." ed il restante 50 % equamente suddiviso tra due privati, i proprietari del terreno in concessione. In particolare, tale organizzazione è costituita da soci con esperienza decennale nel campo energetico e della gestione impiantistica, in grado di garantire la completa copertura tecnica, amministrativa, gestionale e manageriale.

Il primo passo per la realizzazione di un impianto capace di sfruttare al meglio l'energia idroelettrica nelle condizioni di efficienza ed efficacia massime è stato quello di individuare il corretto sito dove dare il via all'installazione. Il range entro il quale la società "Energie e Servizi s.r.l." opera è tutta la regione Emilia-Romagna, territorio sul quale si è eseguita una ricerca molto accurata di un contesto che offrisse le seguenti possibilità e caratteristiche:

- presenza di un dislivello accentuato in uno spazio relativamente limitato, ad esempio una cascata;
- presenza di una buona portata di acqua che non si annulli nel periodo estivo;
- presenza di una cabina elettrica di trasformazione a meno di 500 metri dal sito di costruzione dell'impianto;
- presenza di una strada di accesso che faciliti tutte le operazioni di costruzione e manutenzione.

Dette caratteristiche non sono tutte necessarie per un impianto idroelettrico, ma il primo compito di un ingegnere è quello di considerare la variabile economica, la quale ha sempre la precedenza. Sarebbe possibile infatti sia fabbricare una cabina di trasformazione sia costruire una strada di accesso, ma in questo modo i costi lieviterebbero rendendo antieconomico tutto il progetto; inoltre è necessario considerare l'aspetto burocratico, che allungerebbe a dismisura la tempistica per le autorizzazioni necessarie per ognuna delle costruzioni sopra citate.

I siti individuati da "Energie e Servizi" con tali peculiarità sono stati venti, ed il tratto del fiume Rabbi che attraversa la località Fiumana, in comune di Predappio e provincia di Forlì-Cesena è uno di questi. Ottenuti tutti i permessi necessari, per i quali è stato necessario attendere un anno e che saranno presentati nel dettaglio nel capitolo successivo insieme ai vari contratti di gestione e costruzione, si è proposto un prospetto economico riassuntivo delle varie voci di costo ed i profitti; si tratta di un preventivo, e perciò i valori sono stimati grazie a calcoli ed esperienza, ma non è escluso che nel corso dei lavori vi siano rincari o imprevisti, dei quali si tiene infatti conto. Nel corpo di tale capitolo si esplica perciò l'aspetto tecnico ed economico, mantenendo un parallelismo tra i due grazie all'analisi separata dei vari settori d'interesse; per questa tesi, come già diverse volte sottolineato, fondamentale importanza ricoprono le opere per la presa dell'acqua fluente, che possono essere viste come gli impianti ausiliari al funzionamento della turbina e dell'alternatore stessi. Per questo è stata dedicata particolare attenzione alla vasca di derivazione, agli sgrigliatori,

al modo di evacuare lo sgrigliato, alla tubatura ed ai suoi supporti, a valvole e paratoie, alla modalità di mantenimento del DMV fluviale ed ai sensori necessari per mantenere il sistema nel corretto equilibrio; questi elementi sono stati studiati nel dettaglio nel capitolo precedente, soprattutto per quanto concerne le ragioni della loro scelta, quindi saranno ivi rappresentate unicamente un riassunto delle caratteristiche tecniche, l'importo finale e lo studio di fattibilità rapportato alle potenzialità impiantistiche.

Per chiudere il capitolo si inserisce il prospetto del progetto esecutivo fornito dalla "Lumiei Impianti", azienda che oltre a fornire la turbina e l'alternatore si occupa anche della costruzione delle varie parti impiantistiche, grazie ad uno sforzo sinergico tra i suoi ingegneri, gli operai e gli addetti dello "Studio Tecnico Massari", che seguiranno i lavori di costruzione passo per passo. Tutti i rapporti tecnico-economici e di responsabilità esecutiva saranno raccolti nel successivo capitolo dedicato al numero non indifferente di contratti necessari per la messa in opera di un'installazione di queste proporzioni.



## 5.1 Il mantenimento del deflusso minimo vitale del fiume Rabbi

Il primo problema presentato riguarda un fattore che gioca a sfavore dell'impianto stesso, ma che al contempo si rende necessario per soddisfare i requisiti normativi ed ambientalisti inerenti il sito di Fiumana. Il fiume Rabbi presenta una grande varianza di portata, in molti periodi dell'anno essa si abbassa fino a livelli minimi necessari al fiume per non prosciugarsi ed evitarne così la distruzione di fauna e flora. Nel contesto specifico, il sottoscritto ritiene esagerate tali normative, poiché la briglia in cemento armato viene solamente bypassata dall'impianto, e su di essa certamente non possono risalire la corrente i pesci e non vi si trova flora di sorta; per tale motivo, catturando l'acqua a monte e rilasciandola immediatamente a valle, non si vede la necessità di mantenere un DMV. Questo anche perché gli episodi di secca della briglia sarebbero limitati a pochi giorni annui, dato che l'impianto necessita di una minima portata turbinabile (il 30% della portata di progetto, quantificabile in 0,75 metri cubi al secondo) e nel mese estivo di agosto esso deve comunque essere mantenuto spento.

Nel rispetto delle normative, però, si è progettata una gaveta sulla stessa briglia, cioè un incavo rettangolare il cui fondo sia sempre al di sotto del pelo libero dell'acqua alla giusta profondità, che garantisca il mantenimento del DMV in ogni situazione di portata; un controllo livellostatico proporzionale nella vasca di presa agente su una valvola di regolazione è posto a regolazione di tale equilibrio, come illustrato nel capitolo precedente.

Grazie alla correlazione di Bélanger per luci a stramazzo in parete grossa (il flusso attraversa una luce di circa due metri di spessore), conteggiando una larghezza massima di 2,5 metri dovuta alla larghezza dei diaframmi di rinforzo e la minima portata transitante pari a 170 litri al secondo, si è ricavata una profondità esatta del fondo della gaveta rispetto al pelo libero di 11,66 centimetri, approssimata poi a 12 centimetri ammettendo un errore dell'4% sul DMV a favore di sicurezza.

Per realizzarla è richiesto l'intervento di due operai e due giornate di lavoro, nelle quali viene rispettivamente scavato l'incavo e poi rifinito con prodotti adeguati per levigare la superficie. Introducendo degli importi economici, si può quantificare il peso che tale realizzazione ha sull'ammontare totale, che come si può facilmente immaginare è relativamente ridotto:

- 20 [€/ora] per operaio;
- 40 [€/ora] per martello pneumatico;
- 500 [€] per materiale atto alla rifinitura su una superficie di 4,5 metri quadrati;
- 2 operai.

$$\text{Quindi: } 20 \left[ \frac{\text{€}}{\text{h}} \right] \cdot 16[\text{h}] \cdot 2 \text{ operai} + 40 \left[ \frac{\text{€}}{\text{h}} \right] \cdot 8[\text{h}] \cdot 2 \text{ operai} + 500[\text{€}] = 1.780[\text{€}].$$

## 5.2 L'opera di presa

La "Lumiei Impianti", che si occuperà della costruzione della vasca di captazione come parte integrante dell'impianto, ha stimato il costo dell'opera totale addizionando i materiali, la manodopera ed il noleggio dei mezzi necessari per portare a termine questa lavorazione. Il preventivo presentato riporta nel dettaglio le varie voci di costo, suddividendole nella realizzazione in muratura della vasca, nella fornitura e installazione delle opere elettromeccaniche e nell'adattamento alle normative vigenti dei fattori di sicurezza.

Il sottoscritto vuole aprire una parentesi sulla forma che sarà conferita a quella della vasca per la captazione dell'acqua, essendo differente dalle proposte indicate nei capitoli precedenti; in particolare si sono tenuti dialoghi telefonici ed un continuo aggiornamento per via telematica per tentare di adattare la forma definitiva alle varie richieste di efficienza, economicità e fattibilità esecutiva. Il disegno personalmente inoltrato è stato ritenuto ottimo dal punto di vista fluidodinamico e da quello della pulizia di detriti, ghiaia, sabbia ed elementi organici intrisi d'acqua, ed eccetto alcune piccole particolarità si sarebbe presentata come un'eccellente opera di presa. Ma per non rendere troppo difficoltosa la costruzione della vasca in un contesto già in situazioni difficili di operatività (basti pensare al continuo flusso di acqua nella zona di lavoro), si è preferito conferire una forma più semplice all'opera stessa, diminuendo la pendenza della vasca di sghiaatura ma ammettendo un aumento di manutenzione annuale; dopo un attento confronto fra le varie idee si è anche deciso di abbassare la soglia del desabbiatore. Molte di queste modifiche sono state pensate per aumentare la capienza della vasca e permettere una migliore adduzione dell'acqua dal Rabbi anche quando le condizioni di corrente si presentino calme. I disegni dell'opera di presa saranno introdotti alla fine di questo capitolo, nel paragrafo dedicato all'esecutivo dell'impianto e comprendente, oltre agli schemi, anche il contratto di fornitura e montaggio della parte elettromeccanica dell'impianto.

Le voci di costo facenti parte dell'opera di presa possono essere raggruppate ed enunciate secondo un criterio logico di appartenenza, come indicato di seguito.

- Opere di adattamento della presa, comprensive di:  
bonifica dell'area d'intervento (e del tratto ricoperto dal canneto costeggiante il fiume), realizzazione dello scavo per l'alloggiamento della vasca, costruzione di quest'ultima in calcestruzzo armato, smaltimento dei materiali di rifiuto, noleggio dei mezzi e fornitura dei materiali necessari, disposizione dei massi ciclopici lungo l'argine per mantenere un alto fattore di sicurezza. Le dimensioni dell'opera di presa, poi ricavabili dal disegno esecutivo, sono le seguenti (i valori di profondità sono riferiti al livello del fiume):
  - lato adiacente alla briglia: 9,5 metri,
  - lato opposto alla briglia: 6,3 metri,
  - luce di apertura della vasca: 4,5 metri,
  - larghezza della vasca: 4,4 metri,
  - profondità media della vasca di desabbiatura: 3,0 metri,
  - profondità dopo il desabbiatore: 2,4 metri,
  - altezza globale della vasca dal punto più profondo: 5,1 metri,il costo totale per l'opera di adattamento della presa ammonta a: 30.000 €;
- sgrigliatore a rete mobile dentata, automatizzato: 18.000 €;
- centralina oleodinamica per manovra delle paratoie:  
comprensiva di due pompe volumetriche, di cui una di riserva per ogni emergenza, PLC interno di controllo della pressurizzazione, collegamenti al PLC dell'impianto, circuito idraulico dal fabbricato all'opera di presa: 4.000 €;

- paratoia di scarico per la desabbiatura e sghiaatura della vasca, paratoia di intercettazione della condotta di adduzione dell'acqua alla turbina per regolazione della portata d'acqua o sua completa interruzione, comprensive di attuatori, montaggio e taratura: 15.000 €;
- sistemi di regolazione comprensivi di strumenti di misura (misuratore di livello del liquido, misuratore dell'interfaccia solido-liquido e misuratore di portata), PLC per la gestione diretta dei dati e allacciamento col PLC impiantistico: 5.000 €;
- impianto elettrico e di illuminazione: 1.000 €;
- passamani e recinzioni: 4.000 €.

I prezzi appena indicati non possono essere troppo precisi per i motivi sempre validi di incertezza nella costruzione impiantistica e di privacy aziendale. In particolare è difficile quantificare precisamente le opere edili necessarie per la costruzione di una vasca di queste dimensioni, dei materiali necessarie e del tempo impiegato per la sua costruzione passibile anche delle condizioni atmosferiche, per cui ci si è basati sull'esperienza del direttore tecnico della "Lumiei Impianti" per ottenere stime più veritiere possibili.

Il totale complessivo per la costruzione "chiavi in mano" dell'opera di presa ammonta perciò a **77.000 euro**.

Per la vasca sopra descritta, si vuole indicare il volume capacitivo per le varie situazioni di corrente e portata fluviale:

- trovandosi come indicato in esecutivo, in condizioni di calma della corrente ed il pelo libero del fiume a quota 1,1 metri, la vasca di captazione presenta una capienza di 160 metri cubi di fluido.
- se il livello di fluido raggiunge lo sfioratore, apertura nella vasca per il mantenimento di una massima portata di 3,5 metri cubi al secondo, la vasca presenta una capacità di 168 metri cubi.

La relativamente bassa differenza tra le due misure capacitive non è frutto del caso, bensì si è cercato di rendere la vasca poco sensibile alle variazioni di quota del pelo libero, sia per il fatto che la turbina Kaplan lavora meglio con una quota costante (trattandosi di semi-regolazione) seppur con modifiche dell'entità della portata, sia per il fatto che il livello di acqua del fiume difficilmente subirà grandi variazioni a motivo dell'estensione della briglia (eccezion fatta per le situazioni di piena, per le quali appunto è previsto lo sfioratore). Lo sfioratore in oggetto è stato studiato in primis per evitare che una portata troppo elevata di fluido causi il riempimento della vasca di captazione, in secondo luogo per rispettare i limiti normativi imposti dalla concessione di derivazione del fiume Rabbi. Si vuole poi ricordare che il DMV fluviale viene assicurato grazie al mantenimento del livello della vasca (che non può scendere sotto un minimo corrispondente alla quota della gaveta) effettuato grazie alla regolazione dell'apertura della saracinesca sulla tubatura della turbina, ovviamente nelle condizioni di portata limitata (ovviamente si cercherà di mantenere la quantità d'acqua transitante in turbina ai limiti massimi consentiti).

### 5.3 La tubatura

Uno dei compiti del sottoscritto è stato effettuare uno studio di fattibilità riguardo il giusto diametro della tubatura da adottare in un impianto simile. Le variabili sono molteplici, i loro effetti si possono però riassumere nell'investimento iniziale e nelle perdite di carico durante l'esercizio; il corretto dimensionamento si è basato sulla giusta mediazione tra questi valori per ottenere il massimo profitto possibile nei venti anni di durata degli incentivi statali. Il compromesso si è trovato con la tubatura DN1800, costruita con resina poliestere rinforzata con fibre di vetro. Nel capitolo precedente si è presentata nel dettaglio l'analisi fluidodinamica-economica, che può essere riassunta nei termini del diametro scelto:

- investimento iniziale: 29.341 [€];
- rata dell'ammortamento finanziario in 20 anni: 1.467 [€/anno];
- velocità dell'acqua nella tubazione: 0,98 [m/s];
- perdite di carico totali: 5,9 [cm];
- perdite energetiche annue: 3.603 [kWh/anno];
- perdite economiche annue: 793 [€/anno];
- totale del passivo annuo: 2.260 [€/anno].

Lo studio di fattibilità vero e proprio avrebbe diritto di veto sull'installazione o meno di un certo particolare, ma in tale caso la tubatura è essenziale al funzionamento dell'impianto stesso per cui l'unica accortezza adoperabile è la scelta del suo diametro economico.

Altri elementi imprescindibili sono i supporti posti a immobilizzare la tubatura, la preparazione dello scavo per contenerla, la grande quantità di cemento per ricoprire il letto dello scavo e per bloccare la tubatura ed i supporti stessi. Come si evince dai conti, il costo della tubatura è altamente preponderante rispetto i costi di installazione e preparazione dello scavo; per questo lo studio alla ricerca del miglior diametro economico è di fondamentale importanza.

Si introducono i seguenti dati:

- costo della tubatura e sua installazione: 29.340 [€];
- costo del cemento per i supporti: 200 [€/tonn];
- quantità di cemento impiegato: 4 tonnellate;
- tempo impiegato totale: 4 giorni;
- numero di operai: 4;
- costo del noleggio dello scavatore: 54 [€/ora];
- tempo di scavo: 6 ore.

Quindi:

$$29.340 \text{ [€]} + 200 \left[ \frac{\text{€}}{\text{tonn}} \right] \cdot 4 \text{ [tonn]} + 32 \text{ [h]} \cdot 4 \text{ operai} \cdot 20 \left[ \frac{\text{€}}{\text{h}} \right] + 54 \left[ \frac{\text{€}}{\text{h}} \right] \cdot 6 \text{ [h]} = 33.100 \text{ [€]}.$$

## 5.4 La turbina e l'alternatore

I motivi per cui si è scelto di procedere con una potenza nominale di 120 [kW] sono meramente economici e saranno illustrati nel dettaglio nei paragrafi successivi; una volta appurato il limite della portata fluviale e del dislivello ottenibile, tutte le scelte sono basate su criteri di convenienza economica. Analizzando le curve di durata, ottenute dal PTA (piano di tutela della acque) e dalla regione e cautelativamente scegliendo la minore tra le due, si evince la portata nei vari periodi dell'anno; tali valori sono fondamentali poiché indicano (anche se con un errore talvolta elevato) per quanto tempo il fiume elabora una certa portata. Per il carattere del Rabbi, si sarebbero potuti installare anche 420 [kW] (corrispondenti ad una portata di 7,8 [m<sup>3</sup>/s]), ma l'impianto avrebbe funzionato a pieno regime solo per il 10 % annuo, cioè per 36 giorni su 365, e l'investimento iniziale non si sarebbe assolutamente ripagato.

Per scegliere la potenza della turbina, quindi, si sono seguiti i seguenti passaggi:

- si è scelta la curva di minore portata, per rimanere in sicurezza (in questo caso la PTA);
- da tale curva sono stati dedotti gli specifici valori di portata per ogni percentuale di durata;
- si sono scelte ad intuito varie portate da inserire nei calcoli, cercando di mantenersi sulle massime per ogni range di durata;
- da tali portate sono state ricavate le potenze della turbina, inserendo preventivamente una media del rendimento assicurato dal costruttore;
- si è cercato nella tabella delle curve di durata il valore superiore alla portata massima scelta o derivabile, e si è valutata la durata annuale di tale entità, procedendo in tale modo fino a che la portata minima già ridotta del DMV non sia inferiore al minimo valore turbinabile (30 % della portata di progetto);
- moltiplicando ogni singola potenza così ottenuta (con le portate specifiche) per i giorni e le ore di funzionamento, si è ottenuta l'energia annua complessiva data dalla somma di tutte quelle ricavate;
- si sono valutati i ricavi annuali e le differenze tra le taglie di turbina scelte, prestando particolare attenzione ai diversi investimenti iniziali.

Applicando tale procedimento ai valori del sito di Fiumana, il sottoscritto ha verificato la correttezza della scelta della turbina con potenza nominale di 120 [kW]; in particolare si potrebbe pensare alla convenienza di una turbina molto potente, ma il grande problema sta non nella massima ma nella minima portata elaborabile, pari almeno al 30 % della portata di progetto. Se si scende sotto tale valore la turbina si ferma, perché non riesce più a sopprimere alle richieste di coppia creando un limite inferiore molto elevato e diminuendo i giorni di funzionamento; installando quindi turbine molto potenti l'effettivo utile annuo non cresce in maniera proporzionale ai costi impiantistici, che diventano molto consistenti.

Come già largamente disquisito su tale accoppiamento, esso si rivela essere il maggior costo fisso e variabile dell'impianto. Oltre alla vasca di presa ed agli sgrigliatori, infatti, la turbina e l'alternatore sono gli unici richiedenti una manutenzione programmata.

Implementando le curve di durata proprie del fiume Rabbi e ricavate da un'analisi del Piano di Tutela della Acque (del decennio 1991-2001) in un foglio di calcolo redatto dal sottoscritto, si è potuta verificare l'effettiva convenienza dell'utilizzo di una specifica taglia di turbina rispetto altre proposte. Nei primi capitoli dell'elaborato si è insistito sulla scelta della Kaplan rispetto una Francis, basandosi sul fatto che i minimi dislivelli ma le portate consistenti identificano il range proprio della Kaplan; nel seguito invece si presenta la scel-



ta della taglia della turbina, analizzando i vari parametri tra cui costo iniziale, produttività e costo di funzionamento implementati in un foglio di calcolo personalmente compilato. Le curve di durata hanno fornito i dati sotto riportati; come per tutti i precedenti casi i valori evidenziati in azzurro sono quelli che il progettista deve inserire:

<b>Dati idrologici</b>			
<b>DMV</b>		170,00 l/s	
% annua	Giorni	Curva PTA '91 - '01	Portata disponibile
0,00	0	10,00 m <sup>3</sup> /s	9,83 m <sup>3</sup> /s
0,05	18	7,80 m <sup>3</sup> /s	7,63 m <sup>3</sup> /s
0,10	36	5,00 m <sup>3</sup> /s	4,83 m <sup>3</sup> /s
0,15	54	3,80 m <sup>3</sup> /s	3,63 m <sup>3</sup> /s
0,20	73	2,95 m <sup>3</sup> /s	2,78 m <sup>3</sup> /s
0,25	91	2,30 m <sup>3</sup> /s	2,13 m <sup>3</sup> /s
0,30	109	1,80 m <sup>3</sup> /s	1,63 m <sup>3</sup> /s
0,35	127	1,40 m <sup>3</sup> /s	1,23 m <sup>3</sup> /s
0,40	146	1,10 m <sup>3</sup> /s	0,93 m <sup>3</sup> /s
0,45	164	0,90 m <sup>3</sup> /s	0,73 m <sup>3</sup> /s
0,50	182	0,80 m <sup>3</sup> /s	0,63 m <sup>3</sup> /s
0,55	200	0,70 m <sup>3</sup> /s	0,53 m <sup>3</sup> /s
0,60	219	0,60 m <sup>3</sup> /s	0,43 m <sup>3</sup> /s
0,65	237	0,48 m <sup>3</sup> /s	0,31 m <sup>3</sup> /s
0,70	255	0,36 m <sup>3</sup> /s	0,19 m <sup>3</sup> /s
0,75	273	0,24 m <sup>3</sup> /s	0,07 m <sup>3</sup> /s
0,80	292	0,12 m <sup>3</sup> /s	0,00 m <sup>3</sup> /s
0,85	310	0,03 m <sup>3</sup> /s	0,00 m <sup>3</sup> /s
0,90	328	0,00 m <sup>3</sup> /s	0,00 m <sup>3</sup> /s
0,95	346	0,00 m <sup>3</sup> /s	0,00 m <sup>3</sup> /s
1,00	365	0,00 m <sup>3</sup> /s	0,00 m <sup>3</sup> /s

Inserendo valori come:

- durata dell'ammortamento finanziario: 20 anni;
- costo d'investimento iniziale: 3.500 [€/kW] (stima ricavata dall'esperienza);
- rendimento: 87% (media di quelli garantiti dal fornitore della turbina);
- dislivello: 5,6 metri;
- prezzo di vendita: 0,22 [€/kWh];
- i costi variabili così impostati (sono tutti valori annui):

Costi di gestione e manutenzione annui	
Manutenzione	60,00 €/kW
Gestione	8.000,00 €
Consumo elettrico	3,00 €/kW
Spese ed assicurazione	38,00 €/kW

È stato possibile impostare un'analisi comparativa di quattro taglie impiantistiche. Scegliendo i valori di portata riportati nelle curve di durata (non è obbligatorio, solo conveniente per la bontà dei conti), il programma restituisce la potenza disponibile ed il progetti-

sta, verificando le taglie di turbina commerciali, può inserire quella più vicina. Da questi elementi si possono ricavare la produttività annua, la rata dell'ammortamento, le spese di funzionamento e manutenzione annue e verificare così quale sia la scelta migliore per l'impianto in questione.

I valori si sono calcolati in tal modo:

- la minima portata è stata posta al 30 % di quella di progetto;
- la potenza nominale ed effettiva grazie al noto prodotto di accelerazione di gravità, portata e dislivello, con l'aggiunta del rendimento per il caso reale;
- inserendo la prima percentuale annua, il programma automaticamente restituisce le altre fino a che la portata non diventa troppo ridotta;
- con i valori di portata specifica esso calcola la potenza effettiva (comprendente il rendimento), dopodiché moltiplicando i giorni di funzionamento per le ore al giorno riporta i valori annui di energia prodotta per quella particolare durata;
- sommando tali valori si ricava l'energia annua totale resa dall'alternatore;
- il ricavo è dato dal prodotto tra prezzo di vendita dell'energia elettrica ed energia annua totale prodotta;
- la rata dell'ammortamento è calcolata costante su venti anni di durata;
- la manutenzione e gestione annua vede la somma dei costi di gestione al prodotto tra i costi di manutenzione, assicurazione e consumo elettrico per la potenza della turbina commerciale;
- l'utile annuo effettivo, che finanziariamente ripaga l'investimento iniziale nei venti anni di ammortamento garantendo tale guadagno, si calcola sottraendo i ricavi ai costi.

Tutti i conti sono stati eseguiti su scala annua, molti valori sono volutamente maggiorati per tenere conto dei quasi certi imprevisti nei trent'anni di durata della concessione, come ad esempio i costi di manutenzione; si è in altre parole voluti stare dalla parte del sicuro, per fare in modo che nella realtà i proventi siano al più uguali o maggiori, e non funzionare in perdita.

I prospetti, riportati nelle seguenti pagine, evidenziano l'effettiva convenienza di un impianto impostato con una portata a 2,13 metri cubi al secondo, corrispondente ad una turbina commerciale avente potenza pari a 120 [kW].

### Impianto 1

Portata di progetto	3,63 m <sup>3</sup> /s	Taglia di turbina disponibile	
Portata minima	1,09 m <sup>3</sup> /s	200 kW	
Potenza nominale	199 kW	Costo totale approssimativo	
Potenza effettiva	174 kW	700.000 €	
Potenza minima	52,20 kW		

Giorni				
Funzionamento	Cumulativi	% annua	Portata	Energia annua
54	54	15 %	3,63 m <sup>3</sup> /s	224.847 kWh/anno
19	73	20 %	2,78 m <sup>3</sup> /s	60.588 kWh/anno
18	91	25 %	2,13 m <sup>3</sup> /s	43.978 kWh/anno
18	109	30 %	1,63 m <sup>3</sup> /s	33.655 kWh/anno
18	127	35 %	1,23 m <sup>3</sup> /s	25.396 kWh/anno
19	146	40 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno

Energia annua totale	388.465 kWh/anno
Ricavo annuale	85.462 €/anno
Rata dell'ammortamento	35.000 €/anno
Manutenzione annua	28.200 €/anno
<b>Utile effettivo</b>	<b>22.262 €/anno</b>

### Impianto 2

Portata di progetto	2,80 m <sup>3</sup> /s	Taglia di turbina disponibile	
Portata minima	0,84 m <sup>3</sup> /s	175 kW	
Potenza nominale	153 kW	Costo totale approssimativo	
Potenza effettiva	152 kW	612.500 €	
Potenza minima	45,68 kW		

Giorni				
Funzionamento	Cumulativi	% annua	Portata	Energia annua
73	73	20 %	2,78 m <sup>3</sup> /s	232.785 kWh/anno
18	91	25 %	2,13 m <sup>3</sup> /s	43.978 kWh/anno
18	109	30 %	1,63 m <sup>3</sup> /s	33.655 kWh/anno
18	127	35 %	1,23 m <sup>3</sup> /s	25.396 kWh/anno
19	146	40 %	0,93 m <sup>3</sup> /s	20.269 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno

Energia annua totale	356.083 kWh/anno
Ricavo annuale	78.338 €/anno
Rata dell'ammortamento	30.625 €/anno
Manutenzione annua	25.675 €/anno
<b>Utile effettivo</b>	<b>22.038 €/anno</b>

### Impianto 3

Portata di progetto	2,13 m <sup>3</sup> /s
Portata minima	0,64 m <sup>3</sup> /s
Potenza nominale	117 kW
Potenza effettiva	104 kW
Potenza minima	31,32 kW

Taglia di turbina disponibile	120 kW
Costo totale approssimativo	420.000 €

Giorni		% annua	Portata	Energia annua
Funzionamento	Cumulativi			
91	91	25 %	2,13 m <sup>3</sup> /s	222.335 kWh/anno
18	109	30 %	1,63 m <sup>3</sup> /s	33.655 kWh/anno
18	127	35 %	1,23 m <sup>3</sup> /s	25.396 kWh/anno
19	146	40 %	0,93 m <sup>3</sup> /s	20.269 kWh/anno
18	164	45 %	0,73 m <sup>3</sup> /s	15.072 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno

Energia annua totale	316.727 kWh/anno
Ricavo annuale	69.680 €/anno
Rata dell'ammortamento	21.000 €/anno
Manutenzione annua	20.120 €/anno
Utile effettivo	28.560 €/anno

### Impianto 4

Portata di progetto	1,63 m <sup>3</sup> /s
Portata minima	0,49 m <sup>3</sup> /s
Potenza nominale	89 kW
Potenza effettiva	87 kW
Potenza minima	26,10 kW

Taglia di turbina disponibile	100 kW
Costo totale approssimativo	350.000 €

Giorni		% annua	Portata	Energia annua
Funzionamento	Cumulativi			
109	109	30 %	1,63 m <sup>3</sup> /s	203.799 kWh/anno
18	127	35 %	1,23 m <sup>3</sup> /s	25.396 kWh/anno
19	146	40 %	0,93 m <sup>3</sup> /s	20.269 kWh/anno
18	164	45 %	0,73 m <sup>3</sup> /s	15.072 kWh/anno
18	182	50 %	0,63 m <sup>3</sup> /s	13.008 kWh/anno
18	200	55 %	0,53 m <sup>3</sup> /s	10.943 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno
0	0	0 %	0,00 m <sup>3</sup> /s	0 kWh/anno

Energia annua totale	288.487 kWh/anno
Ricavo annuale	63.467 €/anno
Rata dell'ammortamento	17.500 €/anno
Manutenzione annua	18.100 €/anno
Utile effettivo	27.867 €/anno

Come si evince, con un utile di 28.500 euro annui, il più conveniente è l'impianto progettato nominalmente per una portata di 2,13 metri cubi al secondo. Tenendo conto delle taglie di turbina commerciali, è stata scelta la potenzialità di 120 [kW], con la possibilità di arrivare a sfruttare fino a 2.500 litri al secondo di portata. Il costo sopra riportato per le varie taglie impiantistiche è una stima comprensiva di ogni parte dell'installazione, che viene fornita "chiavi in mano". I costi precedentemente e successivamente introdotti vanno a totalizzarsi in quei 420.000 euro complessivi; si sottolinea il fatto che essi rappresentano comunque una stima, poiché i costi varieranno per eventuali imprevisti.

Per un impianto di questo genere, i costi di investimento inerenti l'accoppiamento turbina-alternatore ed il caseggiato posto a sua protezione si possono riassumere come mostrato nel seguito.

- **Fabbricato centrale:**
    - realizzazione del fabbricato centrale adatto per l'alloggiamento della turbina, del generatore, dei quadri elettrici, della cabina per le misure, per la linea ENEL e per il canale di scarico: 50.000 [€];
    - paranco manuale per il sollevamento delle macchine: 7.000 [€].
  - **Linee elettriche:**
    - linea elettrica in bassa tensione per la consegna dell'energia prodotta, realizzata dall'ENEL: 5.000 [€];
    - sistema di misurazione dell'energia introdotta in rete: 2.000 [€].
  - **Opere elettromeccaniche:**
    - quadri elettrici di macchina e servizi ausiliari;
    - impianto di terra ed interconnessione dei quadri;
    - turbina Kaplan da 120 [kW] completa di ogni dispositivo compreso il tronco di cono d'entrata e gomito di scarico;
    - centralina oleodinamica per il comando della turbina;
    - generatore di corrente asincrono trifase da 400 [V], 500 [rpm] e 130 [kW];
    - regolatore digitale di apertura e chiusura della turbina con gestione da PLC;
    - sistema di supervisione e controllo con comando remoto della centrale;
    - impianto di videosorveglianza con trasmissione via internet;
    - manodopera per il montaggio.
- Totale: 196.000 [€].

Effettuando la somma dei contributi sopra riportati, si ottiene il costo totale delle opere dedicate all'accoppiamento turbina-alternatore corredato di tutti gli impianti ausiliari e comprensivo delle opere edili: **260.000 [€]**



## 5.5 La dismissione dell'impianto

Un elemento non considerato nei capitoli precedenti perché non di elevato interesse per la progettazione, è la previsione della dismissione dell'impianto dopo il termine della concessione di derivazione dell'acqua dal fiume Rabbi. Il contratto per la concessione sancisce esplicitamente che il sito di costruzione debba essere ristabilito identico alla sua situazione ante operam, cioè prima dell'installazione dell'impianto.

Per tali motivi, in fase di analisi economica, nell'ammontare dell'investimento è da prevedere anche una sezione terminale, che chiuda cioè il periodo di vita della costruzione stessa, e che prende il nome di "computo metrico per la dismissione dell'impianto". Volendo fare uno studio di fattibilità, non si può prescindere dal considerare tale importo.

Il prospetto, presentato dallo "Studio Tecnico Massari", include i costi singoli per ogni opera di ristabilimento di flora e fauna precedenti. Nel seguito si inseriscono nel dettaglio le voci di tale capitolato:

- Smaltimento impianto elettrico di media e bassa tensione della cabina elettrica di conversione e trasformazione effettuata da operaio specializzato. Sono compresi lo slaccio della linea Enel, il costo per lo smaltimento/recupero e quant'altro necessario per eseguire un lavoro a regola d'arte. Smantellamento della cabina elettrica realizzata in pannelli prefabbricati e della sua platea in cemento armato mediante l'ausilio di mezzo meccanico: 2.500 [€];
- Smantellamento dei container contenenti il gruppo idroelettrico e della platea in cemento armato mediante mezzo meccanico. Sono compresi il costo per lo smaltimento/recupero e quant'altro necessario per eseguire un lavoro a regola d'arte: 5.000 [€];
- Smantellamento della siepe perimetrale e della recinzione realizzata con metallo plastificato e paletti di sostegno in ferro, comprensiva dei cancelli di accesso carrabili e pedonabili in acciaio, mediante l'ausilio di mezzo meccanico. Sono compresi la raccolta del rifiuto, il carico/scarico su mezzo di trasporto abilitato, il costo per lo smaltimento e quant'altro necessario per eseguire il lavoro a regola d'arte: 2.000 [€];
- È previsto il ripristino del suolo agrario mediante l'affine pulizia di tutto il terreno da materiale di risulta vario derivato dalle operazioni di smantellamento. Stabilizzazione e inerbimento delle superfici sottratte al manto erboso. Si provvederà con uso di biostuoia antierosiva di juta e successivo tamponamento con miscela di sementi selezionate, terriccio organico, paglia, sostanze colanti e fertilizzanti: 1.500 [€];

L'ammontare finale delle opere di dismissione dell'impianto risulta, perciò: **11.000 [€]**.

## 5.6 L'ammontare dell'investimento totale e il P&I

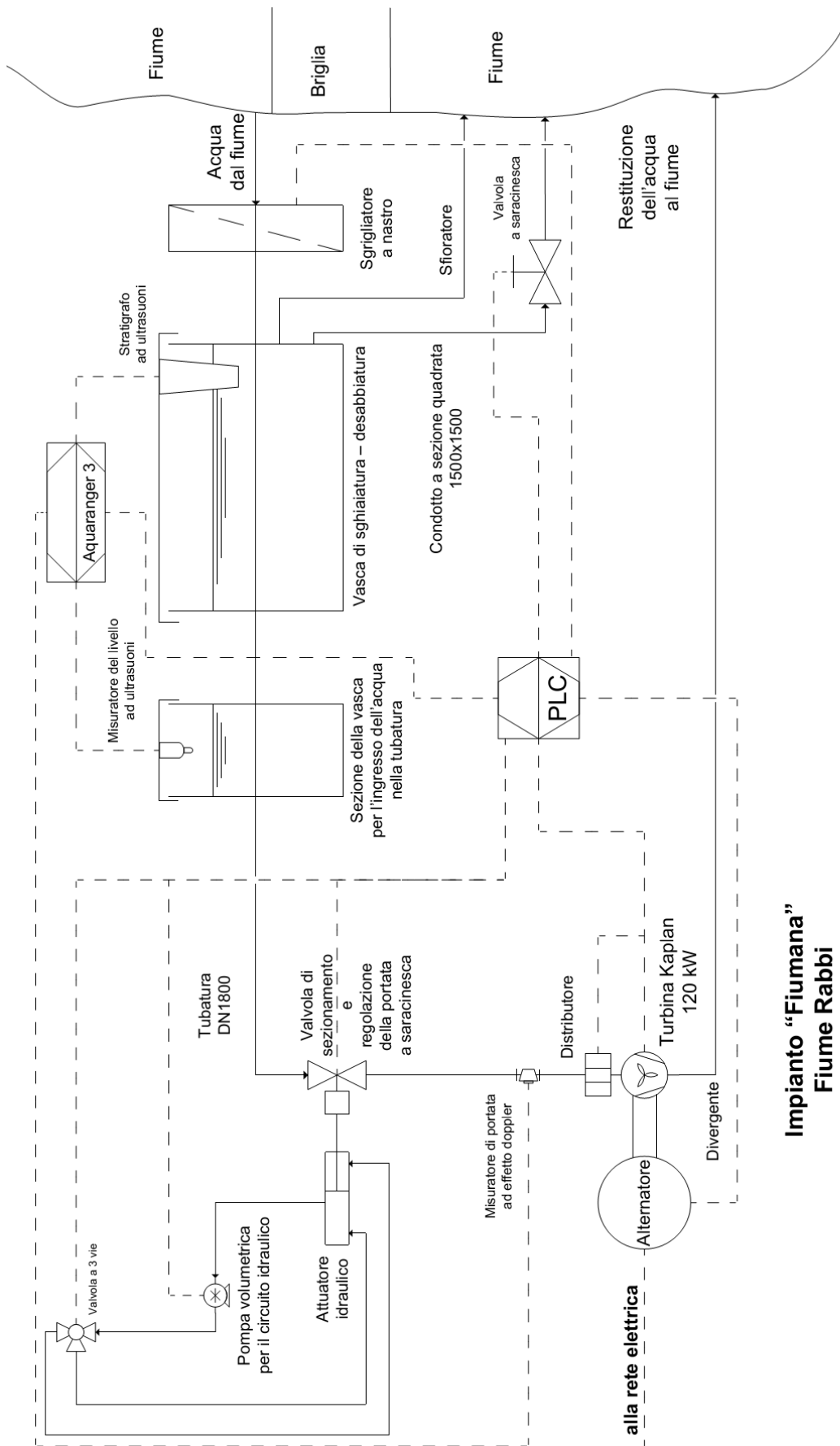
Per riassumere i dati precedentemente introdotti e totalizzare quella che sarà il costo ipotizzato per l'impianto in questione, si riportano di seguito i valori prima introdotti. In particolare si aggiunge la voce "imprevisti", dai quali non si è mai completamente al sicuro:

- realizzazione della gaveta sulla briglia:	1.780 [€];
- realizzazione dell'opera di presa:	77.000 [€];
- acquisto e posa in opera della tubatura:	33.100 [€];
- opere elettromeccaniche ed edili per turbina ed alternatore:	260.000 [€];
- dismissione dell'impianto	11.000 [€];
- imprevisti:	22.000 [€].

Il totale complessivo ammonta perciò a **405.000 euro**.

Esso si discosta dalla cifra di investimento iniziale soprattutto a motivo del costo dello sgrigliatore, elemento del quale l'ingegner Massari ha esplicitamente richiesto la presenza. Il suo costo aggiuntivo, che si rivela comunque essere un plus valore nel contenimento dei costi di gestione dell'impianto (come dimostrato nei capitoli precedenti), non va ad influire sulla scelta della turbina per il fatto che le dimensioni degli apparati meccanici dello sgrigliatore dipendono dall'opera di presa e non dalla potenza della turbina, variando quindi di poco l'ammontare del loro costo finale. Nei paragrafi seguenti si inserisce il progetto esecutivo fornito dalla "Lumiei Impianti", sul quale il sottoscritto ha operato nel senso delle opere di presa, raggruppando sotto questo termine la forma della vasca, il tipo di sgrigliatori da installare, il tipo di tubatura ed il suo diametro nonché altri particolari interventi risolutivi presentati di volta in volta.

Prima dell'esecutivo è inserito il P&I dell'impianto personalmente redatto, raffigurante le connessioni logiche tra le varie parti che nella realtà saranno in comunicazione tra loro, a livello di segnale o a livello fisico. Esso è molto utile per identificare immediatamente i collegamenti necessari da effettuare una volta collocati al loro posto le opere edili ed i vari strumenti e macchinari elettrici e meccanici; grazie ai rapporti logici sarà possibile regolare l'impianto in modo da ottenere sempre il miglior rendimento sulla base delle condizioni di portata presentate dal Rabbi in quel preciso momento, lavorare sempre in sicurezza ed anche poter eventualmente individuare rotture o pianificare gli interventi manutentivi.



**Impianto "Fiumana"**  
**Fiume Rabbi**  
**Fiumana, località di Predappio - FC**

## 5.7 Gli esecutivi

L'offerta della "Lumiei Impianti", tenendo conto delle richieste della "Idrofiumana", degli interventi del sottoscritto, delle migliorie proposte e delle varie modifiche apportate al progetto, è presentata in questo paragrafo ed è preceduta dai disegni esecutivi per la costruzione dell'impianto stesso. In questa pagina è riportato il disegno del locale dedicato alla turbina, mentre nella seguente la planimetria generale per contestualizzare il tutto:

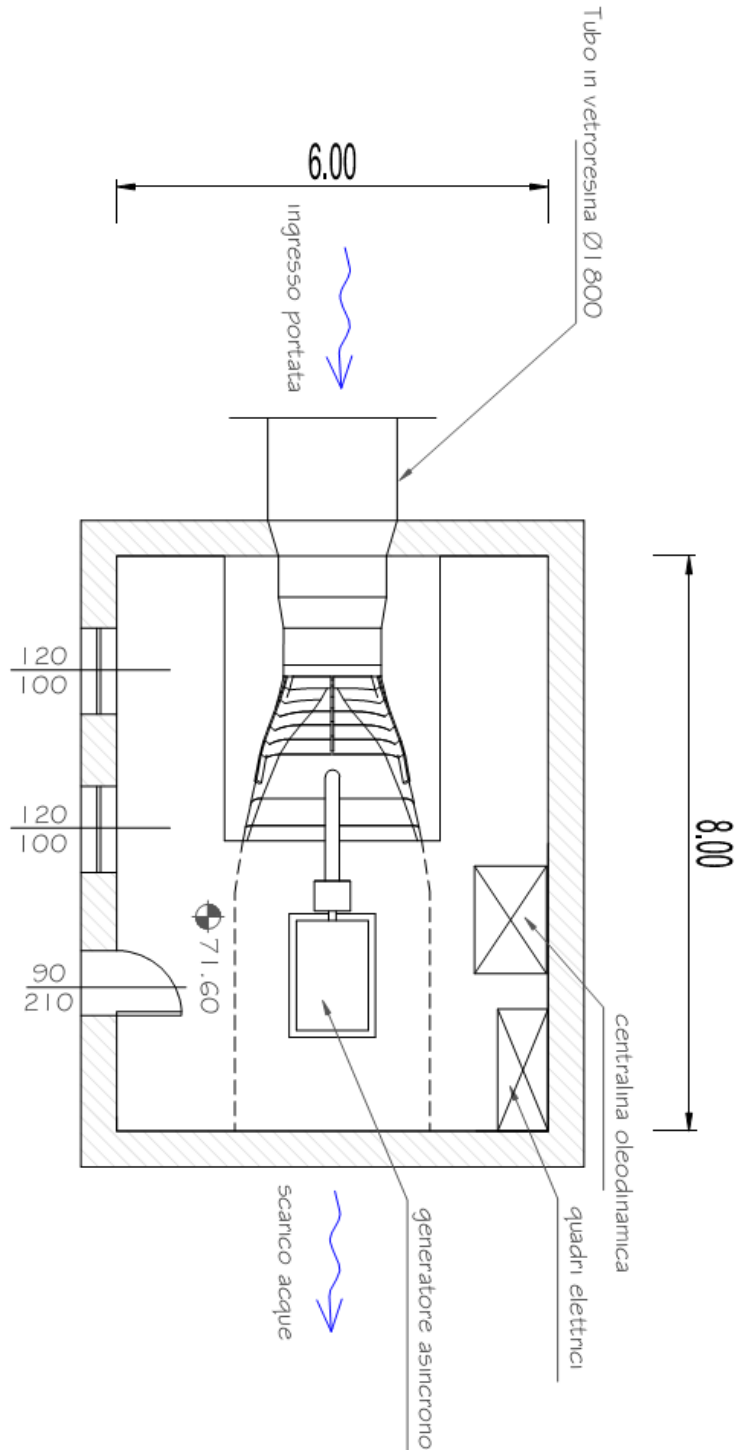


Figura 5.1 - Vista superiore del locale turbina-alternatore

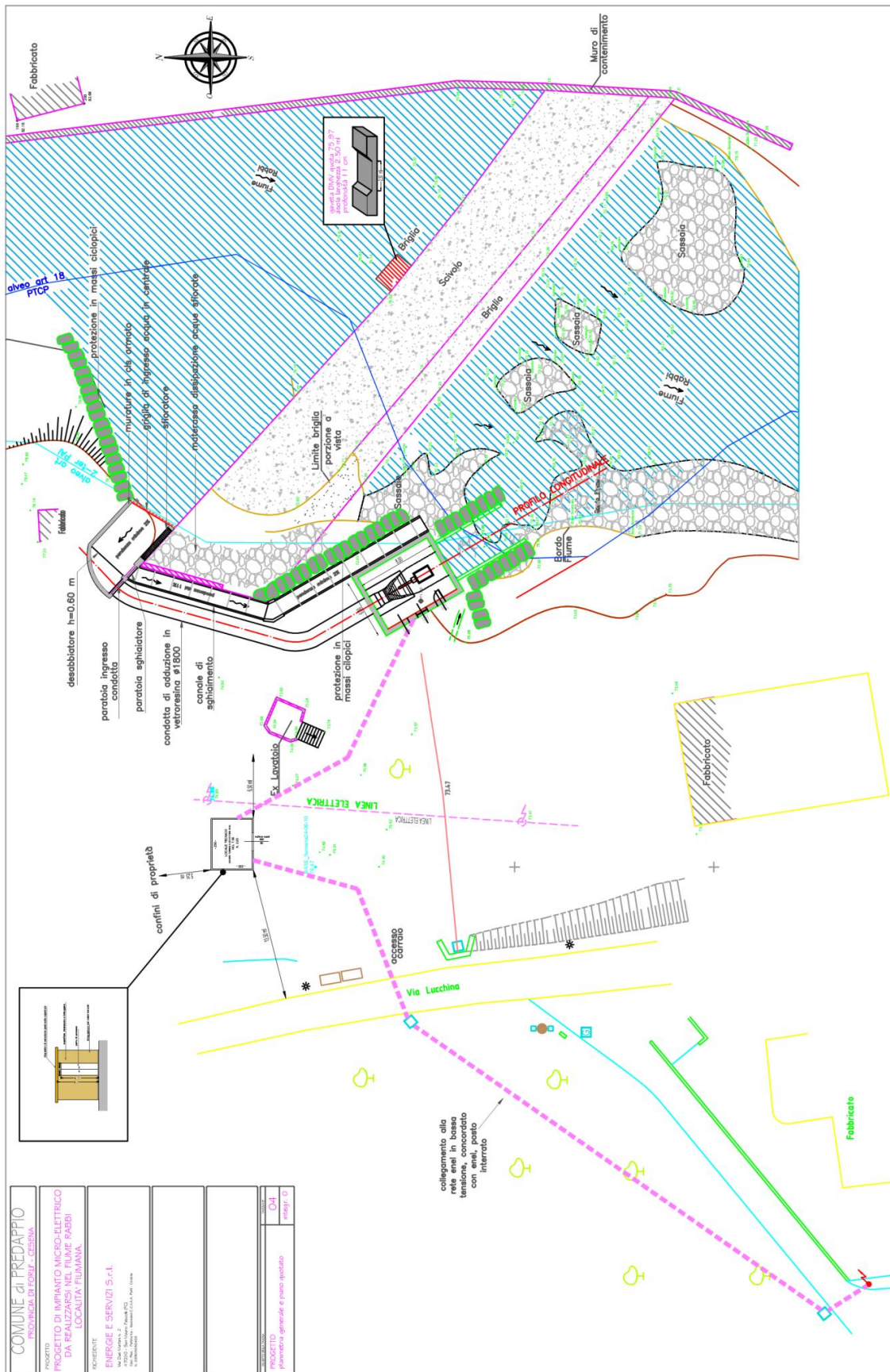


Figura 5.2 - Inquadramento dell'impianto sull'area d'intervento



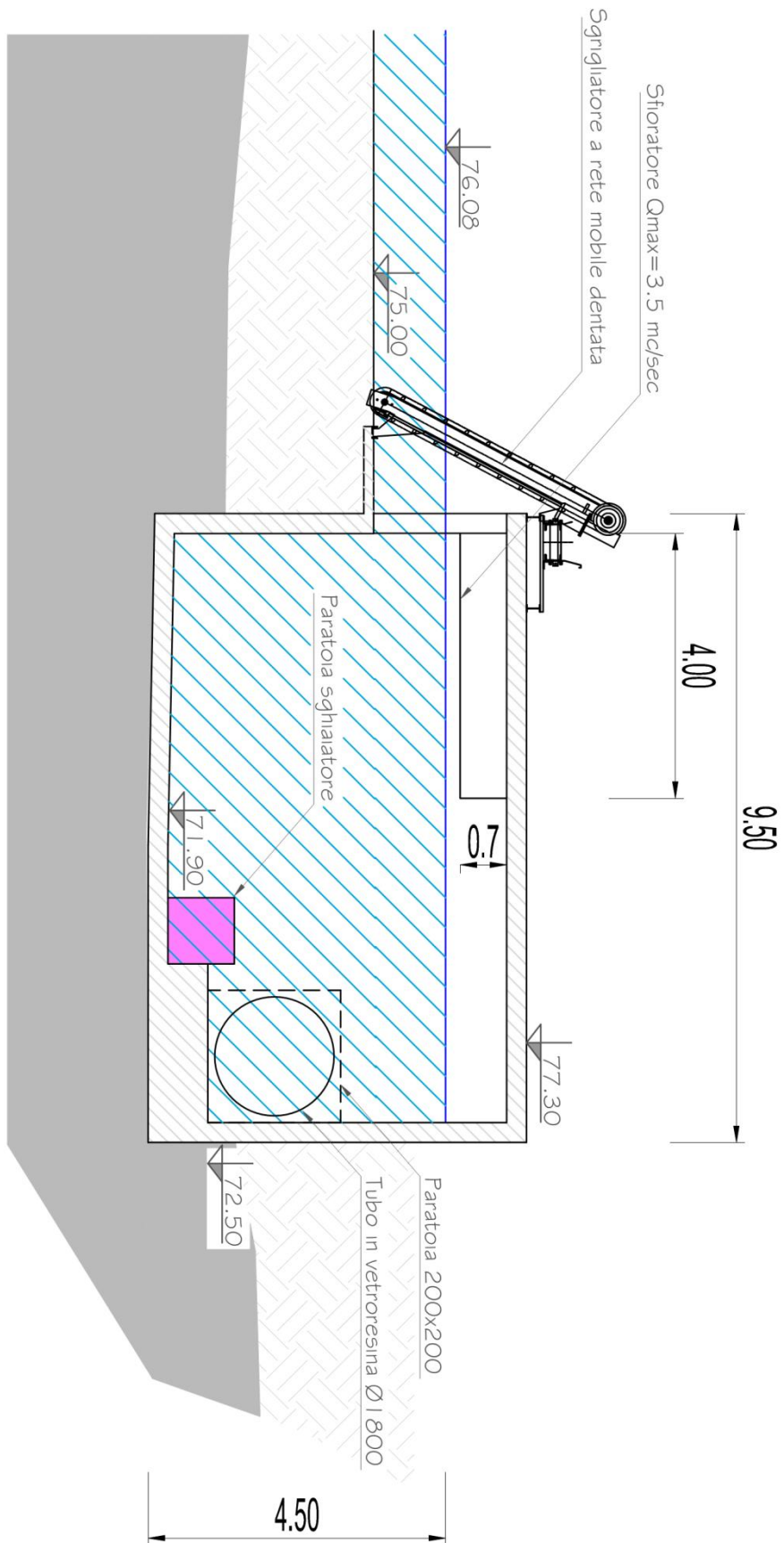


Figura 5.3 - Dimensionamento della vasca di presa

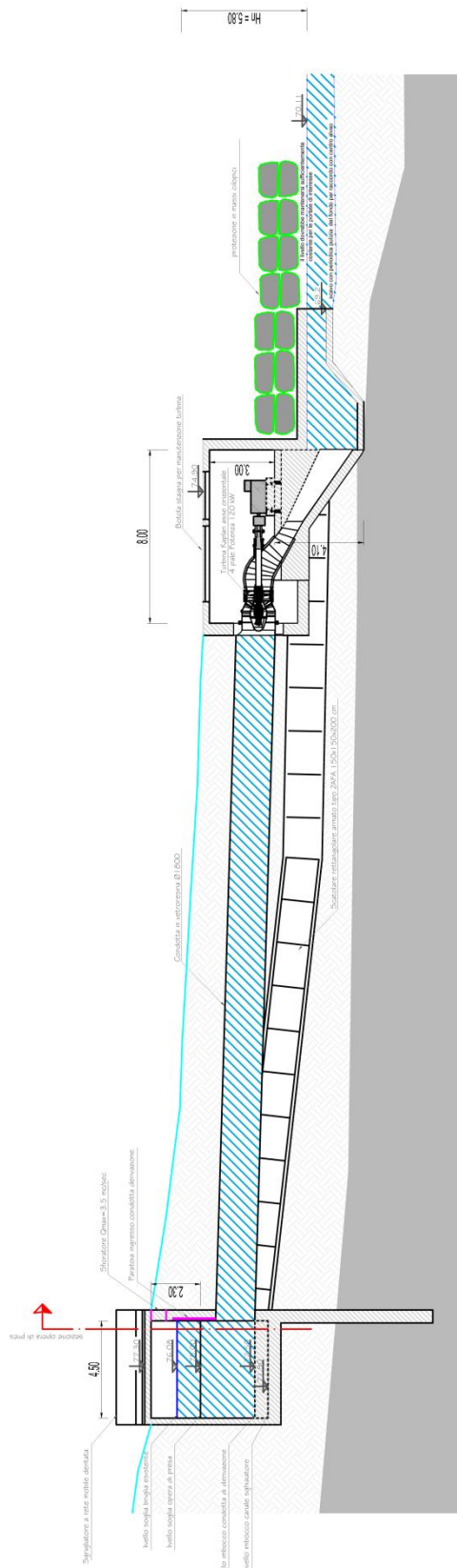


Figura 5.4 - Profilo longitudinale dell'impianto

Del disegno sopra, riportato per dare una visione insieme, si ingrandiscono l'opera di presa ed il locale per l'accoppiamento turbina-alternatore, dal quale si evidenzia la conformazione dello scarico ad S, come illustrato nel secondo capitolo:

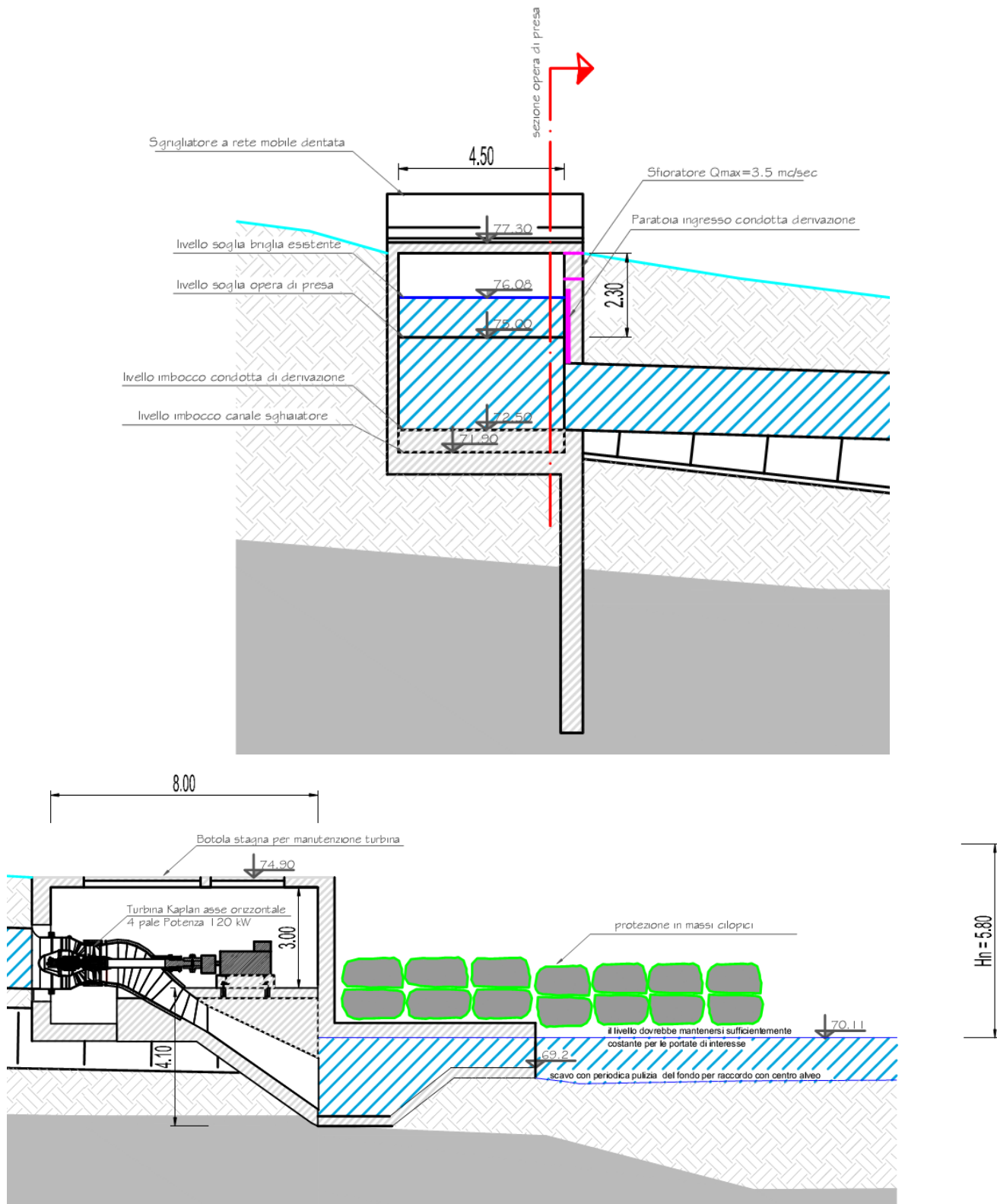


Figura 5. 5 - Ingrandimenti del profilo longitudinale

La “Lumiei Impianti” così introduce la specifica tecnica:

“La presente descrizione tecnica è relativa alla fornitura ed al montaggio di un gruppo idroelettrico Turbina Kaplan / Alternatore asincrono, di tutta la parte elettrica e di comando del gruppo.

Per quanto concerne l'architettura del gruppo ed il suo posizionamento in Centrale sarà effettuato secondo il progetto definitivo delle opere civili.

Pertanto le soluzioni proposte potranno essere riviste ed adeguate al progetto esecutivo della Centrale.

Nella presente Specifica Tecnica è dettagliatamente descritto l'intervento da apportare alla centrale Idroelettrica in oggetto.

Nelle considerazioni seguenti vorremmo richiamare la vostra attenzione su alcuni aspetti che riteniamo particolarmente importanti:

Riguardo il dimensionamento della parte idraulica, le macchine da noi progettate vengono di volta in volta esattamente calcolate. Questi calcoli si basano, se possibile, sui dati di funzionamento dell'impianto forniti dal cliente, così facendo possiamo garantire i rendimenti migliori possibili.

I rendimenti da noi garantiti sono frutto di accurate prove con calcolo numerico, sono stati provati in altri impianti e pertanto sono della massima affidabilità. L'esperienza sinora fatta ha dimostrato che i rendimenti da noi garantiti sono stati raggiunti e molte volte superati durante le prove sull'impianto”

### 5.7.1 - Turbina idraulica Kaplan

<b>Caratteristiche tecniche</b>	
Turbina	Kaplan con pale variabili e diffusore fisso
Tipo	assiale ad asse orizzontale
Salto netto	5,6 [m]
Portata massima	2,5 [m <sup>3</sup> /s]
Portata di progetto	2,5 [m <sup>3</sup> /s]
Potenza nominale erogata ad asse turbina	120 [kW]

Dati garantiti, riferiti ad un salto netto costante di 5,6 metri:

<b>Portata</b>	<b>Salto</b>	<b>Rendimento</b>
2,600 [m <sup>3</sup> /s]	5,60 [m]	87,50 %
2,340 [m <sup>3</sup> /s]	5,60 [m]	88,50 %
2,080 [m <sup>3</sup> /s]	5,60 [m]	89,00 %
1,820 [m <sup>3</sup> /s]	5,60 [m]	87,00 %
1,560 [m <sup>3</sup> /s]	5,60 [m]	85,00 %

Il grado di tolleranza è assunto secondo la normativa IEC 41, elaborata dall'“International Electrotechnical Commission”.

## 5.7.2 - Descrizione tecnica della parte meccanica

### 5.7.2.1 - Introduttore ogiva e tronco di cono d'entrata

Costruzione in acciaio saldato Fe 430 B per il posizionamento delle direttrici fisse. L'acciaio utilizzato corrisponde al S275JR, cioè un acciaio da costruzione (S) avente un carico di snervamento minimo di 275 [Mpa] e un'energia minima di resilienza di 27 [J], la cui prova è stata effettuata a 20° [C].

### 5.7.2.2 - Mantello della ruota

Mantello in lamiera d'acciaio saldato Fe 510 C con funzione di camera per la ruota. L'acciaio corrisponde al S355J0, cioè un da costruzione con un limite di snervamento di 355 [Mpa] e testato a 0° [C]. L'interno del mantello è tornito di precisione per avere il gioco minimo tra pale della ruota e mantello, compatibilmente con le esigenze di funzionamento, onde ridurre al minimo le perdite per fuga d'acqua. La tornitura è cilindrica nella parte a monte dell'asse di rotazione delle pale, sferica nella parte a valle del suddetto asse.

### 5.7.2.3 - Gomito di scarico

Gomito di scarico in lamiera di acciaio saldate con funzione di raccolta dell'acqua uscente dalla ruota e deviazione di 90° della stessa nella direzione dello scarico verso valle; dopo il diffusore l'acqua viene accelerata per sopperire alle perdite concentrate nel gomito, mentre nell'idrocono posto successivamente subisce una decelerazione armonica. Lo scarico ricopre un ruolo di estrema importanza perché elabora, nel caso specifico, il 29 % della potenza complessiva. La sezione a valle del gomito è un tronco di cono con 4 ° di divergenza massima.

### 5.7.2.4 - Ruota Kaplan

La girante Kaplan possiede le seguenti caratteristiche:

- mozzo in acciaio forgiato, fuso o ricavato da pieno in Fe 430 B, avente quindi le medesime caratteristiche prestazionali del cono d'entrata;
- 4 pale girevoli in acciaio inox 13/4 (ASTM A743 grado CA 6NM, composto da una lega di 0,06 % di carbonio, 1,0 % di manganese, 1,0 % di silice, circa il 13% di cromo, il 4,0 % di nickel, lo 0,7 % di molibdeno, lo 0,04 % di fosforo, lo 0,03 % di zolfo, e con possibili inclusioni nella misura massima dello 0,50 % di wolframio, vanadio e rame); esso presenta un limite di rottura di 517 [Mpa] ed uno di snervamento di 310 [Mpa];
- ogiva in acciaio saldato
- meccanismi interni di comando della rotazione delle pale in acciaio legato
- boccole e ralle di scorrimento in bronzo autolubrificante caricato grafite (Tipo Deva)
- guarnizioni di tenuta

Dopo il montaggio in officina vengono eseguiti i seguenti lavori :

- prove di tenuta
- prove funzionali del comando pale
- equilibratura statica con grado 6,3 secondo UNI 4218 - ISO 1940

### 5.7.2.5 - Dispositivo di comando della rotazione delle pale della girante

Il dispositivo di comando delle pale è composto dai seguenti elementi principali:

- servomotore inserito sull'uscita d'albero posteriore del generatore
- asta di comando delle pale collegante il servomotore ai meccanismi interni al mozzo ruota in acciaio legato
- bussole di guida dell'asta in bronzo autolubrificante (Tipo Deva)



- sistema di rilevazione della posizione delle pale tramite il servomotore

#### 5.7.2.6 - Albero turbina

Albero turbina in acciaio forgiato C40 (acciaio da bonifica composto cioè dallo 0,40 % di carbonio) con cava per il passaggio dell'asta di comando pale giranti.

#### 5.7.2.7 - Distributore

Il distributore è formato da 16 pale direttrici fisse in acciaio Fe 430 B

#### 5.7.2.8 - Supporto inferiore di guida

Il supporto di guida presenta un funzionamento a rotolamento, lubrificato tramite grasso.

#### 5.7.2.9 - Tenuta centrale

La tenuta sull'albero turbina posteriore è di tipo meccanico o equivalente ad anelli di grafite.

#### 5.7.2.10 - Supporto di spinta e guida

Il supporto di spinta e guida è comune per turbina e generatore, e deve sopportare un carico di almeno 20 [kN].

#### 5.7.2.11 - Centralina oleodinamica

Si tratta di un gruppo di pompaggio ed accumulo d'olio in pressione, dimensionato per alimentare i servomotori di comando della girante durante l'esercizio normale ed in grado di chiudere la paratoia di macchina in caso di emergenza, anche con la pompa ferma. È composta principalmente dai seguenti elementi:

- serbatoio in lamiera d'acciaio saldate ed opportunamente verniciate completo di termometro, termostato per massima temperatura olio, scaldiglia con termostato, indicatore visivo di livello olio, livellostato per controllo minimo livello olio, termoresistenza per controllo temperatura olio;
- gruppo di pompaggio dell'olio comprendente una pompa a cilindrata variabile mossa da motore asincrono trifase;
- valvola di massima pressione per la protezione dell'impianto oleodinamico;
- gruppo di filtraggio dell'olio in mandata comprendente due filtri, di cui uno di riserva per eventuali intasamenti e per permettere la manutenzione senza il fermo dell'impianto, completi di indicatore di intasamento elettrico e visivo;
- accumulatore olio-azoto con capacità adeguata all'esercizio normale e alla chiusura della turbina in caso di emergenza;
- elettrovalvola per il controllo della posizione del servomotore della turbina;
- elettrovalvola di emergenza;
- manometro per il controllo visivo delle pressioni.

#### 5.7.2.12 - Altri dispositivi

La turbina comprende i seguenti dispositivi:

- rilevatore di velocità con captatori e ruota dentata;
- tubazioni per il collegamento degli impianti oleodinamici ed idraulici;
- termoresistenze per il controllo della temperatura dei supporti;
- interruttori di finecorsa per la segnalazione dello slittamento di una direttrice rispetto alla sua leva di comando.

#### 5.7.2.13 - Paratoia di macchina

La paratoia della macchina ha forma quadrata ed il lato misura 2,5 metri, mentre la tenuta è assicurata su tre fianchi grazie ad un profilo in polizene. Il carico idrostatico è impostato a 2,5 metri e viene attuato a strisciamento con un comando oleodinamico. Il tutto è corredato di bulloneria in acciaio C40 e viene trattato tramite zincatura.

#### 5.7.2.14 - Accessori

La turbina è completata con tutti gli accessori necessari per la costruzione, montaggio ed installazione di tubazioni, bulloni di fondazione e di collegamento, guarnizioni, raccordi, flange, staffe,...

### 5.7.3 - Descrizione tecnica della parte elettrica

#### 5.7.3.1 - Generatore asincrono

Per l'impianto in oggetto si propone l'utilizzo di un generatore asincrono trifase ad asse orizzontale, calcolato per le caratteristiche di funzionamento riportate nella tabella sottostante. Il funzionamento del generatore è sempre in parallelo con la rete nazionale, dato che non è previsto il funzionamento in rete isolata.

Caratteristiche tecniche	
Potenza nominale del generatore	130 [kW]
Tensione trifase concatenata	400 [V]
Collegamento	Stella
Frequenza	50 ±1% [Hz]
Nr. Poli	16
Velocità di regime	370 [rpm]
Velocità di fuga	800 [rpm]
Tempo di permanenza alla fuga	< 3 [min]
Fattore di potenza (cos φ)	0,8
Classe isolamento / temperatura - Rotore	F / B
Classe isolamento / temperatura - Statore	F / B
Temperatura ambiente	max 40° [C]
Grado di protezione	IP 55
Tipo di servizio	Continuo S1
Tipo funzionamento	Parallelo con la rete
Tipo di raffreddamento	Aria
Altitudine di installazione	< 1000 [m.s.l.m.]
Tipo cuscinetto	Rotolamento
Lubrificazione	Naturale
Colore finale	Blu

<b>Rendimenti indicativi del generatore a <math>\cos(\varphi) = 0,8</math></b>	
Percentuale di potenza	Rendimento
100 %	94,20 %
75 %	94,10 %
50 %	93,20 %

Il generatore è composto essenzialmente da:

- cassa statore in carpenteria d'acciaio;
- rotore a gabbia;
- cuscinetti a rotolamento idonei a sopportare il peso del rotore e delle spinte idrauliche radiali della girante. Il dimensionamento dei cuscinetti è realizzato grazie alla collaborazione tra il fabbricante della turbina e quello del generatore;
- coloritura secondo ciclo epossidico-poliuretano standard del fabbricante.

#### 5.7.3.2 - Accessori generatore

Il generatore è corredato di una serie di accessori costituita da:

- 3 termoprotettori PT 100 sugli avvolgimenti con terminali in scatola separata;
- 2 termoprotettori PT 100 nei supporti;
- serie di resistori anticondensa.

#### 5.7.3.3 - Regolatore turbina

La turbina è equipaggiata con un regolatore digitale progettato secondo le più aggiornate tecniche elettroniche su microprocessore. Il gruppo è previsto per il solo funzionamento in parallelo con la rete nazionale e non è previsto il funzionamento in rete isolata. Ciò premesso, la proposta è la seguente:

- regolatore digitale di apertura ad alta sensibilità per il controllo della turbina;
- controllo della velocità per l'avvio e dell'apertura turbina;
- regolazione della turbina in funzione al livello, con il relativo regolatore montato sul quadro di controllo; la regolazione è gestita dal PLC al quale viene interfacciato l'attuale pannello operatore con possibilità di settare i vari parametri di gestione della regolazione. Il PLC acquisisce la quota dallo strumento già presente in campo e cablato fino all'attuale posto di controllo.

#### 5.7.3.4 - Accessori regolatore turbina

Oltre alla strumentazione già descritta nei capitoli precedenti e montata a bordo della componentistica principale, la fornitura è equipaggiata un ulteriore sistema di rilevamento del numero di giri, comprendente:

- una ruota polare;
- una sonda elettromagnetica;
- amplificatori di linea.

La misura acquisita viene utilizzata per la messa in sicurezza in caso di eccessiva velocità del gruppo.

### 5.7.4 - Quadri elettrici

#### 5.7.4.1 - Quadro di macchina e servizi ausiliari

Quadri elettrici BT per interno in esecuzione da pavimento costruiti secondo le norme IEC 439/1 - CEI 17.13/1. I quadri sono realizzati mediante l'accoppiamento di robusti elementi

in carpenteria metallica piegata e verniciata. L'interruttore è posto su una cella segregata totalmente dalle altre, che sono di altezza variabile e modulare. Nella parte anteriore, lateralmente alle celle interruttori, si posizionano gli strumenti di misura e controllo, in modo totalmente isolato. L'Interruttore Generale del Quadro viene posto in verticale, gli interruttori secondari normalmente in orizzontale. Gli scomparti sono realizzati con segregazione IP20 tra cella interruttore e cella sbarre se presente. Il raffreddamento degli interruttori e del vano sbarre è assicurato da feritoie predisposte sui fianchi e sul retro del quadro, il quale è completo di scaldiglia e termostato. All'interno dei quadri sono montati:

- interruttore automatico magnetotermico in esecuzione sezionabile con comando a motore e contatti ausiliari;
- riduttori di corrente;
- contatori di energia per uso UTIF corredati di certificati per misure tassate e prodotte;
- amperometri con commutatore amperometrico;
- kilowattmetri trifasi con convertitore;
- TV corredati di fusibili;
- interruttori automatici differenziali in esecuzione fissa con attacchi posteriori servizi ausiliari tassati ed esenti;
- interruttori automatici differenziali;
- interruttori automatici;
- contatti ausiliari;
- interruttori salvamotori con contatti ausiliari;
- caricabatterie 220V/24V corredato di batterie ermetiche e relè di minima e massima tensione 24Vcc;
- voltmetro con commutatore e fusibili;
- relè amperometrico trifase a 2 soglie regolabili per il controllo e protezione del gruppo: contro i sovraccarichi ed i cortocircuiti del generatore e contro il ritorno di energia attiva;
- batteria di condensatori atta al rifasamento automatico della potenza erogata dal generatore secondo le richieste ENEL;
- PLC Siemens di controllo gruppo con alimentazione in 24 Vcc fornita dalle batterie.

Il software è sviluppato in modo da essere facilmente parametrizzato.

#### 5.7.4.2 - Impianto equipotenziale di terra

Realizzazione dell'impianto equipotenziale di terra e di tutte le apparecchiature di centrale mediante l'interconnessione di tutte le strutture metalliche al sistema di terra. È esclusa la realizzazione del dispersore esterno di terra.

#### 5.7.4.3 - Misure UTF

Per misura UTF si intende una misura concorde a quanto sancito dagli Uffici Tecnici di Finanza. Si rende necessario un quadro contenente le misure UTF. All'uscita del generatore viene installato il contatore UTF trifase equilibrato con TA tarati per le misure, con certificato di collaudo.

#### 5.7.4.4 - Quadro di rifasamento automatico

Quadro di rifasamento, predisposto con dispositivo logico di controllo a 3 gradini da 90 [kVAr], con inserimento ritardato dopo l'avvenuto parallelo, controllo diretto delle microinterruzioni ed un relè di massima tensione con sgancio entro 100 [ms] con aggancio temporizzato, inclusi collegamenti elettrici di potenza e segnale, cavi e cablaggi.

#### 5.7.4.5 - Sistema di supervisione

Sistema di supervisione per il controllo in remoto della centrale. Il sistema ha una veste grafica al fine di garantire un'interfaccia con l'operatore più intuitiva. L'accesso all'impianto è realizzato attraverso riconoscimento dell'utente con password di livello, con le quali si possono codificare le operazioni a cui ogni livello può accedere. La connessione alla rete esterna avviene mediante un firewall fisico (CISCO o similare) per garantire una maggiore invulnerabilità al sistema. La fornitura comprende anche la stazione d'interfaccia e la teletrasmissione dei dati attraverso la linea telefonica.

#### 5.7.4.6 - Quadro di distribuzione generale

Quadro di distribuzione generale della centrale e di servizio. Costituito da 2 blocchi per le prese di servizio, 3 armature stagne per lampade fluorescenti complete di diffusore, portalam-pada, lampade fluorescenti da 36 [W], un apparecchio autonomo di emergenza con accumulatori al Ni-Cd, lampada fluorescente da 24 [W], un connettore telefonico completo di linea.

#### 5.7.4.7 - Linee elettriche e telefoniche

Cabine di sezionamento ed unità di misure della produzione lato utente, linea telefonica per il collegamento telefonico e via modem lato utente. La linea elettrica da 400 [V] per consegna energia deve essere eseguita dall'ENEL ed è esclusa dalla presente fornitura. Non è previsto collegamento in MT.

#### 5.7.5 - Paranco

Fornitura di carroponete per il sollevamento della macchina e posizionamento, costituito da una struttura in acciaio ancorata ad adeguata altezza ed inserita nel calcestruzzo o fissata con tirafondi. Costituita da trave fissa portante in HEB 180 [mm] adatta al sollevamento della macchina. Paranco di sollevamento con spostamento unidirezionale e sollevamento mediante catena manuale. Tutta la struttura viene protetta superficialmente con zincatura a caldo.

#### 5.7.6 - Apparecchiature opera di presa

##### 5.7.6.1 - Trasmettitore di livello ad ultrasuoni

Due trasmettitori di livello a parete da installarsi sull'opera di presa, uno dei quali all'interno della vasca di carico e l'altro a monte dello sgrigliatore. Il trasduttore ad ultrasuoni verrà posto non a contatto con l'acqua, ottenendo così una minore influenza data dalla presenza di calcare che può invece rovinare un sensore di pressione, il quale deve necessariamente essere inserito in acqua. Il sensore sarà alimentato a 24 V cc ed avrà un'uscita analogica in 4 - 20 [mA].

##### 5.7.6.2 - Trasmettitore dell'interfaccia solido-liquido ad ultrasuoni

Trasmettitore di livello a parete da installarsi all'opera di presa all'interno della vasca di carico, nel punto di maggior profondità della stessa. Il trasduttore ad ultrasuoni verrà posto a contatto con l'acqua per permettere al sensore di rilevare la quantità di materiale depositato. Il sensore, autopulente per una sempre alta efficienza, sarà alimentato a 24 V cc ed avrà un'uscita analogica in 4 - 20 [mA].

##### 5.7.6.3 - Trasmettitore di portata

Trasmettitore di portata da installarsi sulla tubatura in un punto vicino all'opera di presa. Operante grazie al principio dell'effetto Doppler, esso non richiede interventi strutturali



sulla tubatura, che non dovendo esser forata manterrà inalterate le sue caratteristiche. Il sensore sarà alimentato a 24 V cc, avrà un'uscita analogica in 4 - 20 [mA] ed annesso sarà fornito lo strumento di ricezione, invio e lettura dei dati digitalizzati.

#### 5.7.6.4 - PLC per la strumentazione di monitoraggio

Interfaccia computerizzata capace di gestire e digitalizzare le uscite analogiche dei sensori, permettendo una facile lettura, un rapido intervento sui parametri operativi ed una taratura semplificata. Sarà interlacciato con i sensori ed il quadro elettrico, permettendo di agevolare la comunicazione tra questi ed un invio sempre preciso dei dati.

#### 5.7.6.5 - Quadro elettrico

Realizzazione di quadro elettrico per le operazioni di manovra della paratoia di regolazione della portata, della paratoia di sghiaiatrice e dello sgrigliatore, compreso il rullo per il trasporto del materiale raccolto dal rastrello.

L'azionamento della paratoia per la condotta di adduzione sarà effettuato grazie ad un confronto tra i segnali del misuratore di livello e quello di portata, mentre la paratoia di sghiaiatrice sarà comandata dal sensore dell'interfaccia solido-liquido per aprirsi quando necessario. Il comando dello sgrigliatore sarà deciso dal rapporto tra il livello misurato dal sensore ad ultrasuoni all'interno della vasca e quello a monte dello sgrigliatore stesso.

Le manovre dello sgrigliatore e delle paratoie potranno essere fatte in locale ed in remoto con un selettore che impedisca le manovre da remoto una volta presi in carico localmente i comandi, oppure automaticamente impostando i vari parametri richiesti.

Si prevede inoltre l'installazione di un faro e di una lampada esterna crepuscolare, di una lampada interna e di due prese di corrente da 220 V.

### 5.7.7 - Sgrigliatore ed organi accessori

#### 5.7.7.1 - Dati tecnici sgrigliatore

Di tipo a rete mobile dentata, basa il suo principio sul passaggio dell'acqua attraverso una maglia metallica autopulente. È costituito da due rulli rotanti, uno dei quali collegato ad un motore elettrico, sui quali è avvolta la rete dentata che si pulisce scaricando i detriti grazie ad una spazzola posteriore, posta sulla sommità del nastro trasportatore. I rulli sono provvisti di 20 ruote dentate ciascuno, ed il dente delle suddette è della forma e passo corretti per ingranare con le maglie della rete e trasmettere il moto. Strutturalmente, essa è autoportante e necessita unicamente di un fissaggio laterale capace di sostenerne il peso, poiché non risultano coppie scaricate sui sostegni.

Il motore elettrico presenta un assorbimento di 5 [kW], una velocità di rotazione pari a 1.400 [rpm], ed è collegato ad un riduttore meccanico funzionante grazie al principio di vite senza fine con un rapporto di trasmissione di 1/80. La velocità dei rulli risulta essere quindi pari a 18 [rpm], sufficienti a far compiere un'intera traslazione della rete calcolata in due minuti e mezzo e permettere la raccolta della più alta quantità di rifiuto.

La rete mobile dentata presenta delle maglie quadrate la cui luce è di 20 [mm<sup>2</sup>], con un ottimo compromesso tra perdita di carico e capacità di filtraggio; lo spessore della rete è pari a 15 [mm], dovendo resistere anche a forti sollecitazioni; la sua lunghezza totale ammonta a 9 metri, mentre frontalmente si presenta una lunghezza pari a 3,8 metri. La larghezza, propria dell'intera automazione, è 4,5 metri.

La presente attrezzatura risulta equipaggiata di tutti i sistemi di sicurezza e gli organi elettrici sono debitamente protetti dall'acqua.

#### 5.7.7.2 - Nastro evacuazione ramagli

L'evacuazione dei ramagli, raccolti dallo sgrigliatore viene effettuata da un nastro trasportatore motorizzato da 400 x 3000 [mm], che dalla griglia, costruita in carpenteria zincata a caldo, convoglia gli stessi ramagli all'interno di un cassone. Le caratteristiche tecniche sono le seguenti:

- struttura costruita in profilo tubolare commerciale;
- tamburi diametro 200 [mm], con tamburo motore rivestito in gomma;
- supporti tamburo tipo UCP;
- rulli superiori di trasporto nastro tipo Dugon serie 307;
- rullo di ritorno nastro tipo Dugon serie 307 con anelli in gomma o spirale in ferro;
- raschiatore interno a vomere in corrispondenza del tamburo folle;
- raschiatore esterno in corrispondenza del tamburo motore;
- tappeto classe 400 cop. 4+2;
- trasmissione con motore e riduttore a vite senza fine;
- potenza del motore 2 [kW];
- protezioni varie.

#### 5.7.7.3 - Paratoie

Realizzazione ed installazione di 2 paratoie piane in acciaio a comando oleodinamico:

- una quadrata di lato pari a 1.600 [mm], per la luce di scarico della vasca connessa con la condotta di desabbiatura-sghiaatura costruita con scatolari rettangolari armati di misure 1.500 x 1.500 x lunghezza 2.000 [mm];
- una quadrata di lato pari a 2.000 [mm] a presidio e regolazione della luce sulla tubatura di adduzione dell'acqua alla turbina DN1800.

Le sopra citate paratoie sono provviste di attuatori idraulici atti al funzionamento anche in condizioni difficili di corrente, e insensibili al bagno in acqua. Essi andranno collegati al sistema di controllo.

#### 5.7.8 - Impianto di videosorveglianza

Fornitura ed installazione di 2 telecamere a colori ad alta risoluzione Day & Night con filtro IR removibile per il monitoraggio, a comando, delle parti costituenti l'opera di presa e della centrale. Il segnale delle telecamere viene trasmesso al sistema di supervisione.

#### 5.7.9 - Progettazione

##### 5.7.9.1 - Progettazione idraulica

È accuratamente predisposta tutta la documentazione tecnica di progetto di tutte le parti idrauliche. Vengono infatti forniti i disegni indicativi di costruzione delle parti inerenti la turbina, la tubatura di attacco della vasca e dello scarico, nonché della centralina oleodinamica.

##### 5.7.9.2 - Progettazione elettrica

La progettazione elettrica riguarda tutti gli impianti ausiliari, cioè tutto quanto inerente l'alimentazione, i servizi ausiliari, la segnalazione, il controllo, la gestione e la protezione dell'impianto.

Comprende, in particolare :

- schemi unifilari;
- schemi elettrici multifilari;
- schemi elettrici per UTIF ed ENEL;

schemi funzionali;  
lista dei cavi e percorsi;  
schemi topografici dei quadri, comprensivi delle morsettiere e dell'impianto;  
morsettiere con l'attestazione dei cavi d'interfaccia e d'uscita;  
pianta impianto terre centrale e opera di presa;  
layout generale d'impianto con denominazione dei vari quadri e delle apparecchiature;  
tabelle cavi;  
schemi di flusso delle sequenze logiche implementate sulle apparecchiature programmabili (PLC);  
schemi logici delle sequenze implementate e disegni comprensivi di tutti i particolari tecnici delle opere elettromeccaniche installate;  
piano di taratura delle protezioni;  
Ciascun quadro e ciascun apparecchio sono chiaramente identificabili, con denominazione riportata nella documentazione coincidente con quella di contrassegno in campo. I cavi sono singolarmente contrassegnati e, a corredo della documentazione tecnica di progetto, vengono fornite opportune relazioni tecniche esplicative dei criteri adottati e delle scelte effettuate, di dimensionamento dei cavi e degli apparecchi e di taratura delle protezioni.

#### 5.7.9.3 - Specifiche di dettaglio della documentazione

Il progetto è realizzato secondo la regola dell'arte, a garanzia della qualità della progettazione per il committente. Tutta la documentazione tecnica di progetto sarà fornita a fine lavori sia su supporto cartaceo che magnetico, compatibile con Autocad 14/LT98 e MS-Office 97/2000. Viene inoltre prodotta:

- manualistica di gestione e manutenzione della centrale in lingua italiana;
- programma per la manutenzione ordinaria della centrale;
- certificati di conformità d'impianto 46/90;
- certificato di prove e collaudo quadri;
- modulo per autoproduttori DK 5740;
- modello di trasmissione di dichiarazione di conformità dell'impianto di messa a terra ai sensi del DPR 22/10/2001 n. 462;
- modulo per autoproduttori UTF;
- certificato di collaudo e taratura dei relè di protezione;
- lista dei principali materiali di ricambio da tenere disponibile in magazzino, compresi i materiali di consumo.

### 5.7.10 - Prezzo

<b>Tabella delle forniture</b>	
Turbina Kaplan da 120 kW completa di ogni dispositivo compreso tronco di cono d'entrata e gomito di scarico.	
Centralina oleodinamica per il comando delle pale della turbina	
Paratoia di intercettazione	
Generatore di corrente asincrono trifase da 120 kW ,400 V, 380 giri/min	
Linea telefonica lato utente.	
Quadri elettrici di macchina, sistema di comando e controllo a distanza, ausiliari e misure.	
Quadro di rifasamento da 90 Kvar	
Impianto equipotenziale di terra ed interconnessioni quadri	
Paranco manuale per il sollevamento macchina	
Apparecchiatura opera di presa con sensori.	
Quadro elettrico servizi	
Impianto di videosorveglianza	
Sgrigliatore e nastro trasporto ramaglie	
Centralina oleodinamica per manovra paratoie	
Griglia di ingresso vasca	
Paratoie di scarico n. 2	
Minuterie	
Lavorazioni	
Progettazione idraulica	
Progettazione elettrica	
Montaggi	
Assistenza tecnica alle opere edili	
<b>TOTALI</b>	<b>280.000,00</b>

### 5.7.11 - Garanzie ed istruzioni

#### 5.7.11.1 - Garanzie

La ditta garantisce le attrezzature di propria fornitura 12 mesi dalla data di avviamento delle stesse (comunque non oltre i 13 mesi dalla data di spedizione). Per quanto concerne la turbina 24 mesi dalla data di avviamento delle stesse (comunque non oltre i 30 mesi dalla data di spedizione). Le anomalie delle apparecchiature installate sono coperte dalla garanzia della casa costruttrice per un periodo di almeno 12 mesi dalla consegna. Per effetto di tale garanzia ci si impegna a far riparare o sostituire gratuitamente, dal proprio stabilimento e nel più breve tempo possibile, tutti quei materiali che presentino anomalie oggettivamente dimostrabili e riconosciute dalla casa costruttrice.

Nel caso fosse richiesto l'intervento in luogo, saranno addebitate solo le spese manodopera. Non saranno riparate gratuitamente le apparecchiature già riparate da altro personale non autorizzato, impropriamente immagazzinate, installate in modo errato e/o installate in

ambiente inadatto. Per tali apparecchiature decadrà quindi la garanzia e saranno riparate o sostituite applicando i prezzi e le tariffe orarie da noi in uso.

#### 5.7.11.2 - Istruzioni per la gestione

Nel prezzo di offerta è compresa l'istruzione del personale di servizio che può prendere parte anche ad alcune fasi dei lavori di installazione in modo tale che possa poi gestire autonomamente l'impianto. In ogni caso l'azienda si impegna a formare il personale addetto al servizio per un totale di 8 ore, ritenute più che sufficienti.

#### 5.7.12 - Limiti di fornitura

##### 5.7.12.1 - Sono compresi nella presente offerta:

- imballi;
- trasporti;
- installazioni;
- messa in marcia;
- assistenza alle opere edili per l'indicazione di particolari destinati alle installazioni delle macchine e delle opere di presa.

##### 5.7.12.2 - Sono esclusi dalla nostra offerta:

- la realizzazione dei punti di consegna dall'ente erogatore sia in ingresso sia in uscita se diversa;
- un locale in cantiere per la custodia disegni, documentazione ed attrezzi, servizi igienici e spogliatoio;
- il ricovero e la custodia dei materiali a piè d'opera o già in opera;
- i mezzi di sollevamento provvisori;
- autorizzazioni;
- opere edili.
- tasse di ogni tipo ivi inclusa IVA;
- quant'altro non dettagliatamente descritto nei precedenti capitoli.

#### 5.7.13 - Condizioni generali

##### 5.7.13.1 - Condizioni generali del contratto

Tutte le apparecchiature sono prodotte secondo le norme DIN e IEC.

Questo contratto sarà regolato in accordo all'ultima edizione INCOTERMS e FIDIC.

##### 5.7.13.2 - 14.2. Riferimenti normativi

Tutti i quadri saranno in tutto e per tutto conformi alla regola dell'arte ed in particolare alle norme IEC e CEI 17-13/1 (EN 60439-1).

La specifica tecnica sopra per intero riportata è stata presentata alla società "Idrofiumana", firmata dal legale rappresentante della ditta "Lumiei Impianti", il sig. Fausto Schneider. Dopo un'attenta analisi effettuata dall'ingegner Massari, dagli ingegneri dell'omonimo Studio Tecnico e alla presenza del sottoscritto, si è deciso di accettare la proposta con le specifiche indicate e procedere con la costruzione dell'impianto mini-idroelettrico sul fiume Rabbi. Nel prossimo capitolo si presentano nel dettaglio dapprima le richieste di autorizzazione e poi i contratti necessari per un'installazione di questo genere.



## *capitolo sesto*

# **Le autorizzazioni ed i contratti**

In tale capitolo si analizza l'aspetto burocratico dell'intero progetto, dal suo concepimento alle prime autorizzazioni fino a giungere alla stipula finale dei contratti. Si possono perciò distinguere due ambiti fondamentali, cioè quello legale e quello tecnico; volendo porre un ordine temporale, per il progetto si sono seguiti i seguenti passaggi:

- Dapprima è stato necessario individuare i siti ed i contesti adatti ad un impianto per la generazione idroelettrica; come già accennato, essi devono necessariamente presentare un corso d'acqua avente una portata sufficientemente alta, un buon dislivello disponibile sulla brevissima distanza (i casi estremi sono rappresentati dalla diga e dalla cascata), un sito di costruzione facilmente raggiungibile con automezzi e autocarri ed una linea elettrica entro mezzo chilometro dall'alternatore. Nell'area territoriale indagata ne sono stati individuati venti, e Fiumana è uno di questi.
- Si è proceduto con uno studio di fattibilità per verificare l'effettivo beneficio economico derivante dall'adozione di un impianto del genere, richiedendo preventivi ed appurando la presenza di un ricavo superiore agli investimenti.
- Il sito scelto è stato sottoposto ad un'attenta analisi dal punto di vista territoriale ed urbanistico, visualizzando sulle mappe catastali del comune di Predappio l'effettiva assenza di vincoli; raccogliendo vari dati sulle portate fluviali e sull'impianto in progettazione, si è fatta domanda all'organo provinciale incaricato di rilasciare l'autorizzazione allo sfruttamento dell'acqua fluente del fiume Rabbi.
- Una volta ottenuti i permessi, il passo successivo è stato procedere col progetto, aumentandone il livello di dettaglio e presentando un prospetto economico molto più preciso; la "Lumiei Impianti" ha così stilato un contratto di fornitura e montaggio della centrale, proponendo una specifica tecnica ed economica contenente ogni particolare necessario per la costruzione, l'assemblaggio ed il trasporto dell'apparecchiatura elettromeccanica necessaria, contenente anche i costi finali.
- Sono poi stati firmati i vari contratti tra i soggetti giuridici attori dell'intero scenario: il contratto di costruzione è stato stipulato tra "Idrofiumana s.r.l." e "Lumiei Impianti s.r.l.", mentre il contratto di gestione tra "Idrofiumana s.r.l." ed "Amga Energia e Servizi s.r.l."

I punti iniziali sono stati affrontati nel capitolo 5, riguardante l'investimento economico ed il progetto esecutivo, nel seguito si vuole invece sostenere il discorso legislativo, burocratico e contrattuale iniziando dalla richiesta delle autorizzazioni.

## 6.1 La relazione generale e tecnica

Questa nota introduttiva mostra i primi passi mossi verso la realizzazione dell'impianto, con una serie di ipotesi sulla forma dell'impianto finito che, come mostrato nei capitoli precedenti, sono stati ampiamente rivisitati e modificati per adattarli alle problematiche insorte col passare del tempo e alla rifiniture tecniche.

### 6.1.1 - Introduzione

La presente relazione descrive il progetto di derivazione idrica dal Torrente Rabbi in località Fiumana, finalizzato alla produzione energetica per la società proponente "Energie e Servizi s.r.l.", con progettazione delle opere a cura del Geom. Luca Raggi. Il proponente intende fare domanda di concessione per derivazione di acqua pubblica alla Regione Emilia Romagna - Servizio Tecnico di Bacino Romagna - Sede di Forlì. Nella relazione viene fornito un breve inquadramento del sito ove si propone la derivazione, si illustrano sinteticamente le caratteristiche delle opere, e si riportano le verifiche idrologiche ed idrauliche condotte al fine di ottimizzare l'impianto e assicurarne la compatibilità idrologica, idraulica ed ambientale.

La presente relazione costituisce elaborato specificamente richiesto in base all'art. 6 del reg. 41/2001 della Regione Emilia Romagna ai fini della concessione di derivazione da corpi idrici superficiali, e concorre a costituire la documentazione richiesta ai fini dell'autorizzazione per impianti alimentati a fonti rinnovabili di potenza inferiore a 100 kW, che ai sensi del D.Lgs. 387/2003 sono soggetti a denuncia di inizio attività (DIA o suoi successivi aggiornamenti) oltre alla autorizzazione alla derivazione. Il regolamento regionale citato richiede, fra gli altri elaborati, anche un' "analisi di fattibilità di impianti utili a consentire il riciclo, riuso e risparmio della risorsa idrica". Appare immediatamente chiaro che, trattandosi di una derivazione a scopo energetico non dissipativa, una tale analisi nel caso in esame non avrebbe significato. È però importante sottolineare che il progetto di derivazione qui descritto è stato ispirato al principio di utilizzare uno sbarramento esistente sul Torrente Rabbi, limitando al minimo la lunghezza della derivazione, esattamente nello spirito di minimizzare la pressione sui corpi idrici che sottende il regolamento.

Si noti che trattandosi di impianto idroelettrico di potenza inferiore a 100 kW non ricadente all'interno di aree naturali protette non si applicano le procedure di Screening o VIA a nessun livello (legge regionale 9'99 art.4 e allegato B.1.8 come modificata dal Dlgs 152/06 e s.m.i. e come chiarito nella circolare regionale 49760 del 27/02/09).

### 6.1.2 - Inquadramento territoriale

Il progetto qui presentato si riferisce ad una derivazione idrica per scopi energetici proposta in corrispondenza della briglia esistente in località Fiumana in comune di Predappio (FC), sul Torrente Rabbi, come mostrato nella corografia su carta tecnica regionale (CTR) in scala 1:10.000 allegata alla presente nota tecnica.

I nuovi manufatti di progetto sono collocati interamente in area demaniale. La tavola 8 riporta la planimetria catastale. Dal punto di vista normativo si segnala che l'area è sottoposta ai vincoli paesaggistici delle pertinenze dei corsi d'acqua ai sensi del D.Lgs. 42/2004, ed è classificata come area art.3 dal Piano per il rischio idrogeologico dell'Autorità dei bacini regionali romagnoli (si veda l'immagine seguente).

La centrale risulta cioè inserita tra le aree classificate come interessabili da piena trentennale (art.3-aree a elevata probabilità di esondazione), così come il punto di connessione ENEL previsto ed il vano per l'alloggiamento dei quadri elettrici.

A tal proposito va evidenziato come le aree in destra idraulica del Rabbi siano interamente interessate dalla piena trentennale e risultino già oggi sede di urbanizzazione con numerosi edifici adibiti a civile abitazione, la linea elettrica di collegamento è anch'essa posta a breve distanza dalle opere in area ex art.3 del PAI. Di converso in sinistra idraulica la presenza di un muro d'ala e dell'abitato esistente (Figura 2) rendono inidoneo il sito al collocamento di un dispositivo del tipo presa-rilascio quale quello allo studio. Si può quindi ritenere la posizione delle opere proposte (di interesse pubblico ai sensi del D.Lgs. 387/2003) come non delocalizzabile ai sensi dell'art.3 del PAI. Si segnala infine che tutte le opere, salvo la bocca di presa e rilascio sono al di fuori delle aree art.2-ter (alveo) nonché esterne alla precedente perimetrazione dell'alveo, ancora vigente nella pianificazione provinciale (art. 18 del PTC della provincia di Forlì Cesena).

Non viene infine segnalato nell'area alcun rischio di frana ai sensi dell'art. 12 del PAI.



**Figura 1- inserimento nelle aree art 2-ter, 3-4 del PAI dell'ADBRR, alveo PTCP**



**Figura 2- vista della briglia da monte , muro d'ala in sinistra idraulica**





**Figura 3- vista della briglia lato valle**

### **6.1.3 - Descrizione delle opere**

La conformazione attuale della briglia presenta un dislivello fra pelo libero a monte e valle dell'opera di 6 m (si vedano le tavole 4 -6 di progetto recanti il rilievo topografico dell'intorno dell'opera e le sezioni a monte-valle del manufatto). Questo permette, derivando la portata relativamente modesta di 2.5 metri cubi al secondo, di rendere disponibile una potenza idraulica che può essere convenientemente utilizzata.

Il progetto prevede i seguenti interventi:

1. Realizzazione di una gaveta per il minimo deflusso vitale in sommità della briglia, posta a quota 75.97 m slm e larga 250 cm; tale gaveta consente di smaltire la portata minima di 170 l/s (secondo il noto schema di stramazzo in parete grossa) quando il livello idrico sulla briglia è pari a 76.08 m slm (valore di funzionamento previsto per la derivazione e regolato in modo da restare costante agendo sulle aperture delle turbine);

2. Realizzazione di uno sfioratore laterale mediante luce a stramazzo, munita di opportuna griglia di protezione, di larghezza complessiva pari a 5 m a monte della briglia;
3. Attraversamento del corpo di briglia con una tubazione DN 1200 m per raggiungere il vano turbine ed una tubazione DN 500 per lo sghiaiaturo;
4. Realizzazione della centrale di turbinamento e del canale di restituzione in adiacenza alla briglia esistente, lato valle, con ripristino di una morfologia del terreno completamente interrata e protetta lato fiume con massi ciclopici.

Particolare cura dovrà venire posta nella progettazione strutturale dell'intervento per quanto concerne l'interazione con il corpo di briglia, rispetto al quale tuttavia il vano macchine si configura come manufatto indipendente.

Le opere murarie dovranno quindi essere sottoposte alle opportune verifiche statiche e dimensionamenti strutturali in sede di progettazione esecutiva.

Lo sfioratore laterale di presa risulta di tipo a stramazzo rigurgitato. La luce, con le dimensioni indicate in tavola n 6, opera con un livello idrico di monte in condizioni ordinarie per portata di progetto pari a 76.08 m slm (ciglio briglia), che garantisce un carico sulle turbine ( pelo libero di monte al netto delle perdite di carico di punta per portata di progetto) stimato pari a 75.8 m slm.

A valle dello sfioratore (tavola n 6) si trova una zona di calma con funzione di vasca di carico e sedimentazione delle frazioni più grossolane (pezzatura di alcuni millimetri). A valle di quest'ultima, è collocata la condotta e la camera in pressione (chiusa da botola stagna) dove è alloggiata la turbina, il cui distributore è alimentato direttamente dall'acqua della vasca. Per modulare le portate turbinate, in relazione alla disponibilità idrica del fiume, si adatterà una turbina kaplan regolabile (portata massima totale 2500 l/s). La possibilità di regolarne l'apertura in funzione della portata consente di mantenere il livello di monte sostanzialmente costante. Questo previene ogni problema di cavitazione. Alla turbina è accoppiato un proprio generatore sommerso.

Tutte le opere descritte sono interrate e non si configurano pertanto come ingombri alla sezione di deflusso. Le verifiche idrauliche per portata di piena duecentennale e trentennale in condizioni post operam sono coincidenti con quelle in condizioni ante operam (si vedano i paragrafi successivi).

quadri elettrici muniti di inverter per la connessione alla rete elettrica vengono alloggiati in un vano separato distante circa 20 m dalla centrale. Come tutta la golena in destra idraulica anche quest'area è inondabile per piena trentennale; sono quindi previste misure di sicurezza passiva a protezione dei vani tecnici con:

1. sovralzato del piano di calpestio e ingresso tramite porta stagna
2. posizionamento delle aperture di areazione a quota superiore al livello raggiunto dalla piena con tempo di ritorno di 200 anni (v. tavola n 6)

Subito dopo il vano turbina è collocato un canale di scarico che recapita in alveo a valle della briglia. Le tavole 4 e 6 mostrano una planimetria illustrativa e le sezioni dell'opera, che agisce come un by-pass della briglia per le portate in eccesso rispetto al DMV, quando queste non superano i 2.5 mc/s.

L'intervento si inserisce sulla sponda destra del fiume ed interessa parzialmente la struttura della briglia, realizzata in c.a. con pali e trave di testa, per l'attraversamento della condotta di carico DN 1200 mm e del tubo di sghiaiaturo D 500 mm ( Tavola 4 e 6 ).

L'intervento viene inoltre accompagnato da opere di pulizia periodica del fondo alveo nell'intorno dello scarico senza modifica delle quote di scorrimento rilevate per la sezione fluviale in corrispondenza dello scarico, al solo scopo di raccordare lo scarico con il fondo alveo rilevato (quota 69.3 mslm), tale valore rappresenta una condizione di equilibrio di-



namico per il Torrente. In base al rilievo topografico il pelo libero di valle in condizioni ordinarie è stimabile in 70.1 mslm con un salto lordo idraulico di 6 m circa.

#### 6.1.4 - Dispositivi di misura delle portate

Per verificare le portate derivate ed il rilascio del DMV è prevista l'installazione di un sensore di livello a monte della briglia in prossimità della bocca di presa e di un sensore di livello nella vasca di carico della turbina. Il calcolo della portata derivata e del rilascio di DMV potrà così esser effettuato applicando ai dati di livello registrati le usuali formule per stramazzi rigurgitati e luci a battente. Il layout definitivo di tali strumentazioni verrà definito in sede di progettazione più avanzata in base alle indicazioni tecniche dei fornitori e alle eventuali indicazioni del Servizio Tecnico di Bacino.

#### 6.1.5 - Valutazioni idrologiche dell'impianto

Il progetto ha richiesto la ricostruzione della curva di durata delle portate per il sito in esame, nonché la stima delle portate di piena di assegnato tempo di ritorno per la verifica della compatibilità idraulica dell'intervento con l'assetto della rete idrografica.

La ricostruzione idrologica si basa sulle curve di durata 1991-2001 pubblicate nel Piano tutela acqua della Regione Emilia Romagna (si veda anche ARPA, 2003), che inglobano al loro interno i principali prelievi in essere.

La sezione pubblicata (Rabbi all'immissione nel Montone) ha un bacino drenato di 222 km<sup>2</sup> contro i 189 stimati su base ctr 1:5000 per il bacino drenato a monte della derivazione.

La portata media della sezione PTA è di 2,74 mc/s con un DMV idrologico secondo le indicazioni del PTA di 0.192 mc/s.

Ciò conduce, tramite semplice riscalaggio sulle aree dei bacini drenati, ad una valutazione della portata media annua del fiume per la sezione allo studio pari a 2,33 m<sup>3</sup>/s.

La curva di durata adottata con le relative ipotesi di prelievo ed il valore di DMV è riportata in Figura 4.

#### 6.1.6 - Deflusso minimo vitale (DMV)

Applicando il criterio previsto dall'Art. 54 del PTA regionale sulla stima del DMV idrologico (si vedano le norme del PTA per i dettagli) si ottiene un valore idrologico minimo di 170 l/s, ampiamente soddisfatto con la predisposizione di una luce a stramazzo sul coronamento della briglia (come descritto nel paragrafo precedente).

Per quanto tale riferimento normativo non sia più, ad oggi, vigente il valore da esso derivabile si ritiene ancora del tutto adeguato per un caso quale quello in esame (derivazione a monte di un manufatto con restituzione al piede dello stesso); non è infatti necessario predisporre alcun aumento del DMV oltre il valore minimo idrologico perché la derivazione interessa di fatto solo il calcestruzzo della briglia e non l'alveo circostante per un tratto apprezzabile.

#### 6.1.7 - Portate e volumi di derivazione – dati di sintesi dell'impianto

Vengono qui riportati i dati di sintesi dell'impianto come richiesti dal R.R. 41-2001:

1. Quota Opera di Presa = 76.08 m s.l.m
2. Coordinata UTMX della presa = 739'086
3. Coordinata UTM Y della presa = 891'984
4. Salto idraulico lordo H = 6 m
5. perdite di carico massime 5% di H

6. Bacino drenato 189 km<sup>2</sup>
7. Portata media  $Q = 2,33 \text{ m}^3/\text{s}$
8. DMV = 170 l/s (valore minimo idrologico PTA)
9. Portata Max. Derivabile  $Q_{\text{max}} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$
10. Portata minima derivabile = 250 l/s
11. Disponibilità risorsa 95% (è prevista la chiusura straordinaria impianto durante episodi di piena)
12. Portata media annua derivabile (nel periodo di funzionamento)  $Q_{\text{md}} = 1,35 \text{ m}^3/\text{s}$
13. Volume annuo derivato e restituito = 32 Mm<sup>3</sup>
14. Potenza complessiva massima delle turbine = 99 kW
15. Potenza nominale media annua (potenza di concessione di derivazione d'acqua) =  $Q_{\text{md}}[\text{l/s}] \times H[\text{m}] / 102 = 80 \text{ Kw}$
16. Energia annua generata 320'000 kwh/anno
17. Periodo di funzionamento = 274 giorni/anno (non è prevista derivazione in periodo estivo per portate inferiori alla minima derivabile + il DMV)

#### 6.1.8 - Portata di piena di progetto per le verifiche di compatibilità

Le portate di piena sono derivate direttamente dal PAI dell'ADBRR e risultano pari a 326 e 481 mc/s circa per  $T = 30$  e  $T = 200$  anni.

Anche il modello idraulico monodimensionale dell'alveo utilizzato è stato aggiornato a partire da quello in uso presso ADB ed STB in ambiente HEC RAS (per ogni dettaglio sul codice si veda USACE,2002).

#### 6.1.9 - Verifiche idrauliche

Le verifiche idrauliche hanno riguardato il dimensionamento delle opere di derivazione per far defluire le portate di progetto, nonché l'officiosità idraulica dell'alveo a seguito delle modifiche apportate con la derivazione.

#### 6.1.10 - Funzionamento dell'opera di presa e rilascio del DMV

La luce del DMV è costituita da una gaveta di larghezza 250 cm ed è in grado di smaltire la portata di 170 l/s (DMV), funzionando come stramazzo in parete grossa; il livello d'acqua nell'invaso a monte della briglia è mantenuto a quota 76.08 m slm. Il regolamento del livello è ottenuto agendo sulla apertura della turbina.

La derivazione verso la turbina è costituita da una soglia rigurgitata in parete grossa (o di tipo "Bélanger") di larghezza 5 m netta posta a quota 75 m slm, a valle della quale si trova la vasca di desabbiatura e la condotta di carico prima del vano turbina. Il battente utile d'acqua a monte della soglia è di 100 cm circa. Lo stramazzo rigurgitato funziona sotto il condizionamento dei livelli imposti dalle turbine nella camera in pressione (variabili tra a 76 mslm e 75.7 mslm in condizioni ordinarie di funzionamento in base alla portata derivata), con perdite di carico crescenti al crescere della portata derivata e mantenimento di livello costante a monte della derivazione.

Le maggiori perdite di carico sono associate all'attraversamento in condotta del corpo di briglia ove la riduzione del diametro risulta essenziale per contenere gli impatti sulla statica del manufatto; l'utilizzo di un tubo DN 1200 consente di contenere la perdita di carico massima, secondo le usuali formule di calcolo per luce circolare a battente e perdita di carico distribuita in condotte circolari, entro il 5% del salto lordo (0.3 m).

### 6.1.11 - Effetti delle opere di progetto sui profili di piena

L'opera, per quanto interrata, induce una potenziale alterazione della sezione utile a valle della briglia ove risultano maggiori ingombri fuori terra rispetto all'ante operam.

Si è rappresentato in via cautelativa l'effetto delle nuove opere come ostruzione di sezione (*blocked obstruction*) immediatamente a valle della briglia per un ingombro in pianta di 20 m di larghezza per 15 di profondità sul lato destro della sezione della briglia ed una quota di 76 m slm.

Le sezioni a monte e valle della briglia sono state aggiornate in base al rilievo ante operam riportato nella tavola 2 di progetto ed anche la quota di coronamento briglia è stata aggiornata rispetto a quella inserita nel modello idraulico HEC RAS in uso presso l'STB (adottando un valore medio di 76.1 contro i 76.3 inseriti nel modello originale). I restanti parametri idraulici (ed in particolare scabrezza, coefficiente di stramazzo sulla briglia e condizioni al contorno) non sono stati variati rispetto ai valori preesistenti del modello idraulico.

Il calcolo in condizioni di moto quasi stazionario (idrogramma linearmente crescente e sino al valore di  $Q_{max}$  e poi costante su tale valore) è riportato nella tabella seguente. Le sezioni di monte e valle briglia con indicazione dei livelli di piena sono riportate nelle tavole di progetto. La verifica condotta in condizioni ante e post operam non mostra alcuna apprezzabile variazione dei peli liberi per  $T=30$  o  $T=200$  anni; gli effetti dei nuovi ingombri sui profili di piena per le sezioni allo studio possono quindi essere considerati trascurabili. Nella tabella seguente sono riportati i risultati del calcolo (livelli di piena di assegnato tempo di ritorno) per le sezioni immediatamente a monte e valle briglia e per la prima sezione di valle del modello idraulico esistente (non modificata) posizionata circa 30 m a valle del piede briglia:

	monte briglia	piede briglia	valle
	m slm	m slm	m slm
TR200	78.1	75.9	75.8
TR30	77.8	75.4	75.3

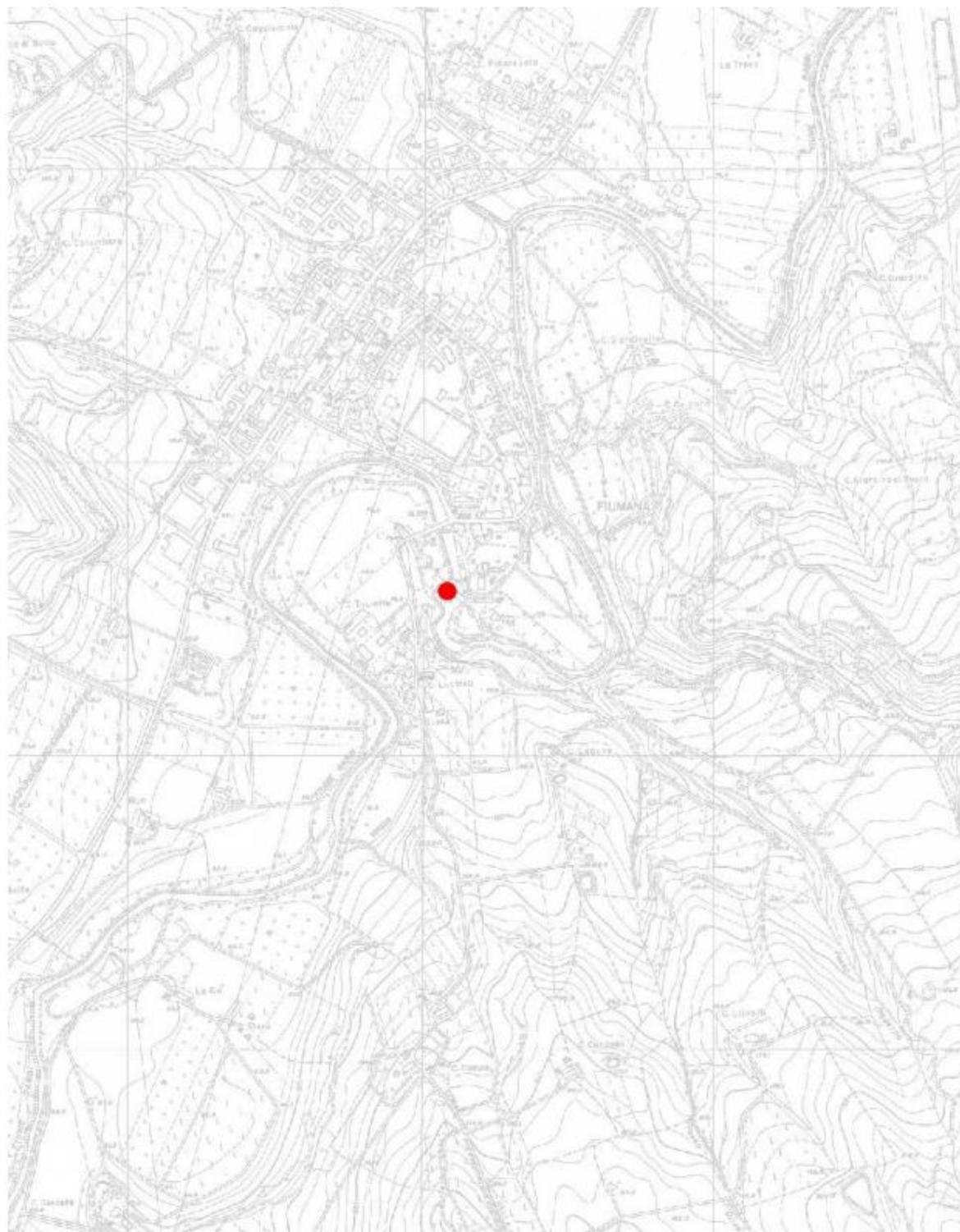
Sono del tutto evidenti gli effetti di rigurgito da valle che condizionano i risultati delle verifiche idrauliche. In Figura 6 si riporta il profilo longitudinale per portate con  $T=30$  e  $T=200$  anni.

### 6.1.12 - Scelta della turbina

Le condizioni di portata derivata e dislivello disponibile suggeriscono il ricorso ad una turbina di tipo kaplan regolabile per gli elevati rendimenti e la possibilità di agire sulla regolazione per mantenere il controllo dei livelli di monte.



Allegato I : localizzazione dell'opera su base CTR 1:10000





## 6.2 Il quadro programmatico

Grazie al sito informatico del comune di Predappio, dal quale sono state scaricate le mappe catastali ed i vincoli presenti sull'area di costruzione, è stato possibile verificare l'assenza di impedimenti legislativi all'attuazione del progetto in questione. Nel quadro programmatico successivamente riportato, la zona di realizzazione è graficamente evidenziata e contestualizzata nell'ambito specifico di ogni mappa:

### 6.2.1 - Inquadramento dell'area di intervento

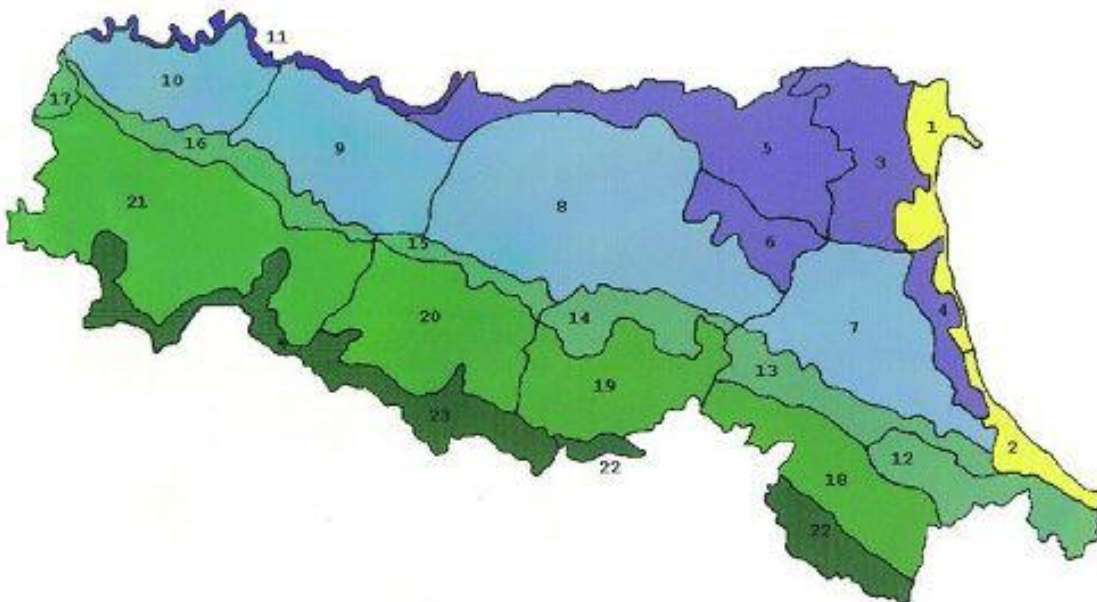
Di seguito si riporta l'inquadramento dell'area oggetto di intervento identificato sulla base delle varie cartografie rese disponibili da:

1. PTR, piano territoriale regionale;
2. PTPR, piano territoriale paesistico regionale;
3. PTCP, piano territoriale di coordinamento provinciale;
4. CTR, carta tecnica regionale.

#### 6.2.1.1 - Inquadramento dell'area dedotto dal PTR

Il Piano Territoriale Regionale ha assunto il ruolo quadro di riferimento per gli obiettivi strategici di assetto territoriale e di qualificazione dello sviluppo. In Emilia Romagna il PTR è stato adottato dal Consiglio regionale con deliberazione n. 2609 del 21/6/89 e poi approvato con deliberazione n. 3065 del 28/2/90.

L'area di interesse appartiene all'Unità classificata dal PTR della Regione Emilia-Romagna al numero 4 (*Bonifica romagnola*).



#### 6.2.1.2 - Inquadramento dedotto dal PTPR

La cartografia del Piano Territoriale Paesistico Regionale, e nello specifico la relativa tav. 1 di zonizzazione, non è al momento direttamente consultabile in quanto la banca dati è tuttora in via di configurazione e aggiornamento per effetto dell'approvazione di diversi

Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali e di modifiche grafiche di iniziativa comunale.

Si rimanda pertanto alla cartografia dei piani provinciali approvati, in quanto per effetto dell'art. 24, della L.R. 20/2000 essa costituisce, in materia di pianificazione paesaggistica, l'unico riferimento per gli strumenti comunali di pianificazione e per l'attività amministrativa attuativa; o agli stessi Comuni che abbiano avuto approvate varianti grafiche ai sensi della ex legge regionale 6/95, attualmente non più in vigore.

### 6.2.1.3 - Inquadramento dedotto dal PTCP

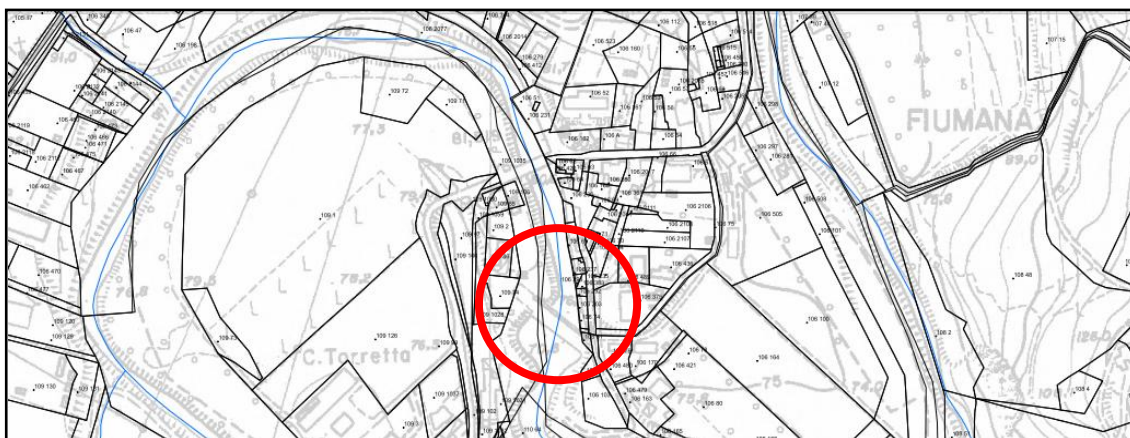
Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Forlì-Cesena, adottato con Delibera di Consiglio Provinciale n.53971/127 del 14/07/2005 e approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n.68886/146 del 14/09/2006 individua otto diverse unità di paesaggio. L'area in esame rientra a far parte di quella che è definita come Unità di paesaggio n. 6: "Paesaggio della pianura agricola pianificata".

Si riportano sintetizzati in tabella i vincoli riscontrati dalla verifica del PTCP della Provincia di Forlì-Cesena, poi nel seguito inseriti nel dettaglio:

Tav.	Tipo di Vincolo	Descrizione
1	Unità di Paesaggio	L'area è classificata come zona 6a "paesaggio della pianura agricola pianificata".
2	Zonizzazione Paesistica	Gli interventi ricadono all'interno nella zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei e nella zona di tutela degli elementi della centuriazione.
3	Carta Forestale e Uso del Suolo	L'area è classificata come seminativa.
4	Carta del Dissesto e della Vulnerabilità Territoriale	L'area è caratterizzata da ricchezza di falde idriche.
5	Schema di Assetto Territoriale	Gli interventi ricadono in un ambito ad alta vocazione produttiva agricola.
5B	Carta dei Vincoli	L'area non ricade all'interno di alcun vincolo.
c.3.1.1	Sistema della Mobilità	L'area dell'intervento è circondata da strade a media (2301-2800 veicoli/ora) e medio-bassa percorrenza (1801-2300 veicoli/ora).
c.2.1.5	Elettrodotti	L'area si trova per necessità nelle vicinanze di elettrodotti ma non rientra nelle loro fasce di rispetto.
B	Idrogeologica	Gli interventi non ricadono in alcuna area a rischio idrogeologico.

#### 6.2.1.4 - Inquadramento dedotto dalla corografia sul CTR del Comune di Predappio

Dalla consultazione della Carta Tecnica Regionale del Comune di Predappio, tutta l'area in oggetto risulta essere classificata come area Demaniale. Di seguito è inserita la sovrapposizione dello stralcio di CTR e della planimetria catastale del comune di Fiumana sull'area di intervento:

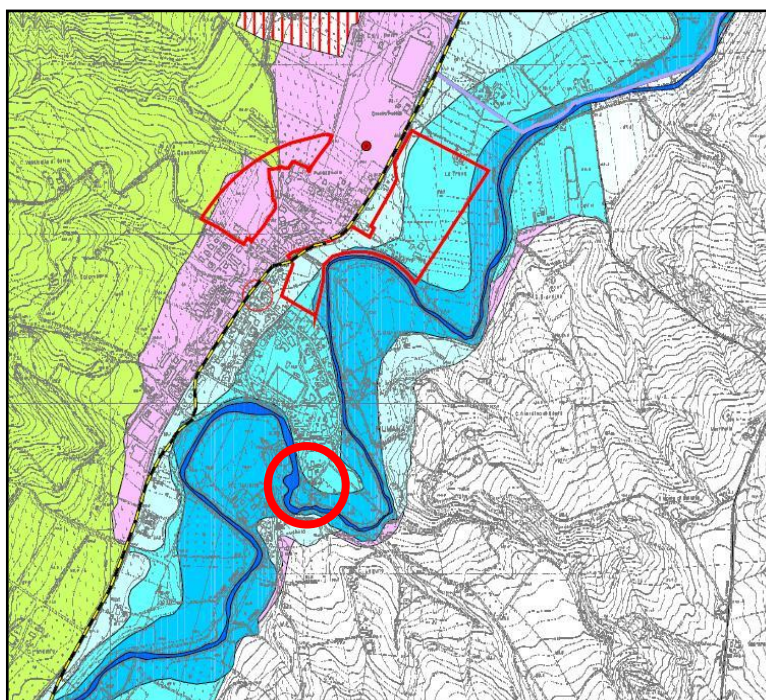


#### 6.2.2 - Descrizione dei vincoli che interessano il sito di intervento

Di seguito si riportano, suddivisi per argomento, i vincoli vigenti nell'area in dettaglio. Si è proceduto all'analisi della documentazione pianificatoria indicata al punto 6.1.1.

##### 6.2.2.1 - Tavola 2 del PTCP: Zonizzazione paesistica

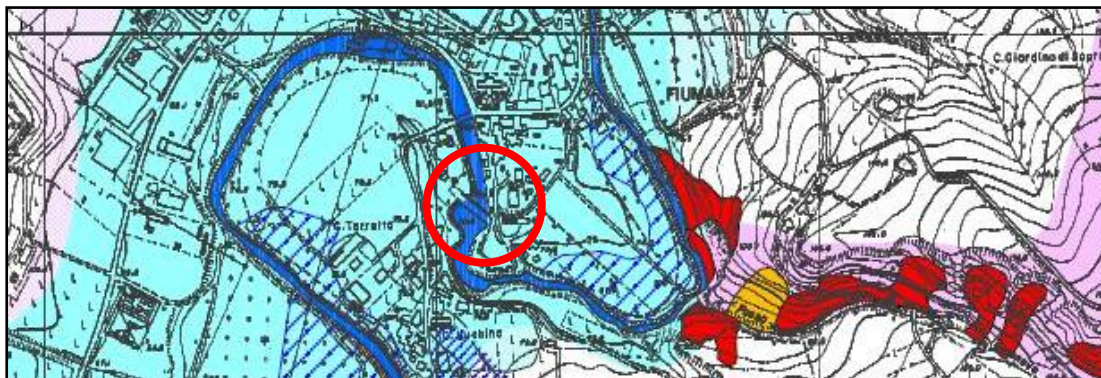
Come si può vedere dall'estratto della tavola 2 del PTCP, l'area di ubicazione dell'impianto non rientra all'interno di zone di tutela.





#### 6.2.2.2 - Tavola 4 del PTCP: Carta del dissesto e della vulnerabilità territoriale

Come si può vedere all'interno della tavola 4 del PTCP, l'area non è interessata da frane attive, né quiescenti, né da zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità, ma da zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei, dette aree di alimentazione degli acquiferi sotterranei. L'unico scavo che verrà realizzato consisterà nell'interramento del elettrodotto di media tensione dalla vano delle turbine alla cabina di media tensione dell'Enel. L'elettrodotto non andrà in alcun modo ad alterare la falda.



#### 6.2.2.3 - Vincoli naturalistici: Aree protette, SIC, ZPS

L'area interessata non è compresa nel perimetro di Parchi Nazionali, Regionali o Locali; non vi sono indicate Riserve Naturali né Monumenti Naturali né alcun ambito naturale di particolare rilievo quali Siti di Importanza Comunitaria e di Zone di Protezione Speciale. Le aree interessate dal presente progetto sono esterne ai SIC e alle ZPS e quindi non soggette a particolari vincoli naturalistici.

#### 6.2.2.4 - Vincoli architettonici

Non sono stati riscontrati vincoli di carattere architettonico nell'area in esame, se non le prescrizioni date dalla pianificazione comunale sugli interventi previsti per il recupero del patrimonio edilizio esistente.

#### 6.2.2.5 - Vincoli archeologici

Non è stata riscontrata la presenza di siti di importanza archeologica nell'area in esame.

#### 6.2.2.6 - Vincoli storico-culturali

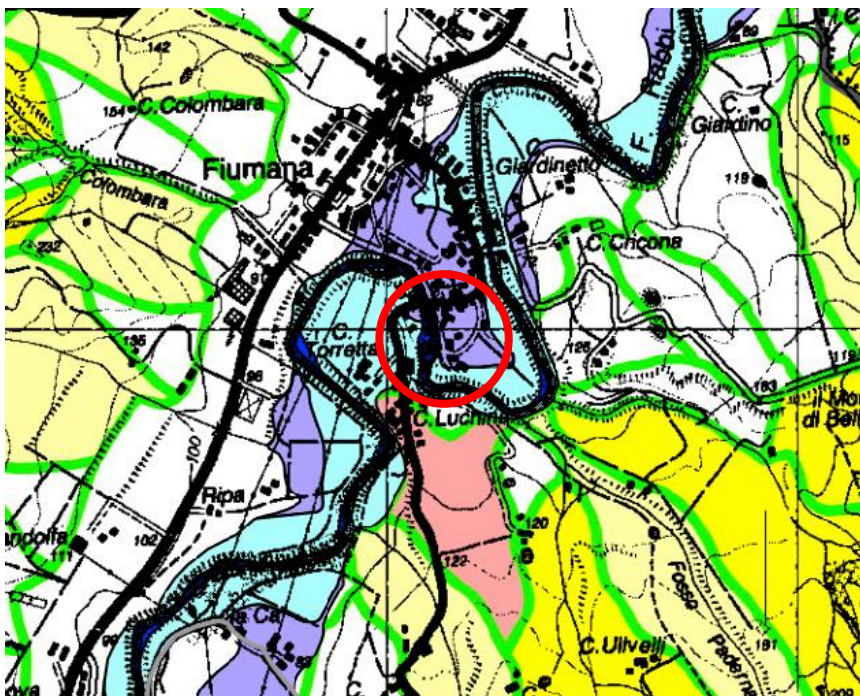
Non è stata riscontrata la presenza di siti di importanza archeologica nell'area in esame.

#### 6.2.2.7 - Aree demaniali che interessano il sito di intervento

Nell'area interessata dall'intervento non si riscontra la presenza di aree demaniali.

#### 6.2.2.8 - Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico

Come si evince dalla planimetria riportata di seguito, l'intervento in esame si colloca su aree il cui rischio idrogeologico risulta nullo, secondo quanto classificato dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico.



#### 6.2.2.9 - Aree di Dissesto

Per quanto riguarda il dissesto idrogeologico, la provincia di Forlì-Cesena ha un indice di franosità del 12,1%. Come si può vedere all'interno della tavola 4 del PTCP, l'area non è interessata da frane attive, né quiescenti, né da zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità.

#### 6.2.2.10 - Conclusioni

In relazione al terreno su cui si intende installare l'impianto idroelettrico le cui specificità territoriali sono state valutate in via preventiva per verificare tutti gli aspetti diretti e indiretti secondari cumulativi a breve, medio e lungo termine, permanenti e temporanei che l'impianto di ridotte dimensioni ipotizzato, tale zona risulta omogenea.

Va detto che il presente progetto fa riferimento ad un impianto per la produzione di energia elettrica di misure veramente contenute in quanto consisterà nella centrale idroelettrica che conterrà una turbina e alla cabina di trasformazione.

In merito alla viabilità interessata dalle opere di cantiere, come accesso all'impianto idroelettrico, il progetto tiene in considerazione la viabilità già presente in loco senza attuare alcuna modifica.

Una volta ultimata l'installazione ed a cantierizzazione conclusa, l'area circostante sarà ripristinata e ritornerà ad assumere tutte le sue funzioni precedenti.



### 6.3 La relazione acustica

In ogni progetto che comporti una variazione del livello di inquinamento acustico, anche se minimo, deve essere prevista una misurazione che specifichi l'ammontare del numero di dB una volta entrato in funzione l'impianto. Per eseguire il tutto è necessario e sufficiente eseguire rilevazioni in vari orari del giorno e sommare ai valori così ottenuti la stima previsionale della rumorosità dell'impianto, della quale si fa garante l'azienda che lo fornisce. Nel seguito si presenta perciò il prospetto ottenuto eseguendo dei rilievi fonografici per evidenziare il rispetto dei limiti di emissione sonora imposti nella zona del sito di installazione:

il progetto prevede la realizzazione di un impianto mini idroelettrico, quindi FER (Fonti Energetiche Rinnovabili). L'impianto idroelettrico, disposto all'aperto, è costituito da un gruppo idroelettrico Turbina Kaplan / Alternatore asincrono funzionante sia durante il periodo diurno sia durante il periodo notturno e dislocato in apposita cabina insonorizzata con pannelli tipo sandwich.



*Fonometro utilizzato per i rilievi*

Allo scopo di valutare l'impatto acustico dell'attività che si svolgerà ai sensi della legge n° 447 del 26/10/1995 e del D.P.C.M. 01/03/1991, D.P.C.M. 14/11/1997 e D.M. 16/03/1998 a cui essa fa riferimento per i limiti di immissione sonora ammissibile e per le modalità di misurazione presso l'area sulla quale sorgerà l'impianto in oggetto è stata effettuata una misurazione per le verifiche del caso.

#### 6.3.1 - Riferimento Normativo

- *Raccomandazione della Commissione Europea n. 613 del 6 agosto 2003*  
Concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità.
- *Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio n° 49 del 25/06/2002*  
Relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (la Direttiva è compresa nell'Allegato B, elenco delle direttive da attuare mediante D.Lgs., della legge 31 ottobre 2003, n. 306 "Legge Comunitaria 2003").
- *Circolare Ministeriale del 06/09/2004*  
Interpretazione in materia di inquinamento acustico: criterio differenziale e applicabilità dei valori limite differenziali.

- *Decreto Ministeriale del 01/04/2004*  
Linee guida per l'utilizzo dei sistemi innovativi nelle valutazioni di impatto ambientale.
- *Decreto Ministeriale del 16/03/1998*  
Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico.
- *D.P.C.M. del 31/03/1998*  
Atto di indirizzo e coordinamento recante criteri generali per l'esercizio dell'attività del tecnico competente in acustica, ai sensi della legge 26 ottobre 1995, n. 447 «Legge quadro sull'inquinamento acustico».
- *Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 05/12/1997*  
Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.
- *Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 14/11/1997*  
Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.
- *Legge 26/10/1995, n° 447*  
Legge quadro sull'inquinamento acustico.
- *Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 01/03/1991*  
Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno.
- *D.Lgs. n. 277 del 15/08/1991*  
Attuazione delle direttive CEE 80/1107, 82/605,83/477,86/188 e 88/642 in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art. 7 del LN 212/90.
- *Delibera della Giunta Regionale del 14/04/2004 n° 673*  
Criteri tecnici per la redazione della documentazione di previsione di impatto acustico e della valutazione del clima acustico ai sensi della LR 9/05/01, n.15 recante "Disposizioni in materia di inquinamento acustico".
- *Delibera della Giunta Regionale del 21/01/2002 n° 45*  
Criteri per il rilascio delle autorizzazioni per particolari attività ai sensi dell'art. 11, comma 1 della L.R. 9 maggio 2001, n. 15 recante 'Disposizioni in materia di inquinamento acustico'.
- *Delibera della Giunta Regionale del 09/10/2001 n° 2053*  
Criteri e condizioni per la classificazione acustica del territorio ai sensi del comma 3 dell'art. 2 della L.R. 9 maggio 2001, n. 15 recante 'Disposizioni in materia di inquinamento acustico'.
- *Legge Regionale del 09/05/2001 n° 15*  
Disposizioni in materia di inquinamento acustico.
- *D.Lgs. del 04/09/2002*  
Attuazione della direttiva 2000/14/CE concernente l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto.
- *L.N. n. 179 del 31/07/2002*  
Disposizioni in materia ambientale.
- *D.M. del 23/11/2001*  
Modifiche dell'allegato 2 del decreto ministeriale 29/11/2000.
- *D.M. del 29/11/2000*  
Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore.
- *D.Lgs. n. 135 del 27/01/1992*  
Attuazione delle direttive 86/662/CEE e 89/514/CEE in materia di limitazione del ru-

- more prodotto dagli escavatori idraulici e a funi, apripista e pale caricatrici.
- *Com. del 08/10/1997*  
Linee-guida tecniche sull'applicazione del D.Lgs. n. 494 del 1996.
  - *D.M. del 11/12/1996*  
Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo.
  - *D.P.R. n. 496 del 11/12/1997*  
Regolamento recante norme per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili.
  - *D.P.R. n. 459 del 18/11/1998*  
Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della L. 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario.
  - *D.P.C.M. n. 215 del 16/04/1999*  
Regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi.
  - *D.M. del 20/05/1999*  
Criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti nonché criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico.
  - *D.P.R. n. 476 del 09/11/1999*  
Regolamento recante modificazioni al decreto del Presidente della Repubblica 11 dicembre 1997, n. 496, concernente il divieto di voli notturni.
  - *D.M. del 03/12/1999*  
Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti.

### 6.3.2 - Termini e definizioni

Ambiente abitativo	Ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.Lgs 15 agosto 1991, n. 277, salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive
Inquinamento acustico	Introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi
Livello di Rumore Ambientale $L_A$	È il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A» prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti
Livello di rumore residuo $L_R$	È il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A» che si rileva quando si escludono le specifiche sorgenti disturbanti. Esso deve essere misurato con le identiche modalità impiegate per la misura del rumore ambientale
Livello di Pressione sonora	Esprime il valore della pressione acustica di un fenomeno sonoro mediante la scala logaritmica dei decibel (dB) ed è dato dalla relazione seguente:

	$L_p = \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \right] [dB]$ <p>dove p è il valore efficace della pressione sonora misurata in Pascal (Pa), p<sub>0</sub> è la pressione di riferimento che si assume uguale a 20 (μPA) in condizioni standard</p>
Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A	<p>È il parametro fisico adottato per la misura del rumore, definito dalla relazione analitica seguente:</p> $L_{eq(A),T} = \left\{ 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \right\} [dB](A)$ <p>dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- p<sub>A</sub>(t) è il valore istantaneo della pressione sonora ponderata secondo la curva A (norma I.E.C. n. 651);</li> <li>- p<sub>0</sub> è il valore della pressione sonora di riferimento;</li> <li>- T è l'intervallo di tempo di integrazione;</li> <li>- L<sub>eq(A),T</sub> esprime il livello energetico medio del rumore ponderato in curva A, nell'intervallo di tempo considerato</li> </ul>
Livello differenziale del rumore	Differenza tra il livello L <sub>eq(A)</sub> di rumore ambientale e quello del rumore residuo
Rumore	Qualunque emissione sonora che provochi sull'uomo effetti indesiderati, disturbanti o dannosi o che determini un qualsiasi deterioramento qualitativo dell'ambiente
Rumore con componenti impulsive	Emissione sonora nella quale siano chiaramente udibili e strumentalmente rilevabili eventi sonori di durata inferiore ad un secondo
Rumori con componenti tonali	Emissioni sonore all'interno delle quali siano evidenziabili suoni corrispondenti ad un tono puro o contenuti entro 1/3 di ottava e che siano chiaramente udibili e strumentalmente rilevabili
Sorgente sonora	Qualsiasi oggetto, dispositivo, macchina o impianto o essere vivente idoneo a produrre emissioni sonore
Sorgente specifica	Sorgente sonora selettivamente identificabile che costituisce la causa del disturbo
Sorgenti sonore fisse	Impianti tecnici degli edifici e le altre installazioni unite agli immobili anche in via transitoria il cui uso produca emissioni sonore; le infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali, marittime, industriali, artigianali, commerciali ed agricole; i parcheggi; le aree adibite a stabilimenti di movimentazione merci; i depositi dei mezzi di trasporto di persone e merci; le aree adibite ad attività sportive e ricreative
Sorgenti sonore mobili	Tutte le sorgenti sonore non comprese alla voce "Sorgenti sonore fisse"
Tempo di Misura T <sub>m</sub>	È il periodo di tempo, compreso entro il tempo di osservazione, durante il quale vengono effettuate le misure di rumore
Tempo di Osservazione T <sub>o</sub>	È un periodo di tempo, compreso entro uno dei tempi di riferimento, durante il quale l'operatore effettua il controllo e la verifica delle condizioni di rumorosità

Tempo di Riferimento $T_r$	È il parametro che rappresenta la collocazione del fenomeno acustico nell'arco delle 24 ore: si individuano il periodo diurno e notturno. Il periodo diurno è di norma, quello relativo all'intervallo di tempo compreso tra le h 6,00 e le h 22,00. Il periodo notturno è quello relativo all'intervallo di tempo compreso tra le h 22,00 e le h 6,00
Valori limite di emissione	Valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa
Valore limite di immissione	Valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori. I valori limite di immissione sono distinti in: a) valori limite assoluti, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale; b) valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale e il rumore residuo
Valori di attenzione	il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente
Valori di qualità	Valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge

### 6.3.3 - Classi di destinazione d'uso del territorio

In applicazione del DPCM 14/11/1997, per ciascuna classe acustica in cui è suddiviso il territorio, sono definiti i valori limite di emissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità, distinti per i periodi diurno (ore 6,00-22,00) e notturno (ore 22,00-6,00). La definizione di tali valori sono stabilite dall'art.2 della Legge 447/95.

Il D.P.C.M. 1/3/1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno" (ripreso poi dal D.P.C.M. del 14/11/1997) stabilisce che i Comuni devono adottare la classificazione acustica del territorio comunale ("zonizzazione acustica"). Per ciascuna classe vengono poi fissati dei limiti per il rumore tali da garantire le condizioni acustiche ritenute compatibili con i particolari insediamenti presenti nella porzione del territorio considerata. Le classi di destinazione d'uso del territorio indicate dal Decreto sono le seguenti:

<b>Classe I</b>	<b><i>Aree particolarmente protette</i></b>
Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione; aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.	
<b>Classe II</b>	<b><i>Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale</i></b>
Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.	
<b>Classe III</b>	<b><i>Aree di tipo misto</i></b>
Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione con presenza di attività commerciali ed con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.	
<b>Classe IV</b>	<b><i>Aree di intensa attività umana</i></b>
Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta	



densità di popolazione, con elevata presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.

**Classe V**

***Aree prevalentemente industriali***

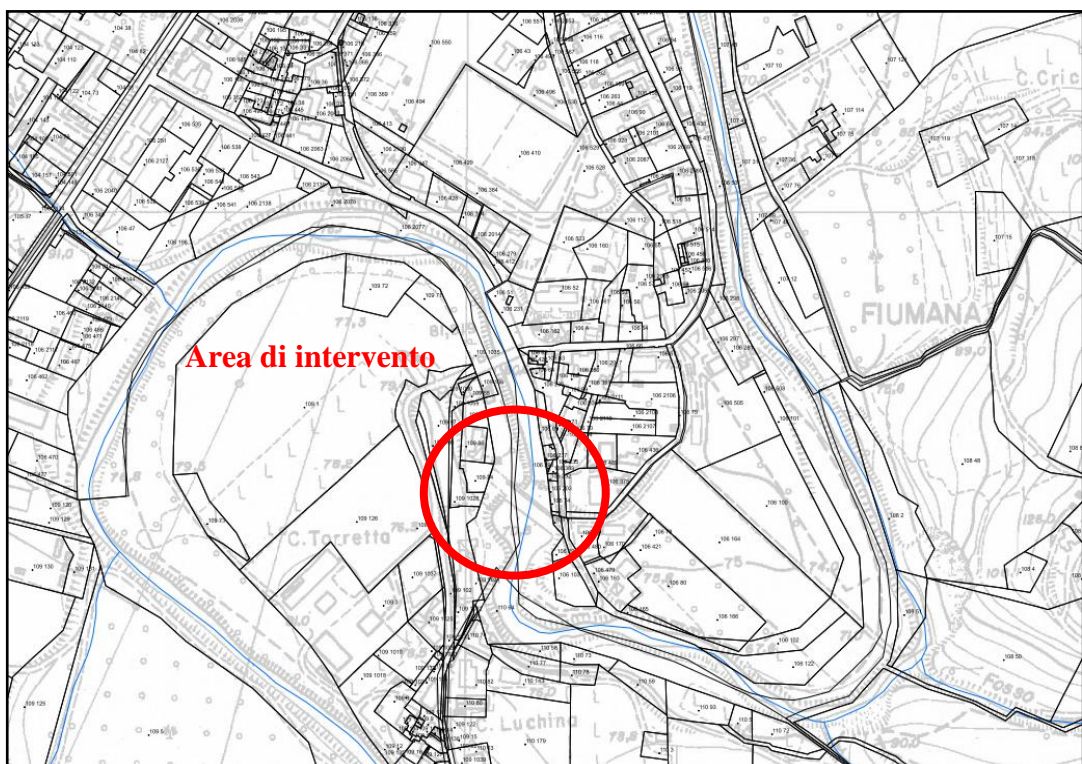
Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

**Classe VI**

***Aree esclusivamente industriali***

Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

La zona di interesse è classificata come classe III: area di tipo misto. Nella previsione dei livelli di rumorosità dell'impianto, è stato assunto come obiettivo il rispetto dei limiti assoluti diurni e notturni, così come previsto dal piano di classificazione acustica.



*Individuazione dell'area di intervento*

### 6.3.3.1 - Valori limite assoluti e differenziali di IMMISSIONE

CLASSE	AREA	Limiti assoluti		Limiti differenziali	
		<i>notturni</i>	<i>diurni</i>	<i>notturni</i>	<i>diurni</i>
I	Particolarmente protetta	40	50	3	5
II	Prevalentemente residenziale	45	55	3	5
III	Di tipo misto	50	60	3	5
IV	Di intensa attività umana	55	65	3	5
V	Prevalentemente industriale	60	70	3	5
VI	Esclusivamente industriale	70	70	-	-

### 6.3.3.2 - Valori limite di EMISSIONE

CLASSE	AREA	Limiti assoluti	
		<i>notturni</i>	<i>diurni</i>
I	Particolarmente protetta	35	45
II	Prevalentemente residenziale	40	50
III	Di tipo misto	45	55
IV	Di intensa attività umana	50	60
V	Prevalentemente industriale	55	65
VI	Esclusivamente industriale	65	65

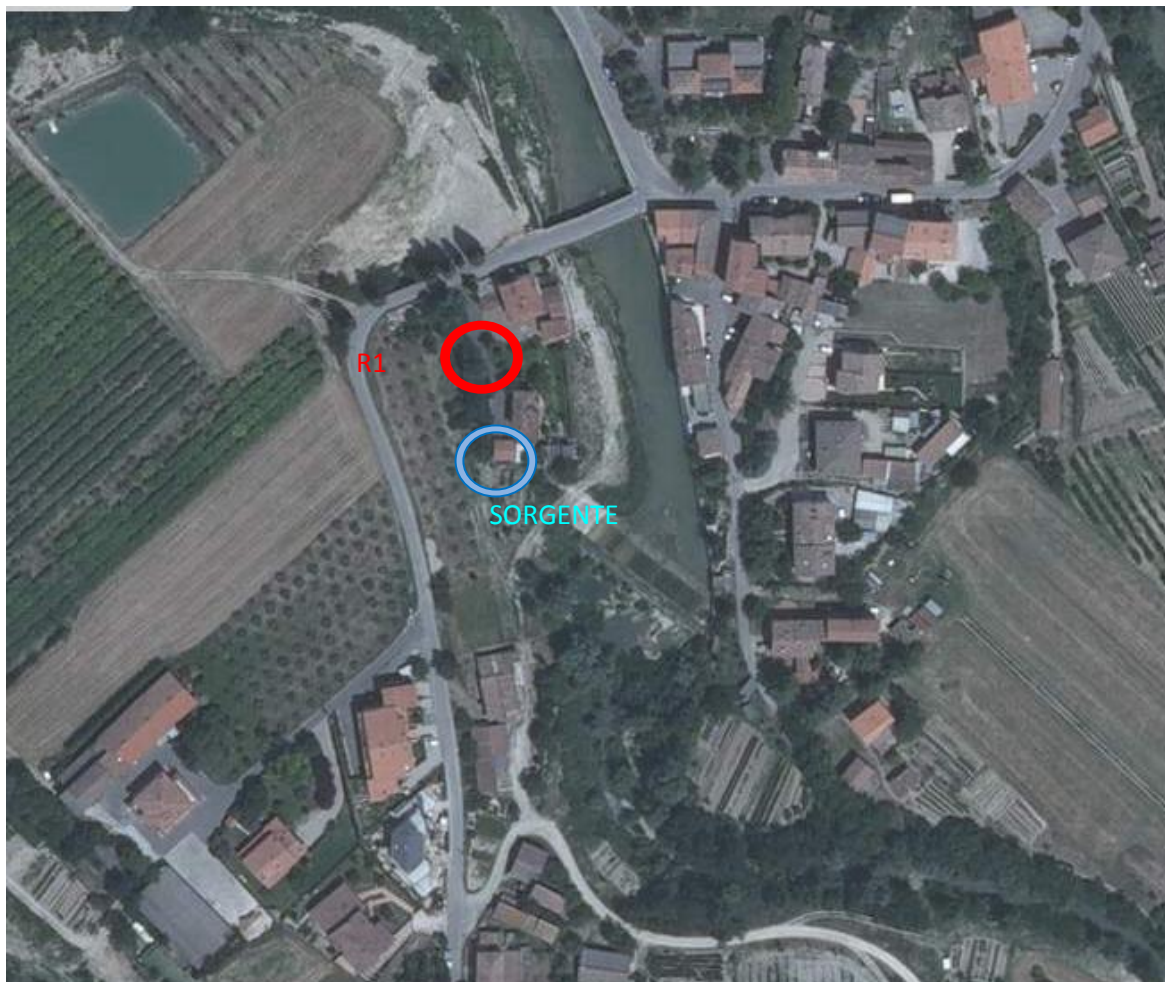
### 6.3.3.3 - Valori di QUALITÀ

CLASSE	AREA	Limiti assoluti	
		<i>notturni</i>	<i>diurni</i>
I	Particolarmente protetta	37	47
II	Prevalentemente residenziale	42	52
III	Di tipo misto	47	57
IV	Di intensa attività umana	52	62
V	Prevalentemente industriale	57	67
VI	Esclusivamente industriale	70	70

#### 6.3.4 - Descrizione dell'area e destinazioni urbanistiche delle zone adiacenti

L'utilizzo dell'area di studio è del tipo seguente: seminativo, pascolo, bosco misto e prato, come da catasto del Comune di Predappio.

Si riporta in seguito la planimetria dell'assetto territoriale con evidenziata l'area di intervento (e la relativa ortofoto con evidenziata l'area di intervento e la posizione del ricettore sensibile rispetto alla sorgente).



*Ortofoto dell'area*

Analizzando l'area nella quale sarà installato l'impianto, è stato considerato il ricettore R1 posto a 50 metri dalla sorgente.

#### 6.3.5 - Rilevazioni fonometriche: situazione ante operam

L'equipaggiamento di misura utilizzato per l'effettuazione della prova è un fonometro integratore di classe 1 modello Blue Solo della ditta 01 dB conforme alla norma internazionale IEC 60651, IEC 60804, IEC 61672 e le corrispondenti norme comunitarie EN 60651 e EN 60804. Lo strumento è conforme alla norma americana ANSI S1.4 e ANSI S1.43.

Il fonometro è stato calibrato prima e dopo le misure con un calibratore Larson Davis modello Call 200 dotato numero di serie 3728 dotato di certificato di calibrazione. (Vedi allegati).

La differenza è risultata pari a 0,0 dB.

#### 6.3.5.1 - Modalità di esecuzione delle rilevazioni fonometriche *diurne*

- Data e ora: Sono state effettuate misurazioni in continuo presso l'area oggetto dell'intervento il giorno 12/05/2010. Si é valutata la fascia di rischio dalle ore 16.00 alle 22.00.
- Vento: Non erano presenti possibili situazioni di vento rilevanti ai fini delle rilevazioni fonometriche.
- Temperatura: La temperatura era di circa 18° C, misurata con termometro portatile.

#### 6.3.5.2 - Modalità di esecuzione delle rilevazioni fonometriche *notturne*

- Data e ora: Sono state effettuate misurazioni in continuo presso l'area oggetto dell'intervento il giorno 12/05/2010 – 13/05/2010. Si é valutata la fascia di rischio dalle ore 23.30 alle 06.00.
- Vento: Non erano presenti possibili situazioni di vento rilevanti ai fini delle rilevazioni fonometriche.
- Temperatura: La temperatura era di circa 18° C, misurata con termometro portatile.

#### 6.3.5.3 - Posizione delle rilevazioni fonometriche

Misura 1 (rumore residuo):

Le misurazioni sono state effettuate posizionando lo strumento in prossimità del recettore sensibile più prossimo all'ubicazione dell'impianto, in corrispondenza della facciata che risulta più esposta. L'edificio più prossimo si trova a 300 metri dalla zona di ubicazione dell'impianto che, dall'analisi del PTCP della provincia di Forlì-Cesena, presenta una bassa percorrenza di veicoli all'ora.

#### 6.3.5.4 - Rumore residuo R1: diurno e notturno

Tempo di riferimento	Diurno (ore 6.00 ÷ ore 22.00)
<i>Componenti impulsive</i>	
Fattore correttivo KI	0,0 dB
<i>Componenti tonali</i>	
Fattore correttivo KT	0,0 dB
<i>Componenti a bassa frequenza</i>	
Fattore correttivo KB	0,0 dB
<i>Presenza di rumore a tempo parziale</i>	
Fattore correttivo KP	0,0 dB
<i>Livelli</i>	
Rumore ambientale misurato: LM	53,9 dB
Rumore ambientale: LA = LM + KP	53,9 dB
Rumore residuo: LR	
Differenziale: LD = LA – LR	
Rumore corretto: LC = LA + KI + KT + KB	53,9 dB

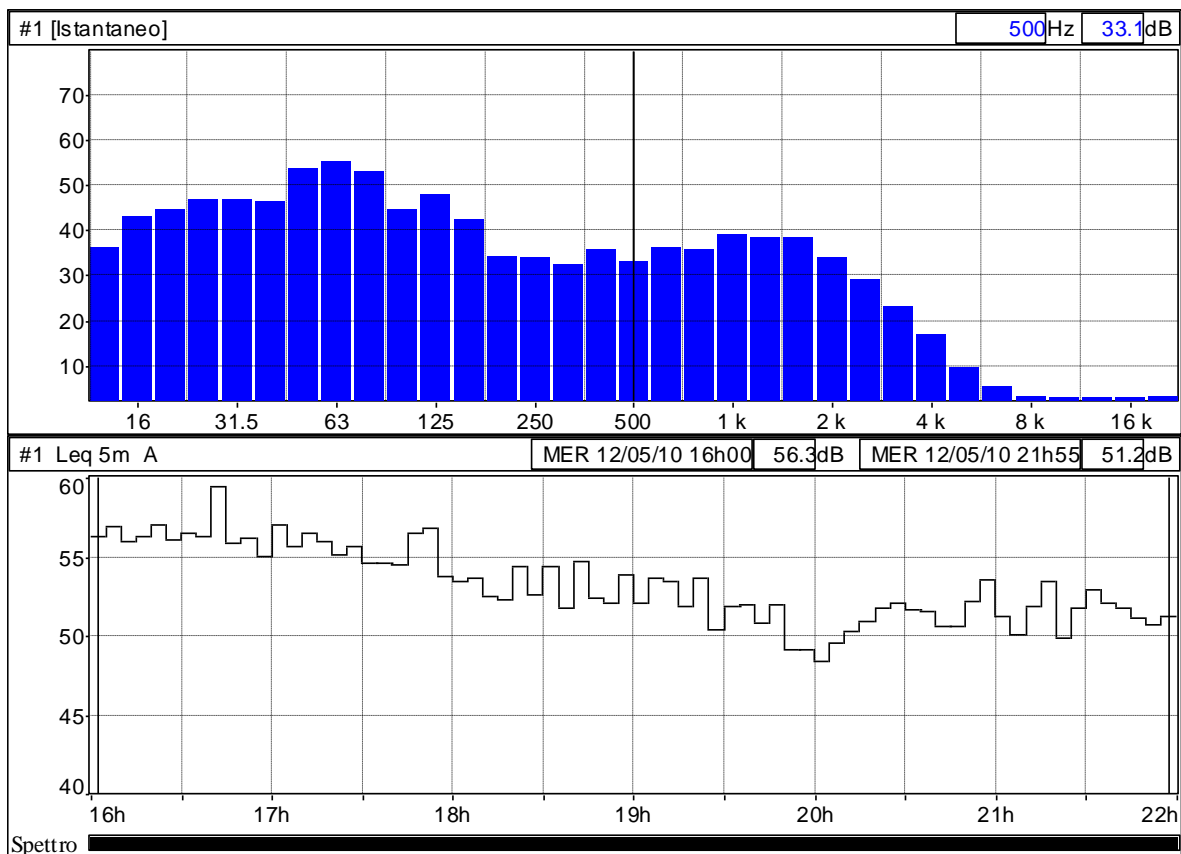
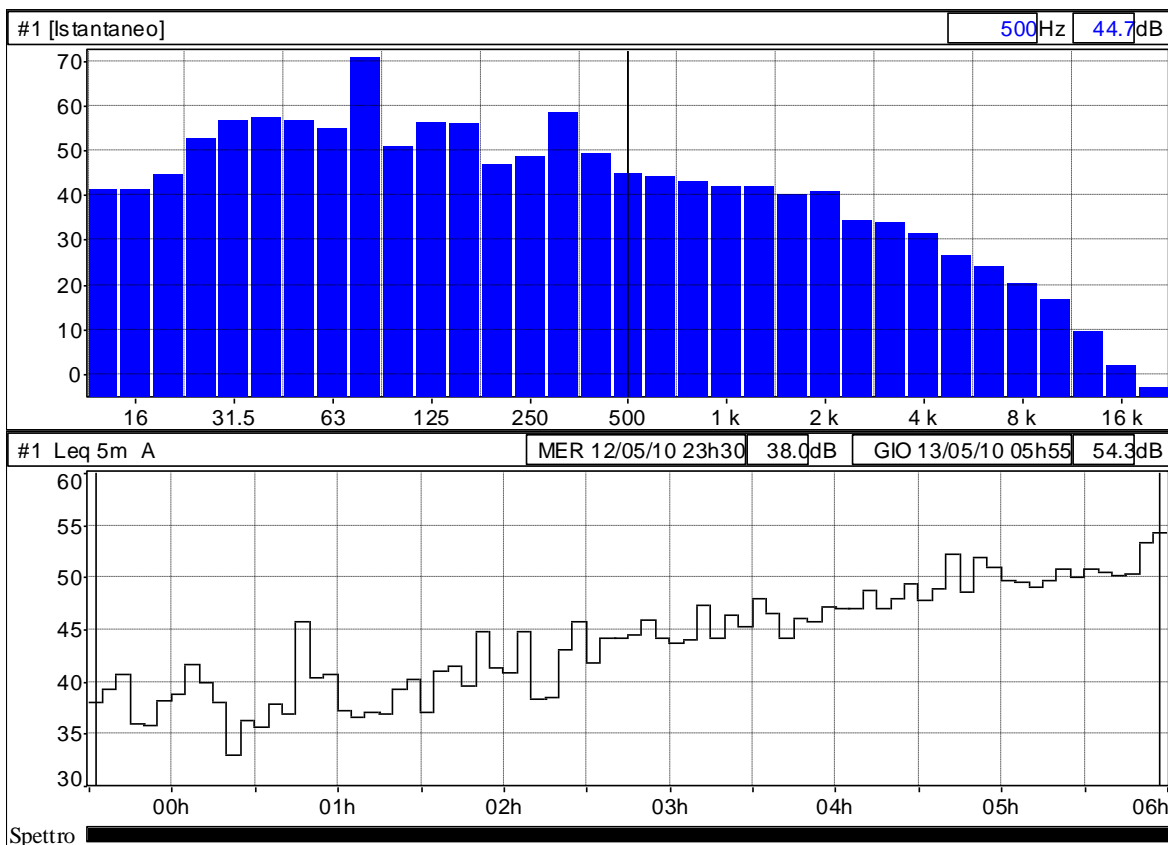


Grafico del rumore residuo diurno

Tempo di riferimento	<b>Notturno</b> (ore 22.00 ÷ ore 6.00)
<i>Componenti impulsive</i>	
Fattore correttivo KI	0,0 dB
<i>Componenti tonali</i>	
Fattore correttivo KT	0,0 dB
<i>Componenti a bassa frequenza</i>	
Fattore correttivo KB	0,0 dB
<i>Presenza di rumore a tempo parziale</i>	
Fattore correttivo KP	0,0 dB
<i>Livelli</i>	
Rumore ambientale misurato: LM	46,6 dB
Rumore ambientale: LA = LM + KP	
Rumore residuo: LR	
Differenziale: LD = LA – LR	
Rumore corretto: LC = LA + KI + KT + KB	46,6 dB



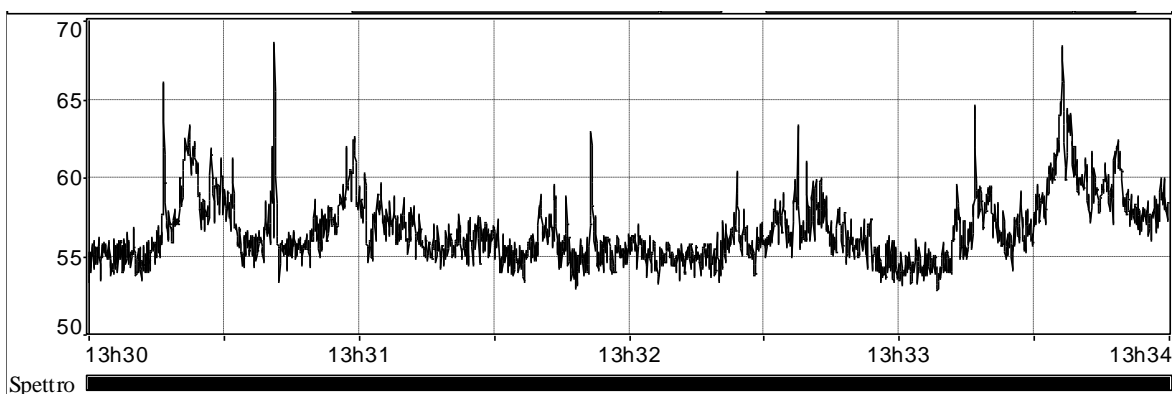


*Grafico del rumore residuo notturno*

### 6.3.6 - Descrizione delle sorgenti di Rumore: Fase di gestione

Nel presente paragrafo sono elencate le caratteristiche di emissione acustica, del motore che andrà installato a servizio dell'impianto di produzione di energia elettrica; tale dispositivo costituisce l'unica sorgente acustica di rilievo dell'impianto. L'impianto di produzione di energia oggetto della presente valutazione previsionale è costituito da una coppia di macchine. La turbina Kaplan è inserita all'interno della vasca di carico poste a - 4,75 m, interrata.

Non essendo in possesso di dati di targa del produttore si è scelto di eseguire rilievi sul campo in un impianto identico a quello che si intende realizzare. Il fonometro è stato posizionato ad una distanza di 1 m dalla sorgente pertanto il livello di pressione sonora percepito non risente di eventuali rumori presenti nell'ambiente circostante.



### 6.3.7 - Elaborazione dati di rilievo e verifiche

Si riportano i livelli di pressione sonora rilevati ad 1 metro dalla sorgente alla distanza del ricettore considerato, mediante la seguente relazione:

$$L_p(r) = L_{p\text{ rif}} - 20 \log\left(\frac{r}{r_{\text{ref}}}\right) - A_{\text{comb}}$$

dove:  $A_{\text{comb}} = A_{\text{aria}} + A_{\text{suolo}}$

$$\text{con: } A_{\text{aria}} = m \left(\frac{r}{1000}\right), A_{\text{suolo}} = 4,8 - \left(2 \frac{h_m}{r}\right) \left(17 + \frac{300}{r}\right)$$

coeff. di attenuazione in aria alle condizioni atmosferiche di  $T = 15^\circ \text{C}$  ed umidità relativa del 70%:  $m = 1,22$ ;

$r$  = distanza sorgente – ricettore;

$h_m$  = altezza media.

#### 6.3.7.1 - Periodo di riferimento diurno

$L_{p\text{ rif}} = 65,78 \text{ dB}$  livello di pressione sonora misurata alla sorgente

$h_s = 2 \text{ m}$  altezza della sorgente

$h_r = 4 \text{ m}$  altezza del ricettore

$r_{\text{ref}} = 1 \text{ m}$  distanza di riferimento dalla sorgente

Grazie alle relazioni precedentemente introdotte ed ai seguenti valori calcolati:

$h_m = 3 \text{ [m]}$ ;

$A_{\text{aria}} = 0,183 \text{ [dB]}$ ;

$A_{\text{suolo}} = 4,04 \text{ [dB]}$ ;

Distanza del ricettore dal punto di misura = 300 [m];

si ottiene il livello di pressione sonora in relazione alla distanza assunta:

**$L_p(r) = 16,237 \text{ [dB]}$**

#### 6.3.7.2 - Verifica del ricettore residenziale R1 per il rilievo diurno

Applicando la formula della propagazione in ambiente esterno si ottiene un livello di pressione sonora della sorgente al ricettore pari a 16,237 dB.

Sommando energeticamente i valori ottenuti dal calcolo del livello di pressione sonora al rumore residuo diurno si ottiene:

$$53,9 + 16,237 = 53,9 \text{ dB}$$

- Verifica valori assoluti:  $53,9 < 60 \text{ dB} = \text{verificato}$
- Verifica valori differenziali:  $53,9 - 53,9 = 0 < 5 \text{ dB} = \text{verificato}$

#### 6.3.7.3 - Verifica del ricettore residenziale R1 per il rilievo notturno

Sommando energeticamente i valori ottenuti dal calcolo del livello di pressione sonora al rumore residuo notturno si ottiene:

$$46,6 + 16,237 = 46,6 \text{ dB}$$

- Verifica valori assoluti:  $46,6 < 50 \text{ dB} = \text{verificato}$
- Verifica valori differenziali:  $46,6 - 46,6 = 0 < 3 \text{ dB} = \text{verificato}$

### 6.3.8 - Conclusioni

L'installazione della centrale dell'impianto idroelettrico nel luogo in oggetto di verifica rispetta i parametri di legge, in quanto ai ricettori considerati vengono rispettati i valori del limite di immissione di zona ed il criterio differenziale diurno e notturno.

#### 6.4 La concessione a derivare il Rabbi in località Fiumana

La società “Energie e Servizi s.r.l.”, prima di divenire “Idrofiumana s.r.l.”, ha richiesto la concessione per la derivazione di acqua pubblica superficiale con procedura ordinaria per uso idroelettrico dal fiume Rabbi, in località Fiumana del comune di Predappio. La pratica è stata denominata FC10A0031; la domanda in questione è stata invece presentata il 2 dicembre 2010 dal sig. Giovanni Masotti, in qualità di amministratore unico della società. Il testo, che viene inserito nel seguito, riassume tutti gli articoli che permettono la concessione del sito, le domande presentate ed i versamenti effettuati, i requisiti a cui lo sfruttamento idrico deve rispondere e, in una seconda parte, gli obblighi e le condizioni a cui la concessione stessa è vincolata:

#### REGIONE EMILIA-ROMAGNA

##### Atti amministrativi

##### GIUNTA REGIONALE

Atto del Dirigente:	Determinazione n° 14211 del 11/11/2011
Proposta:	DPG/2011/14847 del 07/11/2011
Struttura proponente:	Servizio tecnico di bacino Romagna Direzione generale ambiente e difesa del suolo e della costa
Oggetto:	Società “Energie e servizi s.r.l.”, rilascio di concessione di derivazione di acqua pubblica superficiale con procedura ordinaria per uso idroelettrico dal fiume Rabbi, in località Fiumana del comune di Predappio (FC). Pratica n. FC10A0031
Autorità emanante:	Il responsabile specialista assetto idraulico, gestione delle aree demanio idrico e delle risorse idriche
Firmatario:	Claudio Miccoli in qualità di Dirigente professional
Luogo di adozione:	FORLI' data: 11/11/2011

##### *visti:*

- gli articoli 140 e 141 della Legge Regionale 21 aprile 1999, n. 3, così come modificata dalla Legge Regionale 4 maggio 2001, n. 12, in cui è previsto che le funzioni amministrative e gestionali in materia di difesa del Suolo e Risorse Idriche siano attribuite alla Regione Emilia Romagna mediante diretto esercizio tramite i Servizi Tecnici di Bacino;
- il R.D. 11 dicembre 1933 n. 1775 testo unico in materia di acque e impianti elettrici;
- il DLgs 3 aprile 2006 n. 152 e s.m. e i. contenente le disposizioni di legge in materia ambientale;
- la Legge Regionale 14 aprile 2004 n. 7 e s.m. e i. in cui al Titolo II, Capo II sono contenute le disposizioni in materia di occupazione ed uso del territorio;
- il Regolamento Regionale 20 novembre 2001, n. 41 che disciplina i procedimenti di rilascio di concessione di acqua pubblica;
- il Regolamento Regionale 29 dicembre 2005, n. 4 concernente le disposizioni transitorie per la gestione dei prelievi d'acqua nelle more dell'approvazione ed attuazione del piano di tutela delle acque;
- le seguenti Delibere di Giunta concernenti il valore e l'aggiornamento dei canoni di concessione, delle spese di istruttoria, ridefinizione di varie tipologie di utilizzo per i procedimenti afferenti le concessioni di derivazione di acqua pubblica: DGR 27 giugno 2001 n. 1225, DGR 15 aprile 2002 n. 609, DGR 07 luglio 2003 n. 1325, DGR 01 agosto 2005 n. 1274, DGR 29 dicembre 2005 n. 2242, DGR 29 dicembre 2006 n. 1994, DGR 22 dicembre 2008 n. 2326;

- la deliberazione dell'Assemblea Legislativa 21 dicembre 2005 n. 40, con cui viene approvato il Piano Regionale di Tutela delle Acque;
- la deliberazione di Giunta Regionale 29 dicembre 2008, n. 2416 "Indirizzi in ordine alle relazioni organizzative e funzionali tra le strutture e sull'esercizio delle funzioni dirigenziali. Adempimenti conseguenti alla delibera 999/2008. Adeguamento e aggiornamento 450/2007" e s.m.;
- la D.G.R. n.1793/2008 "Direttive in materia di derivazioni d'acqua pubblica ad uso idroelettrico";
- la deliberazione della Giunta Regionale 21 dicembre 2009 n.2132 "Riorganizzazione dei Servizi Tecnici di Bacino. Istituzione del Servizio Tecnico di Bacino Romagna e del servizio tecnico della costa";
- la determinazione del Direttore Generale della Direzione Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa 28/07/2011 n.9498 "Attribuzione incarichi di incarichi dirigenziali presso la Direzione Generale Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa" così come ratificato al Pt.1 della D.G.R. n.1222 del 04/08/2011, "approvazione degli atti di conferimento degli incarichi di livello dirigenziale"
- la determinazione del Responsabile del Servizio 30 settembre 2011 n. 11910 "Organizzazione del Servizio Tecnico di Bacino Romagna - 1 ottobre 2011";

- *vista:*

la domanda presentata dal sig. Giovanni Masotti, in qualità di amministratore unico della ditta "Energie e Servizi s.r.l." in data 02/12/2010, assunta agli atti con protocollo n.301139 del 02/12/2010, con la quale è stato richiesto il rilascio della concessione di derivazione di acqua pubblica superficiale con procedura ordinaria dal fiume Rabbi ad uso idroelettrico (pratica n.FC10A0031),

la successiva nota del 10/02/2011, assunta agli atti con protocollo n.38976 del 11/02/2011, con la quale l'istanza suddetta è stata integrata con la sostituzione delle tavole di progetto n.ri 4, 6 e 7,

visti altresì i pertinenti atti d'ufficio da cui risulta che:

- L'opera di presa (coordinate UTM\* X=739086 Y=891984) è costituita da uno sfioratore laterale con luce a stramazzo posizionato in fregio alla sponda destra del fiume, alla sommità della briglia; l'acqua derivata alimenta la vasca di carico della condotta forzata di adduzione alla centrale di turbinamento sul fianco della briglia, nonché una ulteriore condotta per lo sghiaimento della vasca;
- La centrale è costituita da una turbina Kaplan ad asse orizzontale, accoppiata ad un generatore sommerso, alloggiata in botola stagna ed interrata in fregio alla sponda destra del fiume Rabbi;
- La portata massima derivabile è prevista in 2,5 m<sup>3</sup>/sec e media di 1,015 m<sup>3</sup>/s per un salto di 6,0 m corrispondente a 59,71 kW di potenza nominale media annua, il cui funzionamento è previsto per 247 giorni/anno;
- Il rilascio del DMV, calcolato nella sezione di progetto in 170 l/s, viene assicurato con la predisposizione di apposita luce a stramazzo sul coronamento della briglia e risulta superiore a quello richiesto dall'AdB pari a 161 l/s;
- L'opera di presa e la restituzione sono situate su terreno demaniale mentre il locale tecnico e le condotte sono situate su terreno di proprietà privata per il quale il richiedente dichiara di possedere titolo di disponibilità;

*preso atto:*

- che la derivazione non è ubicata all'interno di parchi od aree protette;

- che l'Amministrazione Provinciale di Forlì-Cesena con atto n.54 del 07/02/2011 ha espresso parere favorevole al rilascio della concessione a condizione che sia garantito il rilascio del DMV;
- che l'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli con nota n.212 del 09/05/2011 ha espresso parere favorevole al rilascio della concessione a condizione che sia rispettato il DMV calcolato, nella sezione interessata, in 0,161 m<sup>3</sup>/sec;
- che la domanda di derivazione è stata pubblicata sul BUR della Regione Emilia-Romagna n.1 del 05/01/2011 periodico (parte seconda), senza che nei 15 giorni successivi siano stati presentati reclami od opposizioni, né nel termine di trenta giorni, istanze in concorrenza;
- che per le caratteristiche e l'uso sopra descritti il prelievo richiesto è assoggettato al procedimento di concessione ordinaria di cui al Titolo II del R.R.n.41/01 art. 6, e seguenti;
- la destinazione d'uso della risorsa idrica, in base alle tipologie indicate al comma 1 dell'art.152 della citata LR 3/99 e s. m. e i. è idroelettrico comporta per l'anno 2011 il canone annuo di €. 795,46 corrispondenti alla potenza nominale di 59,71 Kw, oltre all'occupazione di area demaniale con la centrale di turbinamento e relative difese in massi, per complessivi 130 mq circa, alla quale risulta applicabile il minimo edittale relativo ai canoni proporzionali, di €.125,00 annui, per complessivi €.920,46;

*preso atto:*

- che il richiedente in data 02/12/2010 ha versato l'importo di € 174,00 per spese di istruttoria;
- che il richiedente in data 24/10/2011 ha versato €. 1.457,20 quale deposito cauzionale, del quale €.536,74 saranno restituiti affinché il deposito cauzionale definitivo ed effettivamente costituito risulti pari ad €. 920,46;
- che il richiedente in data 24/10/2011 ha versato l'importo di €. 1.457,20 di cui €. 920,46 quale canone per l'anno 2011, suddiviso in €.795,46 per la derivazione ed €.125,00 per il demanio aree, nonché €. 536,74 quale anticipo sul canone per l'anno 2012, ancora da determinarsi;
- dato atto del sopralluogo esperito in data 12/04/2011 nel corso del quale è stata accertata la rispondenza dei luoghi con quanto riportato negli allegati tecnici presentati a corredo dell'istanza;
- ritenuto che sulla base dell'istruttoria tecnica e amministrativa esperita la concessione, ai sensi dell'art.6 e seguenti del RR 20/11/2001 n. 41, possa essere rilasciata;

*Determina:*

per le motivazioni indicate in premessa:

- 1) di rilasciare alla Società "Energie e Servizi s.r.l." la concessione di derivazione di acqua pubblica superficiale in località Fiumana del comune di Predappio, da destinarsi ad uso idroelettrico, mediante prelievo di acqua superficiale dal fiume Rabbi, della portata massima di 2,5 m<sup>3</sup>/sec corrispondenti a 32 Mm<sup>3</sup>/anno massimi derivabili e 1,015 m<sup>3</sup>/sec di portata media annua;
- 2) di dare atto che la concessione viene resa nel rispetto dei diritti dei terzi, con particolare riferimento all'eventuale accesso a terreni di privati;
- 3) di fissare la scadenza della concessione al 31 dicembre 2015 ai sensi del RR 4/2005, fatta salva la facoltà dell'Amministrazione Regionale di disporre, anche prima della scadenza, le opportune prescrizioni o limitazioni temporali o quantitative alla concessione, al fine di tutelare la risorsa idrica, a seguito del censimento di tutte le utilizzazioni in atto nel medesimo corpo idrico, disposto dall'art. 95 del D.Lgs n. 152/2006 e



- successive modifiche ed integrazioni nonché dall'art. 48 del RR n.41/01;
- 4) che il concessionario, per venire a conoscenza degli importi relativi alle annualità successive al 2011 che saranno definiti da successivi atti regionali, dovrà contattare il Servizio Tecnico di Bacino nonché effettuare i pagamenti anticipatamente, entro il 31 dicembre dell'anno precedente a quello a cui si riferisce il pagamento;
  - 5) che la concessione di derivazione è assoggettata al rispetto delle condizioni e prescrizioni di carattere generale e particolare contenute nel disciplinare di concessione allegato parte integrante del presente atto;
  - 6) di provvedere alla pubblicazione sul B.U.R.E.R per estratto del presente atto;
  - 7) che qualora l'imposta di registro dovuta sia superiore ad € 168,00 il presente provvedimento sarà soggetto a registrazione fiscale ai sensi del D.P.R. 26 aprile 1986, n. 131, da regolarizzarsi a cura del concessionario entro trenta giorni dalla data di notifica del presente atto;
  - 8) l'originale del presente atto è conservato presso l'archivio informatico dell'ente e sarà consegnata al concessionario in copia conforme;
  - 9) di dare atto, infine, che ai sensi dell'art. 3 della Legge 7 agosto 1990 n. 241, contro il presente provvedimento si potrà ricorrere dinanzi al Tribunale Superiore AA.PP. entro il termine perentorio di 60 giorni dalla pubblicazione del presente atto sul BURER o dalla notifica dello stesso, conformemente a quanto sancito dagli art. 18 e 143 del TU 1775/33;
  - 10) di dare atto, infine:
    - che i canoni annui sono introitati sul Capitolo 04315 "Proventi derivanti dai canoni di concessione per l'utilizzazione del demanio idrico (LR 21 aprile 1999, n. 3)" delle Entrate del Bilancio Regionale;
    - che l'importo versato quale deposito cauzionale è introitato sul Capitolo n.07060 "Depositi cauzionali passivi" delle Entrate del Bilancio Regionale;
    - che l'importo versato per le spese di istruttoria è introitato sul Capitolo 04615 "Proventi per lo svolgimento delle attività e degli adempimenti nell'interesse e a richiesta di terzi per le funzioni amministrative trasferite o delegate a norma del DPR 24 luglio 1977, n. 616 e delle LL. 15 marzo 1997 n. 59 e 15 maggio 1997 n. 127 (L.R. 21 aprile 1999 n. 3).

**Servizio tecnico di bacino Romagna, Sede di Forlì**

Disciplinare Acque, contenente gli obblighi e le condizioni cui è vincolata la concessione di derivazione di acqua pubblica superficiale dal fiume Rabbi, ad uso idroelettrico, richiesta dalla ditta "*Energie e Servizi s.r.l.*", con istanza protocollata agli atti in data 02/12/2010 con il n.301139;

## **ART. 1**

### **Descrizione delle opere di presa, ubicazione del prelievo e sua destinazione d'uso**

- La presa è situata sulla sponda destra del fiume Rabbi (coordinate UTM\* X=739086 Y=891984) ed è costituita da uno sfioratore laterale che alimenta la condotta di adduzione alla turbina.
- La centrale è costituita da una singola turbina Kaplan ad asse orizzontale, contenuta in botola stagna interrata e raccordata con il canale di restituzione con sbocco immediatamente a valle della presa.
- In parallelo alla condotta di turbina mento, ne è prevista una seconda necessaria alla pulizia di fondo dello sghiaiatore.
- Qualsiasi variazione dovrà essere autorizzata dal servizio scrivente.

## **ART. 2**

### **Modalità di prelievo dell'acqua da derivare**

Il prelievo di risorsa idrica non dovrà superare i limiti di portata, pari a 2,5 m<sup>3</sup>/sec e di volume, pari a 32 Mmc<sup>3</sup> annui, stabiliti nel provvedimento di concessione.

Il concessionario deve, inoltre, sospendere ogni prelievo qualora vengano resi noti, dal Servizio concedente, mediante raccomandata o comunicato stampa o affissione all'Albo Pretorio dei Comuni, ulteriori divieti di derivare acqua.

Resta comunque vietato il prelievo nel periodo 01-31 agosto di ogni anno ed ogni qualvolta la portata del corso d'acqua scenda al di sotto del DMV di progetto di 170 l/s.

## **ART. 3**

### **Prescrizioni in fase di realizzazione e interferenze con opere e/o lavori idraulici**

Il Servizio si riserva di ordinare anche in corso d'opera e/o successivamente alla messa in esercizio della derivazione i lavori che riterrà necessari a garantire il regolare deflusso ed il buon regime idraulico del fiume Rabbi nel tratto interessato.

## **ART. 4**

### **Obblighi e condizioni a cui è assoggettata la derivazione**

Il concessionario è obbligato a collocare in prossimità delle opere di presa un Cartello identificativo, delle dimensioni di un foglio A4 (cm 21x29,7), che dovrà riportare obbligatoriamente i seguenti dati:

- titolare della concessione,
- numero della concessione,
- scadenza della concessione.

Tale cartello deve rimanere in loco per tutta la durata della concessione, limitatamente al periodo di effettivo prelievo. In caso di furto o smarrimento il concessionario è tenuto a ricollocare entro 20(venti) giorni dalla accertata mancanza, un nuovo cartello sostitutivo.

È vietato cedere o vendere a terzi, in tutto o in parte, la risorsa idrica oggetto della presente concessione. L'inosservanza di tale divieto comporta la decadenza dal diritto a derivare.

Sono a carico del concessionario l'esecuzione e la manutenzione di tutte le opere che si rendano necessarie, in relazione alla derivazione concessa, per garantire sia la difesa dell'ambiente, sia il buon regime delle acque, anche se la necessità di tali opere venga accertata in seguito.

Le opere di prelievo devono essere mantenute nelle condizioni di efficienza ed in buono stato e non possono essere modificate se non a seguito di regolare autorizzazione del Servizio concedente.

Il titolare della concessione è responsabile in ogni momento dello stato delle opere di deri-

vazione, che non possono essere abbandonate senza aver provveduto al ripristino dello stato dei luoghi Il concessionario è tenuto a comunicare al Servizio concedente la cessazione d'uso della derivazione entro tre mesi dalla sua dismissione ed a porre in atto tutte quelle operazioni tecniche affinché la dismissione non alteri la qualità ed il regime del corso d'acqua.

In ogni caso il concessionario è obbligato alla rigorosa osservanza delle norme per la tutela delle acque da inquinamento, ai sensi del D. Lgs. n. 152/2006 e successive modifiche.

Il concessionario, qualora il Servizio concedente lo richieda, anche successivamente al rilascio del presente provvedimento, dovranno procedere alla installazione di idoneo e tarato strumento per la misurazione della quantità d'acqua prelevata nonché garantirne il buon funzionamento e comunicare, alle scadenze fissate, i risultati delle misurazioni effettuate.

Ogni variazione relativa alle opere di prelievo (ivi compresa la sostituzione della pompa e gli interventi di manutenzione) o alla destinazione d'uso dell'acqua derivata dovrà essere preventivamente comunicata, contestualmente ai motivi che l'hanno determinata, al Servizio concedente che valuterà se autorizzarla o meno. La variazione della destinazione d'uso dell'acqua senza il preventivo assenso del Servizio dà luogo a decadenza della concessione.

## **ART. 5**

### **Durata/decadenza/revoca della concessione**

La concessione, ai sensi dell'art. 3 del Regolamento Regionale 29/12/2005 n. 4 rilasciata fino al 31 dicembre 2015 (tacitamente rinnovabile ma con importi economici comunicati annualmente e si presume aumentati) fatti salvi il diritto del concessionario alla rinuncia, qualora vengano meno i presupposti in base ai quali la derivazione è stata richiesta, e la facoltà del Servizio concedente di dichiarare la decadenza della concessione ai sensi dell'art. 32 del R.R. 41/01 o di revocarla anticipatamente al fine di tutelare la risorsa idrica o per motivi di pubblico generale interesse o qualora in futuro siano disponibili risorse idriche alternative non pregiate idonee all'uso richiesto. La revoca anticipata della concessione non dà diritto ad alcun compenso o indennità.

Il concessionario è obbligato a provvedere a proprie spese a tutti i lavori necessari per il ripristino dei luoghi nelle condizioni richieste dal pubblico generale interesse e secondo le modalità prescritte dal Servizio concedente.

## **ART. 6**

### **Canone della concessione**

Il concessionario è tenuto a corrispondere alla Regione Emilia - Romagna, secondo le modalità e l'importo indicati nell'atto di concessione di cui il presente Disciplinare è parte integrante, il canone annuo anche se non possa o non voglia fare uso in tutto o in parte dell'acqua concessa, fatto salvo il diritto di rinuncia ai sensi del secondo comma, dell'art. 34 del Regolamento Regionale n. 41/01, nel qual caso l'obbligo del pagamento del canone cessa al termine dell'annualità in corso alla data di ricezione della comunicazione di rinuncia.

Ai sensi dell'art. 30, comma 3, del Regolamento Regionale n. 41/01, la sospensione dei prelievi disposta dalle Amministrazioni competenti, qualora non superi i tre mesi, non dà luogo a riduzione del canone annuo.

Detto canone è soggetto ad aumenti in relazione agli aggiornamenti annuali dell'indice ISTAT ed a modifiche introdotte da successive disposizioni normative.

## **ART. 7**

### **Rinnovo**

Nel caso in cui, al termine della concessione, persistano i fini della derivazione, il concessionario dovrà presentare istanza di rinnovo prima della scadenza naturale della concessione, ai sensi dell'art. 27, comma 1, del R.R. 41/2001 e quindi entro il 31/12/2015.

Qualora il concessionario non intenda procedere al rinnovo della concessione, dovrà darne comunicazione al Servizio prima della scadenza della stessa. In questo caso, come nei casi di decadenza, revoca o rinuncia, il concessionario è obbligato a provvedere a proprie spese a tutti i lavori necessari per il ripristino dei luoghi nelle condizioni richieste dal pubblico generale interesse e secondo le modalità prescritte dal Servizio concedente.

## **ART. 8**

### **Osservanza di norme e regolamenti**

Il concessionario è tenuto all'osservanza di tutte le norme legislative e regolamentari poste a tutela degli aspetti qualitativi e quantitativi della risorsa idrica, sia vigenti che eventualmente emanate successivamente al rilascio della concessione e di qualsiasi altra normativa e autorizzazione connessa al prelievo, al suo utilizzo ed alle opere di captazione.

### **Prescrizioni specifiche dell'area demaniale**

- Non può essere apportata alcuna variazione all'estensione dell'area demaniale concessa (centrale di turbinamento e relativa difesa idraulica in massi per 130 mq circa) come individuata nella cartografia di progetto e alla destinazione d'uso, né può essere modificato lo stato dei luoghi senza preventiva autorizzazione dell'Amministrazione concedente.
- È compito del concessionario richiedere ed ottenere dalle amministrazioni competenti le eventuali ed ulteriori autorizzazioni necessarie, in relazione alle opere da realizzarsi.
- Il concessionario è obbligato a provvedere alla regolare manutenzione e conservazione del bene concesso nonché ad apportare, a proprie spese, quelle modifiche e migliorie che venissero prescritte dall'Amministrazione concedente, a tutela degli interessi pubblici e dei diritti privati.
- In qualunque momento deve essere consentito l'accesso all'area al personale dell'Amministrazione e agli addetti alla vigilanza.
- Ogni concessionario è responsabile per l'intero, nei confronti dell'Amministrazione, di ogni obbligazione assunta.
- In caso di esecuzione di lavori idraulici, o altre prevalenti ragioni di pubblico interesse, l'Amministrazione può revocare la concessione e/o ordinare il ripristino dei luoghi, senza che il concessionario abbia diritto ad alcun rimborso o indennizzo.
- È vietato sub-concedere o affittare, in tutto o in parte, il bene ottenuto in concessione, a pena di decadenza dalla concessione.
- Alla cessazione, per qualunque causa, scadenza, decadenza o revoca, consegue l'obbligo per il concessionario del ripristino dello stato dei luoghi, nei tempi e modi fissati dalla Amministrazione, a pena di esecuzione d'Ufficio in danno del concessionario.
- Qualora la titolarità della presente concessione debba essere trasferita ad altro soggetto, tutti gli obblighi derivanti dal presente atto, compresi canone e cauzione, devono essere assunti dal nuovo concessionario ed ogni variazione comunicata al Servizio.
- Il rinnovo del titolo sulle aree resta connesso al rinnovo del titolo principale di derivazione.

## 6.5 La relazione geologica

Questo documento si è reso necessario per l'autorizzazione a procedere alla costruzione di opere edili sulla riva di un fiume, soprattutto per verificare il grado di cedibilità e compattezza del terreno ed evitare futuri smottamenti o problematiche di questo genere.

### 6.5.1 - Premessa

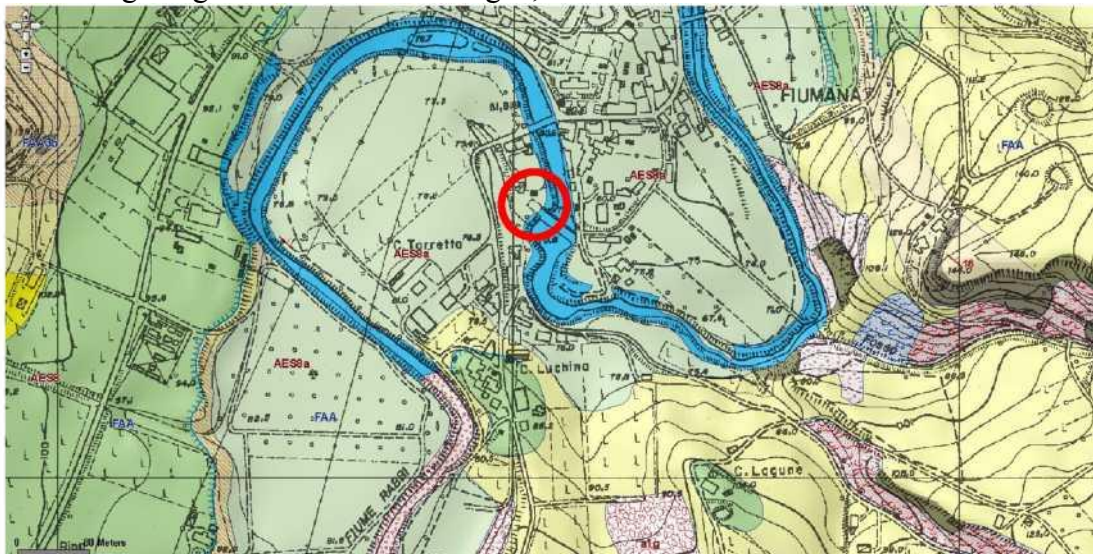
La presente relazione geologica riassume gli esiti delle indagini svolte in un'area individuabile nella porzione meridionale del centro abitato di Fiumana, in Comune di Predappio, nella quale è prevista la realizzazione di un "mini" impianto idroelettrico sfruttando il salto piezometrico fornito da una briglia esistente nell'alveo del Fiume Rabbi.

L'area in esame è fra quelle sottoposte a Vincolo Idrogeologico pertanto l'intervento dovrà essere preventivamente autorizzato anche dalla Comunità Montana territorialmente competente.

### 6.5.2 - Inquadramento geologico e geomorfologico

L'intervento in progetto è previsto in destra idrografica del Rabbi, immediatamente ad ovest di una briglia in cemento esistente, e prevede di "sfruttarne il salto" a fini idroelettrici. In linea generale l'area di intervento è caratterizzata dalla presenza, in superficie, di depositi di prevalente natura limoso-argillosa e, più in profondità di natura ghiaioso-sabbiosa, di origine alluvionale e connessi alle passate attività del Fiume Rabbi.

Al di sotto delle alluvioni si trovano le argille sovraconsolidate plioceniche appartenenti alla formazione delle Argille Azzurre (FAA). L'immagine seguente mostra uno stralcio della carta geologica dell'Emilia-Romagna, dove viene individuato il sito d'intervento:



*Stralcio di carta geologica della regione Emilia-Romagna*

Da un punto di vista geomorfologico, data la natura stessa dell'intervento, saranno interessati sia i depositi alluvionali in evoluzione (b1) presenti nell'alveo del Rabbi che le scarpate che li separano dal primo ordine di terrazzi alluvionali (b2).

Le suddette scarpate non mostrano ad oggi particolari segnali di instabilità tuttavia gli abitanti dell'area segnalano che in più occasioni, durante le passate piene fluviali, diffusi fenomeni erosivi si erano innescati (a valle della chiusa) demolendo le opere di difesa/protezione spondale che erano state ivi realizzate e compromettendo conseguentemente la stabilità della scarpata fluviale destra. Negli ultimi anni la formazione sul lato monte della briglia stessa di una barra vegetata ha portato ad un sostanziale miglioramento della situazione. Con tale conformazione la velocità della corrente viene attenuata ma soprattutto



la corrente stessa tende a dirigersi verso la sponda sinistra del Rabbi che localmente è protetta da muri in cemento armato. Nella foto si mostra la barra vegetata che limita l'azione erosiva della corrente sulla sponda destra del fiume.



*Situazione della vegetazione sulla sponda destra del fiume*

### 6.5.3 - Indagini di campagna

Per definire la stratigrafia e le principali caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni presenti nel sottosuolo dell'ambito si è proceduto alla esecuzione di n°2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH1 e DPSH2) ed una misura di rumore ambientale con tomografo sismico ubicate come da planimetria allegata.

La prova geofisica, ed i relativi esiti, saranno illustrati e discussi nel paragrafo relativo alla "Caratterizzazione in chiave sismica del sito" e nel rispettivo allegato.

### 6.5.4 - Prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle prove penetrometriche è un penetrometro semovente PAGANI da 200 kN attrezzato per eseguire, alternativamente, prove statiche o prove dinamiche superpesanti.

Le prove DPSH consistono nell'infiggere nel terreno una punta conica metallica, di area pari a 20 cmq, posta all'estremità di un'asta d'acciaio prolungabile con l'aggiunta di successive aste di peso pari a 6,2 Kg/ml. L'infissione avviene "per battitura" facendo cadere, da un'altezza di 75 cm (volata), un maglio di 63,5 Kg. La resistenza del terreno viene determinata sulla base del numero di colpi necessari per ottenere 20 cm di penetrazione.

Un parametro rappresentativo del terreno che è possibile ottenere dalla prova DPSH è la Resistenza Dinamica (Rd) calcolata con la "Formula degli Olandesi":

$$Rd = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}$$

con:

M = peso del maglio (massa battente)

g = accelerazione di gravità

H = altezza di caduta del maglio  
 A = area della sezione della punta  
 e = penetrazione media per colpo.

Questo parametro era utilizzato nella pratica professionale per ottenere informazioni utili sul carico ammissibile del terreno di fondazione che veniva “stimato imponendo ad Rd un fattore di sicurezza” pari a 20.

$$Qd = \frac{Rd}{20}$$

### 6.5.5 - Stratigrafia e caratteristiche meccaniche dei terreni

Sulla base dei rilievi e degli esiti delle prove DPSH eseguite si è ricostruita la sezione geologica AA' in allegato.

Come si vede a monte ed a valle della briglia sono individuabili due successioni stratigrafiche lievemente differenti.

A valle della briglia la successione stratigrafica dei terreni incontrati nel corso dell'indagine viene riassunta, insieme ai parametri meccanici dei terreni presenti (o ai range ritenuti plausibili per gli stessi), sulla tabella seguente:

Da m a m:	Descrizione	Cu (kg/cmq)	C' (kg/cmq)	Phi' (°)	Gamma (t/mc)	Modulo di Winkler K (kg/cm)
Da 0 a 0,8 m	Terreno di riporto di natura limoso-argillosa, ben compattato con inclusi eterogenei. Livello caratterizzato da un numero di colpi per 20 cm di avanzamento variabile da 4 a 18.					
Da 0,8 a 2,0 m	Argille e argille-limose generalmente compatte. N ≈ 2 – 3 per 20 cm di avanzamento	0,6-0,7	0,15 - 0,2	21°	1,7	≈ 2
Da 2,0 a 3,4 m	Ghiaie e sabbie alluvionali (probabili) caratterizzate da N variabile dai 4 ai 16 per 20 cm di avanzamento	-	-	37°	1,85	16,0-18,0
> 3,4 m	Formazione delle Argille Azzurre prima alterata e poi integra. N per 20 cm variabile da 4 a 23, migliora con la profondità.	≈ 1 primo metro > 2 oltre	≈ 0,5 primo metro > 1 oltre	25°	1,9 – 2,1	10 – 12 primo metro

A monte della briglia la successione stratigrafica dei terreni incontrati nel corso dell'indagine viene riassunta - insieme ai parametri meccanici dei terreni presenti (o ai range ritenuti plausibili per gli stessi) - sulla tabella seguente:

Da m a m:	Descrizione	Cu (kg/cmq)	C' (kg/cmq)	Phi' (°)	Gamma (t/mc)	Modulo di Winkler K (kg/cm)
Da 0 a 1,6 m	Terreno di riporto di natura limoso-argillosa, ben compattato con inclusi eterogenei. Livello caratterizzato da un numero di colpi per 20 cm di avanzamento variabile da 4 a 20.					
Da 1,6 a 2,8 m	Argille e argille-limose generalmente compatte. N ≈ 2 – 3 per 20 cm di avanzamento	0,6-0,8	0,15-0,2	21°	1,7	2,5-3,5
Da 2,8 a 3,4 m	Argille molli caratterizzate da N ≈ 1 per 20 cm di avanzamento	0,2 – 0,3	0,01 – 0,02	20°	1,75	≈ 1,0
> 3,4 m	Formazione delle Argille Azzurre prima alterata e poi integra. N per 20 cm variabile da 4 a 23, migliora con la profondità.	≈ 1 primo metro > 1 oltre	≈ 0,5 primo metro > 0,5 oltre	25°	1,9 – 2,1	≈ 10 primo metro

La falda freatica è stata rilevata immediatamente dopo l'esecuzione delle prove risultando a 50 cm dal p.c. nell'area a valle delle briglia (DPSH1) e a 1,9 m dal p.c. nell'area a monte (DPSH2). Sicuramente si tratta di una falda le cui fluttuazioni sono intimamente connesse al regime delle precipitazioni e del corso d'acqua limitrofo tuttavia si consiglia di considerare, in tutti i calcoli progettuali, la superficie freatica come se si trovasse circa al p.c. E' inoltre evidente che qualunque opera interrata sarà soggetta a spinta idrostatica e sarà esposta a tutte le possibili problematiche connesse alla presenza della falda (risalita capillare nelle murature, umidità, infiltrazioni d'acqua,...). Fino dai tempi della classificazione sismica del territorio del 1983 il Comune di Predappio è stato classificato come sismico di II categoria. La “riclassificazione” del 1998 ha confermato la medesima categoria sismica

(II). L'ulteriore classificazione del 2003 (basata sugli studi di pericolosità sismica dell'INGV) ha portato a classificare il territorio del Comune di Predappio in Zona sismica 2 con accelerazioni su suolo rigido orizzontale (Suolo A) pari a 0,25 gal. Con l'entrata in vigore delle NTC del 14 gennaio 2008 la definizione dell'azione sismica di base passa da un approccio “zona dipendente” ad uno “sito dipendente” in cui l'azione sismica di progetto, per progetti “normali” ed in assenza di particolari problematiche (ad esempio in presenza di possibili fenomeni di liquefazione dei terreni in condizioni dinamiche), viene definita sulla base di:

- azione sismica di base valutata in funzione delle azioni note sui nodi della rete nazionale,
- amplificazione legata alle condizioni stratigrafiche del sito,
- amplificazione legata alle condizioni topografiche del sito.

Per quanto concerne l'amplificazione stratigrafica l'individuazione del fattore di amplificazione passa attraverso la classificazione del terreno di fondazione effettuata, nei casi più semplici, servendosi della tabella 3.2 delle NTC in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i 30 m di riferimento ( $V_{s30}$ ) che si calcola con la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \left( \frac{h_i}{V_i} \right)}$$

con:

- $h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo in metri
- $V_i$  = velocità dell'onda di taglio  $i$ -esima
- $N$  = numero di strati.

La  $V_{s30}$  deve essere riferita al piano di posa delle opere fondali nel caso queste siano superficiali o al p.c. nel caso queste siano profonde.

*Tabella di descrizione delle categorie di terreni per il riferimento alla  $V_{s30}$*

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi fra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi fra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine)
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti su substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Il profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo dell'ambito è stato determinato attraverso l'elaborazione dei dati desunti da una misura di rumore ambientale a stazione singola (vedi elaborato "Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR" in allegato) con tomografo sismico eseguita nel febbraio del 2011 in corrispondenza della prova penetrometrica DPSH1. La prova ha consentito di ricostruire il seguente profilo di velocità:

*Profilo di velocità dalla prova penetrometrica*

Da m:	A m:	Velocità onde S (m/sec)
0	4,5	200
4,5	5,5	300
> 5,5 m		580

cui corrispondono , utilizzando l'equazione (1) , le seguenti velocità delle onde di taglio Vs30 e , per mezzo della tabella 3.2 , le relative categorie di suolo:

*Caratterizzazione del terreno in esame*

Profondità di calcolo da metri a metri	Vs30 (m/s)	Categoria di suolo
0,0 – 30,0	441	B
1,0 – 31,0	463	B
2,0 – 32,0	488	B
3,0 – 33,0	515	B
4,0 – 34,0	546	B

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, date le pendenze modeste si può considerare un coefficiente pari a 1 (vedi Tabella 3.2 IV delle NCT sottostante).

*Tabella dell'amplificazione topografica*

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica	FA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15 \leq i \leq 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4

**6.5.6 - Rischio di liquefazione in condizioni sismiche**

Il termine liquefazione si riferisce alla perdita di resistenza al taglio, di un mezzo granulare sotto falda determinata da un aumento della pressione dell'acqua all'interno dei pori. Tale incremento può essere riconducibile a varie cause fra le quali si ricorda lo scuotimento del terreno durante un forte terremoto. Un terreno in condizioni di liquefazione è privo di resistenza al taglio e si comporta come un fluido viscoso.

Al termine del sisma, con la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e con il riassetto dei grani in una struttura più addensata possono originarsi estesi fenomeni di subsidenza che causano importanti cedimenti (assoluti e/o differenziali) con effetti che possono essere disastrosi sulle eventuali sovrastrutture presenti.

Perché in un dato sito possano avvenire fenomeni di liquefazione è necessario che coesistano particolari condizioni geologiche e idrogeologiche (i.e. presenza di terreni granulari, fini, puliti e sotto falda) e sismiche (eventi di intensità  $I > \text{Vili MCS}$ ; picco di accelerazione  $a_{max} > 0,10g$ , durata maggiore di 15-20 s).

Le NTC 2008 (punto 7.11.3.4.2J) indicano quali sono i casi in cui la verifica a liquefazione può essere omessa. Come si evince dalla relazione geologica i terreni presenti sono prevalentemente argillosi e argilloso-limosi, e quindi, dal punto di vista tessiturale, si trovano al di fuori dei fusi granulometrici che caratterizzano i terreni suscettibili di liquefazione come rappresentato sulle figure 7.11.1 (a) e (b) della citata normativa.

In conclusione, sebbene i dati disponibili sulla sismicità dell'area indichino che sono possibili eventi sismici tali da provocare fenomeni di liquefazione, le condizioni geologiche consentono di escludere questo tipo di fenomeni.

#### 6.5.7 - Conclusioni e orientamenti tecnici

Si sono analizzate le principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche di un'area ubicata nella porzione meridionale dell'abitato di Fiumana, sulla sponda destra del Fiume Rabbi, nella quale è prevista la realizzazione di un piccolo impianto per la produzione di energia idroelettrica che sfrutti il "salto" offerto da una briglia in cemento esistente.

Le indagini svolte hanno messo in evidenza che i terreni presenti nel sottosuolo dell'ambito, al di sotto di un livello di riporto superficiale di circa un metro, sono lievemente differenti sui due lati della briglia.

Sul lato di valle, al di sotto del riporto, si trovano depositi alluvionali (prima limoso-argillosi compatti e poi ghiaioso-sabbiosi) sovrastanti alle argille azzurre plioceniche.

Sul lato monte, tra il riporto e le argille azzurre, si sono rinvenuti invece solo limi argillosi o argille. In particolare si segnala che in corrispondenza della prova DPSH2 - dai 2,8 ai 3,4 m dal p.c. - è stato individuato un livello di argille molli.

La falda freatica è stata rilevata immediatamente dopo l'esecuzione delle prove risultando assai superficiale. Sicuramente si tratta di una falda le cui fluttuazioni sono intimamente connesse al regime delle precipitazioni e del corso d'acqua limitrofo tuttavia si consiglia di considerare, in tutti i calcoli progettuali, la superficie freatica come se si trovasse circa al p.c. E' inoltre evidente che qualunque opera interrata sarà soggetta a spinta idrostatica e sarà esposta a tutte le possibili problematiche connesse alla presenza della falda (risalita capillare nelle murature, umidità, infiltrazioni d'acqua,...).

Dal punto di vista strettamente geomorfologico non si ravvisano allo stato attuale particolari problematiche tuttavia si segnala che:

- il PSRI variante 2008 classifica l'area di intervento come ad elevata probabilità di erosione (cioè come area allagabile con tempi di ritorno trentennali),
- gli abitanti dell'area segnalano che in più occasioni, durante le passate piene fluviali, diffusi fenomeni erosivi si erano innescati (a valle della briglia) demolendo le opere di difesa/protezione spondale che erano state ivi realizzate e compromettendo conseguentemente la stabilità della scarpata fluviale destra.

Dal punto di vista sismico non sussistono le condizioni geologiche perché possano avvenire fenomeni di liquefazione ciclica ed il sottosuolo può essere considerato di tipo B. Le modeste pendenze consentono di considerare un fattore di amplificazione stratigrafica pari a 1,0.

In base a quanto emerso nell'area non si sono rilevati vincoli assoluti di natura geologica o geomorfologica alla realizzazione dell'intervento in progetto tuttavia si segnala quanto segue:

- i manufatti, che per loro stessa natura dovranno essere realizzati nell'alveo del fiume Rabbi o nelle sue immediate adiacenze, dovranno essere adeguatamente protetti sia dall'azione erosiva della corrente che dall'eventuale impatto con detriti anche di grosse dimensioni (come grossi massi o alberi divelti) che possono essere facilmente presi in



- carico dalla corrente in occasione delle piene fluviali ,
- per quanto riguarda le opere fondali dei manufatti adiacenti all'alveo si consiglia di prevedere pali di fondazione saldamente incastrati entro la formazione pliocenica per evitare che eventuali azioni erosive di fondo possano portare allo scalzamento delle opere fondali dei manufatti stessi con conseguenti ripercussioni sulla loro stabilità ,
  - dovrà essere attentamente valutata la presenza della falda freatica e la sua interferenza con le opere in progetto ,
  - lo stato di tutte le opere di protezione spondale dovrà essere periodicamente verificato e , all'occorrenza , si dovrà procedere ai necessari interventi di ripristino e/o manutenzione ,
  - le opere fondali del locale tecnico dovranno essere realizzate ad una profondità tale da oltrepassare l'orizzonte più superficiale di terreno agricolo (circa 70-80 cm) ,
  - tutte le trincee scavate per la posa delle condotte e dei cavidotti dovranno essere tombate avendo cura di sistemare accuratamente il terreno (al fine di non ostacolare il libero deflusso delle acque ed evitare che si creino aree di ristagno idrico) e di compattarlo in maniera adeguata con idoneo mezzo cingolato (al fine di non creare vie di infiltrazione preferenziale)
  - tutto il terreno di risulta degli scavi che non venga riutilizzato in loco per i rinalzi fondali la sistemazione dell'area circostante l'opera il tombamento delle trincee dovrà essere conferito a discarica autorizzata.

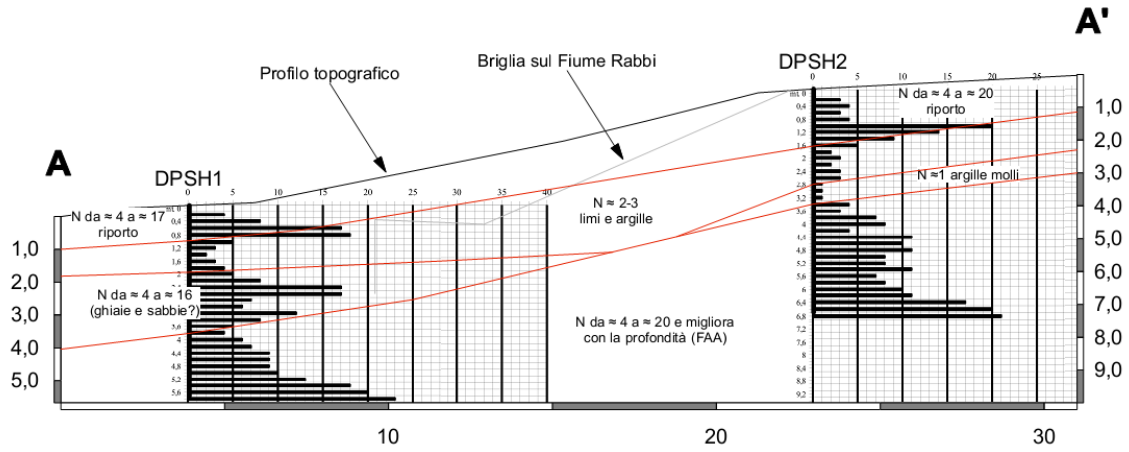
Si consiglia di realizzare l'intervento in periodo stagionale favorevole.

Qualora , durante l'esecuzione delle opere emergessero situazioni particolari che non è stato possibile prevedere nel corso di questa indagine prego di essere contattato per concordare anche in seguito a sopralluogo gli eventuali interventi necessari al prosieguo dei lavori.

*Fotografia aerea (AGEA-RER, 2008) con ubicazione delle indagini diagnostiche in scala 1:2.000*



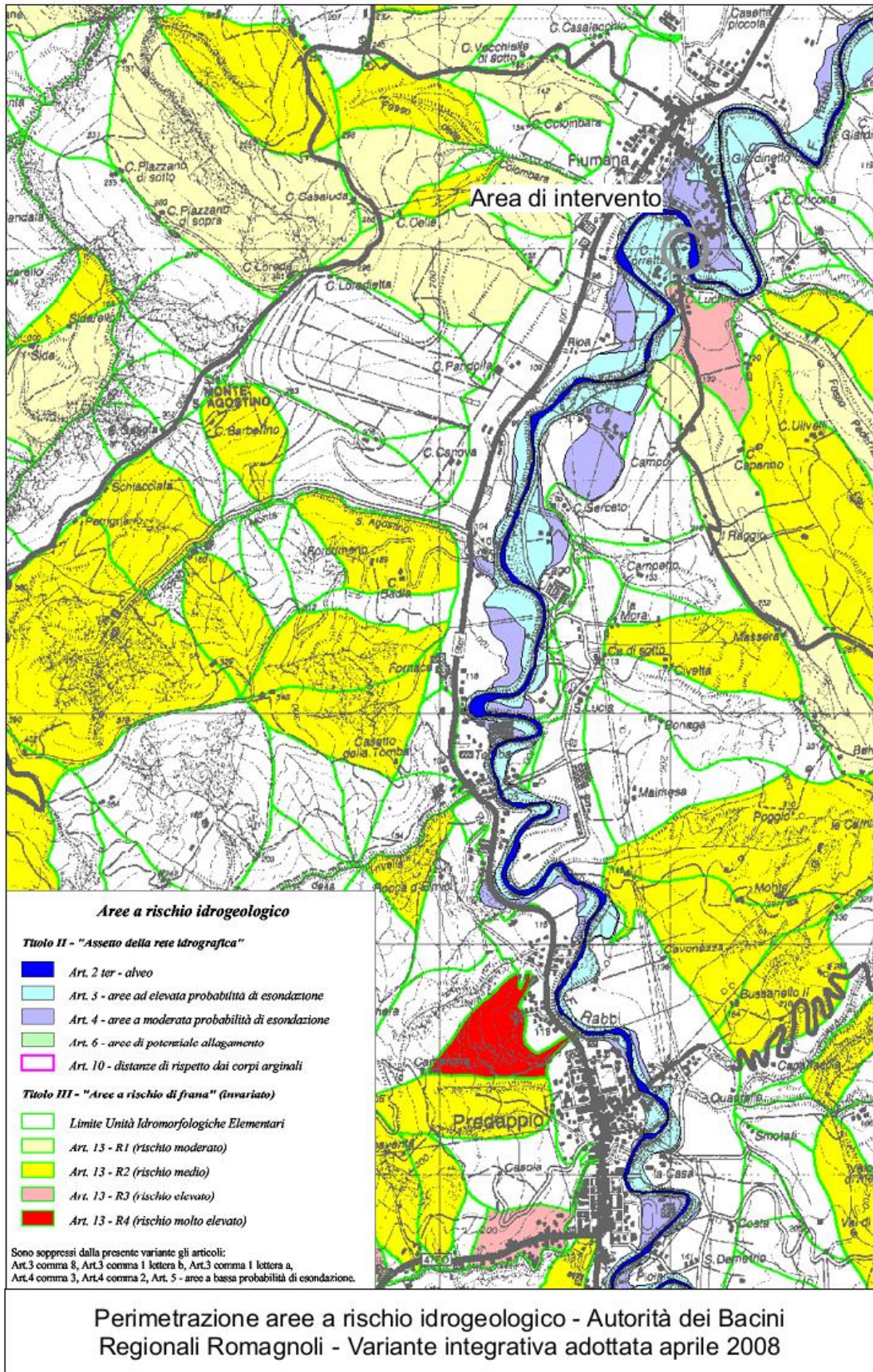
Sezione geologica schematica - Scala grafica



**Prove Penetrometriche Dinamiche  
Predappio (FC) - Fiumana, via Lucchina**

Prof. mt.	P1		P2	
	n.colpi	Rd	n.colpi	Rd
0				
0,2	4	43	3	33
0,4	8	87	4	43
0,6	17	184	3	33
0,8	18	195	4	43
1	5	50	20	199
1,2	3	30	14	139
1,4	2	20	9	90
1,6	3	30	5	50
1,8	4	40	2	20
2	5	46	3	28
2,2	8	74	2	18
2,4	17	157	3	28
2,6	17	157	3	28
2,8	7	64	1	9
3	6	51	1	9
3,2	12	103	1	9
3,4	8	68	4	34
3,6	5	43	3	26
3,8	4	34	7	60
4	6	48	8	64
4,2	7	56	4	32
4,4	9	72	11	88
4,6	9	72	10	80
4,8	9	72	11	88
5	10	75	8	60
5,2	13	98	8	60
5,4	18	135	11	83
5,6	20	150	7	53
5,8	23	173	8	60
6			10	71
6,2			11	78
6,4			17	120
6,6			20	141
6,8			21	149
7				
7,2				
7,4				
7,6				
7,8				
8				
8,2				
8,4				
8,6				
8,8				
9				
9,2				
9,4				
9,6				
9,8				
10				
10,2				
10,4				
10,6				
10,8				
11				
11,2				
11,4				
11,6				
11,8				
12				





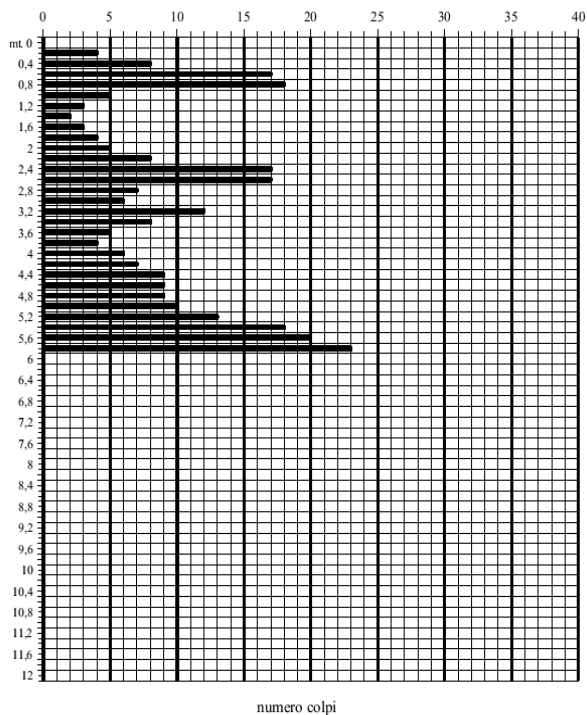


cantiere: Predappio (FC) - Fiumana, via Lucchina  
quota inizio: piano campagna data: Febbraio 2011  
prof. falda: -0,50 mt.

### PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE DPSH 1

Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

Peso maglio:63.50 Kg. Caduta maglio:75cm. Sezione punta:20cmq. Peso aste:6.20Kg/ml.

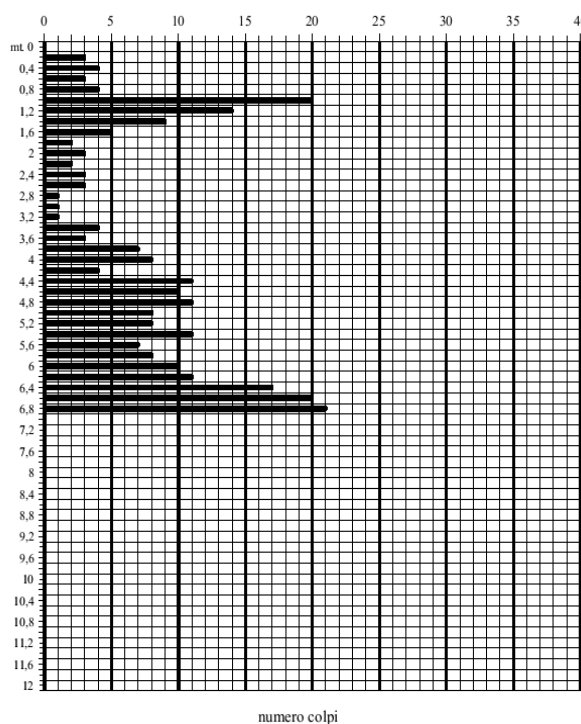


cantiere: Predappio (FC) - Fiumana, via Lucchina  
quota inizio: piano campagna data: Febbraio 2011  
prof. falda: -1,90 mt.

### PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE DPSH 2

Penetrometro dinamico pesante tipo "Emilia" :

Peso maglio:63.50 Kg. Caduta maglio:75cm. Sezione punta:20cmq. Peso aste:6.20Kg/ml.



## 6.5.8 - Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR

### 6.5.8.1 - Premessa

Il giorno 08/02/2011 a Predappio (FC) - Fiumana, Via Lucchina è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005.

### 6.5.8.2 - Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1. Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.



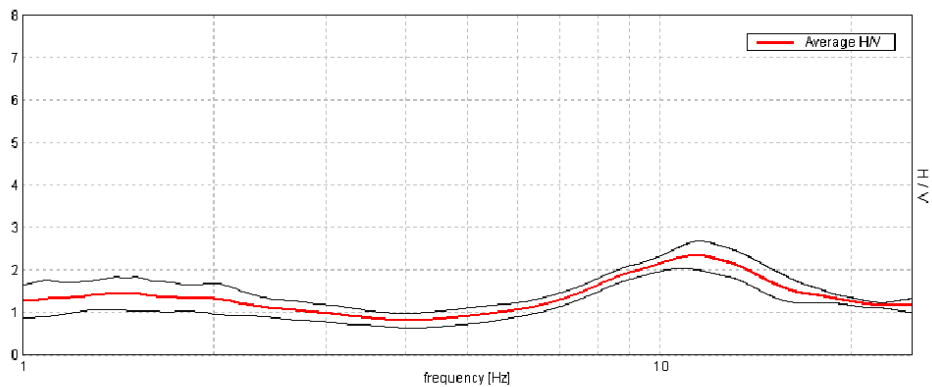
### 6.5.8.3 - Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (Horizontal to Vertical spectral ratio. Il grafico "H/V Time History" mostra le "finestre temporali" analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione. Il grafico "Directional H/V" rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale. In seguito, il grafico "Single Component Spectral", mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale). In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (Experimental vs Synthetic H/V) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005. Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio "Vs30" nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la formula introdotta nei paragrafi precedenti.

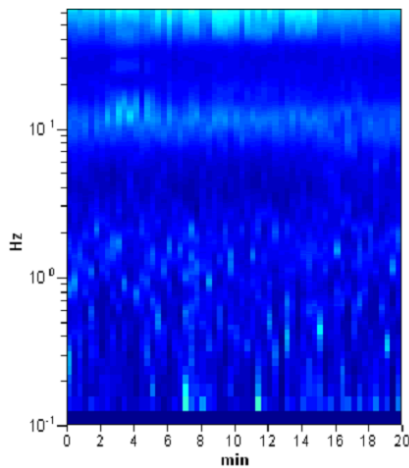
Durata registrazione: 0h20'00".      Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

#### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

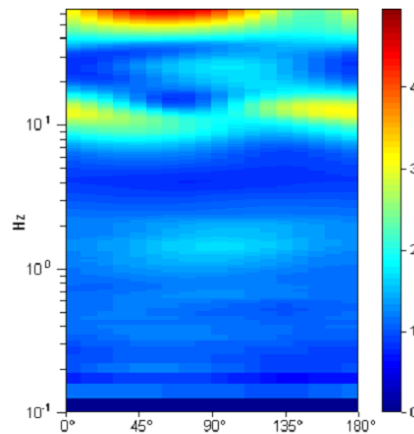
Max. H/V at 11.41 ± 0.52 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



#### SERIE TEMPORALE H/V

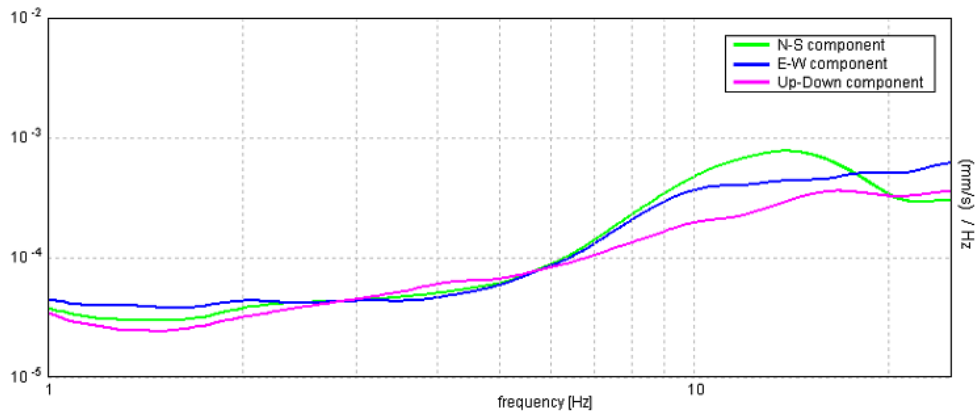


#### DIREZIONALITA' H/V



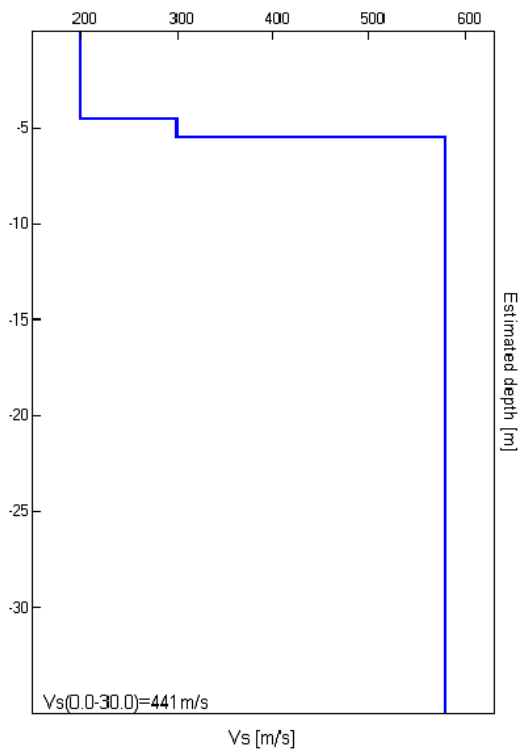
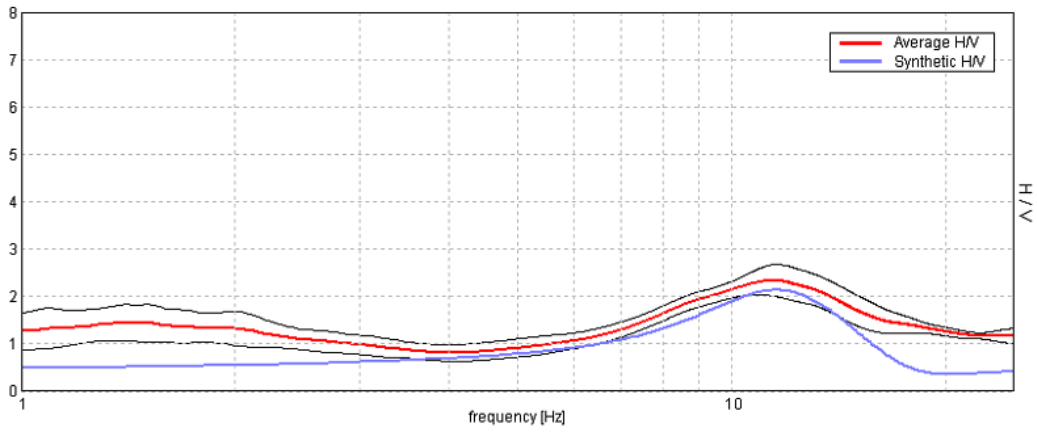


### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. HV at 11.41 ± 0.52 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
4.50	4.50	200
5.50	1.00	300
inf.	inf.	580

Vs(0.0-30.0)=441m/s

**Picco H/V a 11.41 ± 0.52 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	11.41 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	13687.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 548	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.469 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	22.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.34 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	10.022521 < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.25687 < 0.57031	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1632 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

#### 6.5.8.4 - Determinazione della categoria del sottosuolo

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Cat.	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi:</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti:</i> con spessori superiori a 30 m. Caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s, (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti:</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{3jo}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s, (ovvero $15 < N_{spt30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa in quelli a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti:</i> con spessori superiori a 30 m caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s, (ovvero $N_{spt30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m:</i> posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Cat.	Descrizione
SI	Depositi di terreni caratterizzati da valori di inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$	Categoria di suolo
<b>0,00-30,00 [m]</b>	<b>441 [m/s]</b>	<b>B</b>
<b>1,00-31,00 [m]</b>	<b>463 [m/s]</b>	<b>B</b>
<b>2,00-32,00 [m]</b>	<b>488 [m/s]</b>	<b>B</b>
<b>3,00-33,00 [m]</b>	<b>515 [m/s]</b>	<b>B</b>
<b>4,00-34,00 [m]</b>	<b>546 [m/s]</b>	<b>B</b>

## 6.6 Il contratto di costruzione

Nel seguito si presenta la copia del contratto di costruzione dell'impianto idroelettrico in oggetto stipulato tra "Idrofiumana s.r.l." e "Lumiei Impianti s.r.l."

### **Contratto di costruzione di un impianto mini idroelettrico denominato "Fiumana" in comune di Predappio, provincia di Forlì-Cesena**

tra:

**LUMIEI IMPIANTI SRL** con sede in Sauris (UD), Via Sauris di Sopra, Partita IVA 02361180306 qui rappresentata da Schneider P.I.E. Fausto, in qualità di Legale Rappresentante, nato a Sauris il 20.02.1959 e residente in Sauris (UD) Italy. (di seguito denominato Fornitore);

e:

**IDRO FIUMANA S.R.L.** con sede in San Mauro Pascoli (FC), via Due Martiri n.2, P.iva e C.F. 03954440404, qui rappresentata da MASOTTI GIOVANNI, nato a Forlì (FC) il 6 gennaio 1944, codice fiscale MST GNN 44AG6 D704R, domiciliato per la carica presso la sede sociale, il quale dichiara di intervenire al presente atto, in qualità di Amministratore Unico;

#### 6.6.1 - Oggetto

- 1.1) Le presenti condizioni generali regolano il contratto di fornitura di un impianto mini idroelettrico da realizzarsi in Provincia di Forlì Cesena e più precisamente denominato "Fiumana" in Comune di Predappio (FC).
- 1.2) Il Fornitore oltre alla vendita ed installazione dell'impianto, si impegna a fornire ad "Idrofiumana s.r.l." tutte le prestazioni di natura tecnica ed amministrativa, che si rendano necessarie per installare, attivare e collaudare le parti elettromeccaniche dell'impianto, nonché l'assistenza necessaria per richiedere l'accesso alla tariffa incentivante omnicomprensiva prevista dalla Legge 99/2009 e dall'art. 7 com. 2 let. A D.lgs. 29 die. 2003 num. 387 e dai provvedimenti attuativi ministeriali dell'Autorità Garante per l'energia elettrica e il gas.
- 1.3) "Idrofiumana s.r.l." è in possesso dei titoli abilitativi richiesti in base alla normativa vigente e del luogo in cui dovrà avvenire l'installazione stessa degli impianti.

#### 6.6.2 - Caratteristiche degli impianti.

La fornitura degli impianti comprende quanto previsto nelle offerte del fornitore che allegate al presente contratto ne fanno parte integrante.

#### 6.6.3 - Attività tecniche ed amministrative oggetto del contratto.

- 3.1) Il Fornitore svolgerà, attraverso la propria struttura, ovvero per mezzo di soggetti terzi all'uopo incaricati, le seguenti attività di natura tecnica ed amministrativa, finalizzate all'installazione, all'attivazione e al collaudo dell'impianto, nonché alla assistenza tecnica per la richiesta di accesso alla tariffa incentivante di cui all'art 1.2:
  - a) direzione lavori, installazione e collaudo finale dell'impianto, relativamente alle opere di cui al presente contratto, con rilascio del relativo certificato;
  - b) assistenza tecnica per la presentazione della domanda di accesso alla tariffa incentivante di cui all'art. 1.2;
- 3.2) al fine di consentire al Fornitore e/o ai suoi incaricati il corretto e tempestivo svolgimento delle attività di cui all'art. 6.1. "Idrofiumana s.r.l." si impegna a fornire la

massima collaborazione e in particolare a:

- a) sottoscrivere e fornire tutta la documentazione tecnica ed amministrativa che risulti necessaria;
- b) consentire l'accesso al proprio immobile al Fornitore e/o ai suoi incaricati al fine di eseguire ogni sopralluogo o verifica finalizzati alla corretta progettazione, installazione, attivazione e collaudo dell'impianto, a tal fine il Fornitore invierà i propri addetti o incaricati muniti di apposito documento di riconoscimento;
- c) sottoscrivere la dichiarazione di avvenuta installazione e/o di fine lavori.

La "Lumiei Impianti s.r.l." si impegna a:

- a) eseguire i lavori a perfetta regola d'arte e in conformità agli elaborati esecutivi che sono parte integrante del contratto.
- b) fornire l'organigramma dei lavori prima dell'inizio dei lavori stessi;
- c) rispettare tutte le disposizioni di legge vigenti, riguardo ai propri dipendenti impegnati nell'espletamento delle opere oggetto del presente contratto, sia per il collocamento che materia previdenziale ed assicurativa.

#### 6.6.4 - Rendimenti.

Per il calcolo del rendimento del gruppo "Turbina e Generatore Asincrono" dell'impianto mini-idroelettrico, vengono fissati i valori rapportati alle portate di acqua fluente misurata da ciascun misuratore presente sull'impianto con scostamento del  $\pm 2\%$ .

Il "rendimento effettivo ponderato garantito" del gruppo "Turbina e Generatore Asincrono" è esposto nella tabella sottostante:

Frazioni Portata [%]	Rendimento Turbina ( $\eta$ turbina)	Rendimento Generatore ( $\eta$ generatore)	Rendimento Gruppo ( $\eta$ turbina * $\eta$ generatore)	Peso
100	0,875	0,941	0,823	0,15
90	0,892	0,939	0,838	0,25
80	0,898	0,939	0,843	0,30
70	0,885	0,936	0,828	0,15
60	0,856	0,934	0,800	0,10
50	0,822	0,932	0,766	0,05
Rendimento effettivo ponderato garantito → 82.8 %				

In sede di collaudo finale saranno rilevati i rendimenti globali del gruppo "Turbina e Generatore Asincrono" e il "rendimento effettivo ponderato" sarà ottenuto attribuendo ai rendimenti misurati alle frazioni di portata di 10/10, 9/10, 8/10, 7/10, 6/10, 5/10 i coefficienti di peso sopra esposti. Il "rendimento effettivo ponderato" si calcola come segue:

$\eta_{\text{EffettivoPonderato}} = \eta_{10/10} * 0,15 + \eta_{9/10} * 0,25 + \eta_{8/10} * 0,30 + \eta_{7/10} * 0,15 + \eta_{6/10} * 0,10 + \eta_{5/10} * 0,05$  dove:

- $\eta_{10/10}$  = rendimento effettivo della macchina al 100% della portata;
- $\eta_{9/10}$  = rendimento effettivo della macchina al 90% della portata;
- $\eta_{8/10}$  = rendimento effettivo della macchina al 80% della portata;
- $\eta_{7/10}$  = rendimento effettivo della macchina al 70% della portata;
- $\eta_{6/10}$  = rendimento effettivo della macchina al 60% della portata;
- $\eta_{5/10}$  = rendimento effettivo della macchina al 50% della portata.

Il "rendimento effettivo ponderato" sarà confrontato con il "rendimento effettivo ponderato



garantito" indicato nella tabella sopra riportata.

Lo scostamento dal rendimento dei valori sopra riportati, con tolleranza secondo quanto indicato dalla norma IEC 41 e IEC 193, tenuto conto della tolleranza degli strumenti di misura, comporterà una penalizzazione pari alla mancata produzione moltiplicata per il valore dell'energia elettrica alla tariffa riconosciuta dal GSE, per 15 anni.

#### **6.6.5 - Costo dell'impianto.**

Il costo chiavi in mano dell'impianto, completo in ogni sua parte, fornito in opera e comprensivo degli oneri di progettazione esecutiva esclusi quelli per le autorizzazioni, le opere civili e l'allacciamento Enel è pari a 280.000 euro + IVA.

#### **6.6.6 - Pagamenti.**

Il pagamento del prezzo riportato al punto -5- per ogni impianto a seguito di emissione di fattura con la precisazione che con ciò si intenderà definito e concordato senza eccezione alcuna, l'importo dei lavori eseguiti: sarà regolato dalle seguenti modalità:

- 30% + IVA alla firma del presente come anticipo, pagamento a 10 gg. dalla data fattura;
- 30% + IVA a realizzazione della turbina, pagamento a 30 gg. dalla data fattura;
- 15% + IVA alla posa della turbina, pagamento a 30 gg. dalla data fattura;
- 15% + IVA a completamento impianto, pagamento a 30 gg. dalla data fattura;
- 10% + IVA a messa in funzione e collaudo dell'impianto, pagamento a 60 gg. dalla data fattura.

Eventuali ritardi nei pagamenti comporteranno un interesse annuo del 9%. Qualora la posa in opera delle macchine dovesse protrarsi oltre i 5 mesi dalla loro realizzazione, questo comporterà il pagamento anticipato del suo 15%.

#### **6.6.7 - Osservanza delle normative di prevenzione infortuni ed igiene del lavoro.**

Il fornitore si assume l'obbligo di realizzare quanto convenuto a regola d'arte e di osservare e fare osservare al proprio personale tutte le norme di sicurezza e di igiene del lavoro vigenti con particolare riferimento al Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro D. Lgs 9 aprile 2008 n. 81 e successive integrazioni e le normative specifiche in relazione alla natura dei lavori oggetto del contratto, nonché le disposizioni e procedure aziendali di sicurezza vigenti all'interno del cantiere, delle leggi e dei regolamenti vigenti sugli impianti elettrici e delle norme del Comitato Elettrotecnico Italiano sulla costruzione degli impianti stessi.

Il fornitore dovrà consegnare il proprio POS (Piano Operativo della Sicurezza) nel quale dovrà essere indicato il nome del responsabile della sicurezza.

#### **6.6.8 - Collaudo.**

Con il termine collaudo si definiscono tutte le prove tecniche atte a soddisfare lo scopo della fornitura ed in particolare l'inserzione in parallelo con la rete del Gestore Pubblico (GSE). Il collaudo ufficiale si intende pertanto favorevolmente eseguito nel momento stesso in cui i Funzionari ENEL ed UTF certificano l'avvenuto parallelo rete con il rilascio delle autorizzazioni all'esercizio e l'esercizio dell'impianto per un periodo massimo di 30 giorni da effettuarsi al massimo entro 60 giorni dalla data di comunicazione da parte del Fornitore di ultimazione dei lavori.

#### **6.6.9 - Domicilio del fornitore.**

Il fornitore, a tutti gli effetti contrattuali, elegge domicilio speciale presso i propri uffici in cantiere dalla data della consegna del lavoro fino all'avvenuta accettazione definitiva o allo scioglimento del contratto.

Tutte le notifiche e/o comunicazioni possono comunque essere validamente indirizzate al

domicilio legale della ditta “Lumiei Impianti s.r.l.”.

#### **6.6.10 - Accettazione delle opere.**

Dopo la constatazione circa l'avvenuta ultimazione de lavoro vengono effettuate, alla data stabilita da Idro Fiumana srl, in presenza del fornitore le ulteriori constatazioni, verifiche e prove necessarie per accertare se le opere e le loro singole parti siano accettabili allo scopo di poter essere prese in consegna con facoltà di uso.

In caso affermativo viene redatto verbale di accettazione delle opere, controfirmato anche dal fornitore.

#### **6.6.11 - Controversie.**

Ogni controversia risultante o collegata a questo Contratto, o al preteso inadempimento dello stesso, dovrà essere risolta, se possibile, tra le parti negozialmente e senza formalità. Se alcun accordo si riesce a raggiungere tramite una trattativa informale, su richiesta scritta, ogni controversia può essere oggetto di un “Incontro al Vertice” tra le parti. Ai fini di questo incontro, “Idrofiumana s.r.l.” sarà rappresentata da Masotti Giovanni, o da un suo delegato e la “Lumiei Impiantis.r.l.” dal Sig. Schneider Fausto o da un suo delegato. L'incontro al Vertice dovrà tenersi entro 14 giorni, o altro termine che le parti concordino, dalla ricezione della richiesta scritta fatta da una delle parti. Per ogni controversia risultante o collegata a questo Contratto che non può essere risolta negozialmente, le parti irrevocabilmente riconoscono la giurisdizione esclusiva del Tribunale di Forlì Cesena (Italia).

#### **6.6.12 - IVA.**

Il presente contratto è soggetto ad IVA nella misura stabilita dalla Legge.

#### **6.6.13 - Durata.**

I lavori di realizzazione saranno ultimati entro 12 mesi dalla data del verbale di consegna, fatto salvo cause di forza maggiore.

#### **6.6.14 - Protezione dei dati personali.**

Ai sensi di quanto previsto nel decreto legislativo n. 196/2003 in materia di trattamento di dati personali, le parti dichiarano di essersi reciprocamente informate, prima della sottoscrizione del Contratto circa le modalità e le finalità dei trattamenti di dati personali che verranno effettuati per l'esecuzione del Contratto medesimo.

Ogni parte dichiara espressamente di acconsentire al trattamento da parte dell'altra dei propri dati per le finalità connesse all'esecuzione del Contratto.

Ai fini della suddetta normativa, le parti dichiarano che i dati personali forniti con il presente atto sono esatti e corrispondono al vero, esonerandosi reciprocamente da qualsivoglia responsabilità per errori materiali e di compilazione, ovvero per errori derivati da una inesatta imputazione dei dati stessi negli archivi elettronici e cartacei.

Il trattamento dei dati sarà improntato ai principi di correttezza, liceità e trasparenza e nel rispetto delle misure di sicurezza.

Con la sottoscrizione del Contratto, le parti dichiarano di essersi reciprocamente comunicate oralmente tutte le informative previste dall'art. 13 del D. Lgs. N. 196/2003, ivi comprese quelle relative ai nominativi del titolare e delle responsabile del trattamento, ai diritti di cui all'art. 7 del decreto medesimo ed alle modalità di esercizio di detti diritti.

## 6.7 Il contratto di gestione

Nel seguito si presenta la copia del contratto di gestione dell'impianto idroelettrico in oggetto stipulato tra "Idrofiumana s.r.l." ed "Amga Energia s.r.l."

### **Contratto di gestione di un impianto mini idroelettrico denominato "Fiumana" in comune di Predappio, provincia di Forlì-Cesena**

**tra:**

**IDROFIUMANA S.R.L.** con sede in San Mauro Pascoli (FC), via Due Martiri n.2, P. iva e C.F. 03954440404, qui rappresentata da MASOTTI GIOVANNI, nato a Forlì (FC) il 6 gennaio 1944, codice fiscale MST GNN 44A06 D704R, domiciliato per la carica presso la sede sociale, il quale dichiara di intervenire al presente atto, in qualità di Amministratore Unico (Committente);

**e:**

**AMGA ENERGIA SERVIZI srl.**, Società con sede in San Mauro Pascoli (FC), Via Due Martiri n. 2, iscritta al Registro delle Imprese della Provincia di Forlì-Cesena al n. di Codice Fiscale e Partita IVA 03503260402, rappresentata in questo atto dall'Ing. Mauro Massari, in qualità di Presidente e Amministratore Delegato della Società stessa; (Assuntore).

#### **Premesso che:**

- "Idrofiumana s.r.l." ha realizzato un impianto mini idroelettrico in Comune di Predappio, denominato "Fiumana sul Fiume Rabbi";
- è intenzione di "Idrofiumana s.r.l.", affidare ad "Amga Energia Servizi s.r.l." la gestione dell'impianto;
- con il presente atto si intendono regolare, definire e disciplinare le prestazioni richieste, le responsabilità affidate, nonché ogni altro rapporto tra le Parti, inerente l'oggetto del presente rapporto.

#### **Tutto ciò premesso si conviene e si stipula quanto segue:**

##### **6.7.1 - Oggetto del contratto**

"Amga Energia Servizi s.r.l." effettuerà la gestione operativa dell'impianto mini idroelettrico sul Fiume Rabbi, denominato Fiumana, mediante la gestione di:

- a) punto di presa,
- b) condotta di adduzione,
- c) turbina idroelettrica,
- d) generatore sincrono,
- e) regolatore a carico costante resistivo,
- f) dissipatore di acqua.

##### **6.7.2 - Durata**

La durata della presente scrittura decorre dal momento della stipula sino al 31.12. 2034.

##### **6.7.3 - Compiti dell'Assuntore**

Attività di carattere burocratico ed amministrativo:

"Amga Energia Servizi s.r.l." provvederà a verificare tutta la documentazione necessaria per il corretto adempimento delle pratiche formali per il riconoscimento e la valorizzazione dell'energia prodotta. In particolare dovrà provvedere nei confronti di:

- *ENEL Distribuzione*: verifica di allacciamento alla rete di trasmissione nazionale. Assistenza contrattuale nella stesura del regolamento di esercizio.
- *Ufficio Tecnico di Finanza (UTF)*: verifica denunce di apertura di prima officina, verifica di fornitura ed installazione dei gruppi di misura.
- *Gestore Servizi Elettrici (GSE)*: verifica delle procedure per l'ottenimento ed il rilascio dell'autorizzazione alla cessione dell'energia.

L'esercizio dell'impianto comprenderà l'effettuazione di tutte le manovre, comandi, registrazioni, trasferimento dati ecc. necessari a garantire la produzione idroelettrica. Il funzionamento della centrale sarà garantito dal sistema di gestione automatico che provvederà anche a scegliere l'assetto di funzionamento migliore. Il funzionamento in manuale sarà garantito nei casi eccezionali con impostazioni in loco dei parametri e presa visione diretta degli operatori. L'Assuntore provvederà quotidianamente alla verifica dei parametri di funzionamento ed alla registrazione delle grandezze. La compilazione del Registro di Centrale sarà effettuato dall'assuntore attraverso gli opportuni accessi alla centrale. L'Assuntore provvederà a predisporre periodicamente dati e relazioni sull'andamento della produzione, anche con grafici. Gli allarmi e le anomalie saranno gestiti dall'Assuntore che, in base ad un manuale di conduzione rilasciato dal costruttore, provvederà ai ripristini ed alle eventuali operazioni di eliminazione. L'Assuntore dovrà eseguire gli interventi di riattivazione turbina causati da fuori servizio di qualsiasi natura. Dovrà essere segnalato al Committente ogni eventuale condizione di malfunzionamento dell'impianto che possa costituire violazioni in materia di sicurezza e tutela ambientale. La verifica dell'opera di presa sarà effettuata tramite fotocamera e/o attraverso l'analisi dell'andamento della produzione, la pulizia delle griglie dell'opera di presa sarà garantita dall'Assuntore, mediante accesso sul posto tutte le volte che la situazione lo richieda, con propri mezzi e materiali. Per la conduzione dell'impianto dovranno essere forniti i manuali di conduzione e manutenzione, sviluppati dall'Assuntore a partire dai manuali forniti dalle ditte fornitrici delle opere elettromeccaniche e messi a disposizione dell'Assuntore da parte del Committente unitamente agli schemi di impianto. Sarà in capo ad "Amga Energia Servizi s.r.l.", la gestione operativa dell'impianto mini idroelettrico, curando la produzione e la vendita di energia elettrica.

L'Assuntore provvederà a compilare e consegnare tutta la documentazione necessaria per il corretto adempimento delle pratiche formali periodiche per il riconoscimento e la valorizzazione dell'energia prodotta. In particolare dovrà provvedere alla trasmissione dei dati all'UTF, alle denunce alla Provincia, alla verifica dei pagamenti delle concessioni per l'utilizzo delle acque, alla trasmissione a GSE, TERNA, AEEG di quanto previsto dalla vigente normativa.

Il controllo dell'impianto di centrale e delle opere di presa, con sopralluoghi, tramite sistema di telecontrollo GSM, tramite fotocamere di sorveglianza.

In particolare l'Assuntore effettuerà controlli:

- giornalieri di efficienza, sicurezza e produttività dell'impianto e dello stato di pulizia della griglia e delle condizioni ambientali esterne del territorio incidente con l'impianto;
- settimanalmente saranno effettuati sopralluoghi sugli impianti controllando la funzionalità dei sistemi elettromeccanici, della strumentazione e delle apparecchiature di regolazione;
- mensilmente verranno effettuati controlli scrupolosi sui cinematismi delle valvole, tegoli, iniettori, centraline oleodinamiche e organi di attuazione;

- trimestralmente dovranno essere verificate le morsettiere, i cablaggi e le eventuali vibrazioni degli organi in movimento;
- annualmente lo stato di degrado delle opere edili e delle strutture.

L'Assuntore provvederà regolarmente alla pulizia di sghiaiatore e dissabbiatore. Qualora, in conseguenza dei controlli di cui sopra ed a seguito di eventi meteorologici particolari, se ne riscontrasse la necessità, dovrà effettuare interventi straordinari di pulizia, senza nulla pretendere.

#### **6.7.4 - Gli interventi programmati:**

Verranno effettuati oltre all'esercizio della centrale tutte le manutenzioni programmate così come dettato dai costruttori ed in modo esemplificativo, ma non esaustivo:

- 1) il rabbocco dell'olio della centralina;
- 2) la sostituzione dei filtri della centralina (secondo le specifiche del costruttore);
- 3) l'ingrassaggio delle parti in movimento, generatori, valvole, ecc;
- 4) la pulizia dei locali macchina, delle macchine elettriche, la manutenzione ordinaria agli stabili e riverniciatura dei serramenti;
- 5) la lettura mensile dei contatori energia e trasmissione dati al Committente ed agli altri Enti interessati;
- 6) l'effettuazione periodica delle prove di verifica ai fini della sicurezza e degli strumenti di misura.

#### **6.7.5 - Automazione e Videosorveglianza**

L'impianto è completamente automatizzato con l'utilizzo di apposito software, gestibile da remoto.

La gestione automatica delle apparecchiature provvederà anche a scegliere l'assetto di funzionamento migliore in funzione delle portate. L'intervento per modifiche del software di gestione sarà eseguito dal fornitore su segnalazione dell'Assuntore, previa autorizzazione del Committente.

#### **6.7.6 - Reperibilità e pronto intervento**

L'Assuntore garantisce la reperibilità 24 ore su 24 per tutto il periodo di funzionamento dell'impianto, con personale tecnico idoneo ad effettuare tutti gli interventi di riparazione guasti o pulizia griglie che si rendessero necessari. L'intervento di riparazione guasti dovrà avvenire entro almeno quattro ore successive alla loro individuazione o segnalazione, con propri mezzi o materiali. Nel caso in cui vi è interruzione della viabilità d'accesso, la tempistica potrà essere superiore in funzione della situazione dei luoghi e della gravità del guasto.

Le segnalazioni d'allarme e gli interventi saranno riportati su apposito registro così come tutti i controlli e le osservazioni utili a decidere eventuali ulteriori interventi/migliorie che si rendessero necessarie.

#### **6.7.7 - Assunzione degli obblighi e delle responsabilità**

“Amga Energia Servizi s.r.l.” contemporaneamente alla stipula del contratto dovrà consegnare al “Idrofiumana” idonee polizze assicurative in materia di RCT e RCO. “Amga Energia Servizi s.r.l.” assumerà ogni rischio connesso all'esercizio del servizio con trasferimento totale della responsabilità di gestione stessa dal Committente all'Assuntore.

Per lo svolgimento dei suddetti compiti l'Assuntore fornirà adeguato piano di sicurezza, elenco e posizione assicurativa del personale impiegato. Trattandosi di concessione di servizi, l'Assuntore assume in sé ogni onere e responsabilità in materia di sicurezza ed obbli-



ghi ai sensi del DLgs 81/2008, sia con riferimento agli utenti sia con riferimento al personale.

“Amga Energia Servizi s.r.l.” deve assicurare la corretta realizzazione ed il corretto funzionamento d’esercizio attraverso una gestione efficiente secondo le soluzioni individuate nel progetto. Nel rispetto delle disposizioni di cui alla Norma CEI 11-27/1, il personale che opera in centrale dovrà possedere i requisiti certificati di Persona Idonea (PEI), Persona Esperta (PES) e Persona Avvertita (PAV) per eseguire lavori elettrici fuori tensione e sotto tensione in bassa tensione, in prossimità in bassa ed alta tensione, fuori tensione in alta tensione.

#### **6.7.8 - Corrispettivi**

Il corrispettivo da riconoscere ad “Amga Energia Servizi s.r.l.” per la gestione dell’impianto sarà pari a Euro 15.000,00 + iva all’anno. Detto corrispettivo verrà riconosciuto in due rate pari a Euro 7.500,00 + iva. al 30.06 ed al 31.12.

#### **6.7.9 - Spese ed oneri contrattuali**

Tutte le spese inerenti e conseguenti alla stipulazione e registrazione del presente contratto sono a carico della parte richiedente.

#### **6.7.10 - Protezione dei dati personali**

Ai sensi di quanto previsto nel decreto legislativo n. 196/2003 in materia di trattamento di dati personali, le parti dichiarano di essersi reciprocamente informate, prima della sottoscrizione del Contratto circa le modalità e le finalità dei trattamenti di dati personali che verranno effettuati per l’esecuzione del Contratto medesimo.

Ogni parte dichiara espressamente di acconsentire al trattamento da parte dell’altra dei propri dati per le finalità connesse all’esecuzione del Contratto.

Ai fini della suddetta normativa, le parti dichiarano che i dati personali forniti con il presente atto sono esatti e corrispondono al vero, esonerandosi reciprocamente da qualsivoglia responsabilità per errori materiali e di compilazione, ovvero per errori derivati da una inesatta imputazione dei dati stessi negli archivi elettronici e cartacei.

Il trattamento dei dati sarà improntato ai principi di correttezza, liceità e trasparenza e nel rispetto delle misure di sicurezza.

Con la sottoscrizione del Contratto, le parti dichiarano di essersi reciprocamente comunicate oralmente tutte le informative previste dall’art. 13 del D. Lgs. N. 196/2003, ivi comprese quelle relative ai nominativi del titolare e delle responsabile del trattamento, ai diritti di cui all’art. 7 del decreto medesimo ed alle modalità di esercizio di detti diritti.

#### **6.7.11 - Foro competente**

Qualora dovessero insorgere controversie in relazione alla presente scrittura privata, sarà competente il Foro di Forlì-Cesena.

#### **6.7.12 - Rinvio**

Per tutto quanto non espressamente previsto nella presente scrittura si fa espresso rinvio alla suddetta “Convenzione”.

## Conclusioni

In definitiva quello presentato in questa tesi è il lavoro di concepimento e progettazione di un impianto mini-idroelettrico ad acqua fluente, con una speciale attenzione alle opere di presa necessarie al corretto funzionamento dello stesso.

Partendo dalla presentazione dell'energia idroelettrica e di come essa è inquadrata nel panorama mondiale e italiano, nel quale si possiede una solida realtà storica, si è cercato di evidenziare l'effettiva convenienza alla base di un investimento simile ed i motivi per cui attualmente un numero sempre più elevato di società ne stiano considerando l'installazione. Scendendo in ambito meccanico, si è esposta un'analisi prettamente teorica dei principi di funzionamento di una turbina idraulica e si è potuta così discutere la scelta della stessa in base a criteri operativi inerenti il salto disponibile e la portata, seguita da uno studio di fattibilità per la decisione della potenza da installare imperniato su un'attenta ricerca dei dati idrologici e sulle potenzialità che essi permettono di ottenere.

L'attenzione si è quindi spostata sull'operato sperimentale svolto sulla conformazione dell'opera di presa e sullo studio dettagliato delle varie parti della stessa, sempre mirando ad ottenere il miglior compromesso qualità-costo ed avendo come fine ultimo il più alto utile annuo ottenibile; un primo passo è consistito nella visita ad impianti già operativi in territorio romagnolo alla ricerca di soluzioni ingegneristiche alle problematiche più comuni, tenendo però sempre in considerazione che ogni fiume possiede caratteristiche di corrente e grado di impurità proprie, al più simili a quelle di altri corsi d'acqua, e che quindi la progettazione assume peculiarità diverse per ogni contesto; il passaggio successivo ha visto la scelta e l'ottimizzazione di tutti i parametri decisionali, ponendo in parallelo la ricerca della minor perdita energetica possibile e dell'investimento più conveniente tramite l'esecuzione di una serie di studi di fattibilità.

Al fine di rendere una più chiara visione d'insieme sono stati inseriti i progetti esecutivi, le autorizzazioni ed i contratti necessari per permettere la realizzazione di un sistema per la produzione di energia idroelettrica, i quali intrinsecamente racchiudono la forma definitiva presentata dall'impianto che sarà costruito nei prossimi mesi.

Qui si pone il termine della tesi. Nella speranza che sia stata interessante ed esaustiva, che abbia reso chiari i passaggi per la progettazione di un impianto mini-idroelettrico ad acqua fluente e delle sue opere di presa a chiunque la consulti, si porgono sentiti ringraziamenti a tutte le persone ed aziende che hanno contribuito alla stesura della stessa.



## Bibliografia

- [1] Penche C., 1998,  
“Guida all’idroelettrico minore”  
European Small Hydropower Association (ESHA), per la Commissione delle Comunità Europee, Direktorat General per l’Energia, Bruxelles, Belgio.
- [2] Aggiornamento datato 2007 della guida sopra
- [3] Raggi L., Mazzoli P., luglio 2010  
“Stralcio sulla stima delle curve di durata e sui dimensionamenti idraulici delle sezioni di presa”  
Forlì (FC)
- [4] Raggi L., Mazzoli P., novembre 2010  
“Relazione Generale e Relazione Tecnica ai sensi del R.R. 41 2001”  
Energia e Servizi s.r.l., San Mauro Pascoli (FC)
- [5] Flamigni M., marzo 2011  
“Relazione geologica per progetto di impianto micro-idroelettrico da realizzarsi sul fiume Rabbi in località Fiumana”  
Energia e Servizi s.r.l., San Mauro Pascoli (FC)
- [6] Anghileri C., Ghisla F., settembre 2012,  
“Turbine Kaplan”  
Energie, pagg. 16-19
- [7] De Martino G. A., 1949  
“Di un tipo di opera di presa da torrenti”  
L’energia elettrica, fascicolo I, volume XXVI
- [8] Miccoli C., novembre 2011  
“Rilascio di concessione di derivazione di acqua pubblica superficiale con procedura ordinaria per uso idroelettrico dal fiume Rabbi, in località Fiumana del comune di Predappio”  
Servizio tecnico di bacino Romagna, direzione generale ambiente e difesa del suolo e della costa
- [9] gruppo “Hobas”, 2012  
- “Proprietà del materiale”  
- “Tubi a gravità”  
- “Technical product data, tubazioni a gravità PN1”  
- “Design Guideline, general”  
- “la griglia Coanda”  
- “flow resistant chart”
- [10] Becciu G., politecnico di Milano  
“Canali e condotte a pelo libero”  
corso di Costruzioni idrauliche I

- [11] Malavasi S., politecnico di Milano, 2000  
“Moto nelle condotte in pressione”  
corso di Meccanica dei fluidi
- [12] [www.diiar.polimi.it](http://www.diiar.polimi.it)  
“Colpo d’ariete”
- [13] [www.diac.poliba.it](http://www.diac.poliba.it)  
“Blocchi di ancoraggio”
- [14] Gregoretti C., 2008  
“Idraulica”  
capitolo 5, Efflusso da luci
- [15] Ditta “Terry Ferraris & C.”, 2012  
“Strumenti per l’automazione del controllo e della gestione delle acque”  
Milano