

# DAM ENGINEERING

Franco Robotti, Agisco S.r.l, Italy

## L'IMPIEGO DI MODERNE TECNICHE DI CONTROLLO PER LA GESTIONE DEGLI SBARRAMENTI

### Abstract

Il controllo e la gestione di una diga richiede la disponibilità di una serie importante di informazioni provenienti dagli strumenti di misura installati.

L'insieme delle informazioni che potenzialmente possono arrivare al centro di controllo di uno sbarramento è piuttosto vario: si va dal semplice livello di invaso fino al modello idraulico del bacino ed a sistemi di ausilio per la laminazione delle piene.

Per gestire in modo ordinato e sicuro l'insieme di tutti i dati raccolti da unità di acquisizione e trasmissione (RAD), l'Agisco ha di recente sviluppato una suite di applicativi software denominata *OverSight*.

Mediante l'impiego di *OverSight*, che risiede su un server (locale o remoto), si riesce a controllare lo stato di funzionamento dei sensori installati, realizzare una banca dati **dinamica**, per la salvaguardia di tutti i dati, a gestire l'apertura degli scarichi, a creare report periodici da fornire agli organi di controllo, ad attuare la migliore procedura per la laminazione di un'onda in arrivo o ad alimentare modelli strutturali. Questi ed altri vantaggi si ottengono impiegando *OverSight*.

E' così possibile aiutare il Gestore della diga nell'intento di preservare la ricchezza idrica disponibile ottimizzando le operazioni grazie alla suite *OverSight* riducendo al minimo il possibile errore umano.

Nell'intento di mettere a disposizione delle dighe e di altre strutture speciali, un telecoordinometro molto affidabile e di bassissimo costo, l'Agisco, in collaborazione con altre società europee, ha realizzato uno strumento per la misura della posizione del filo a piombo dei pendoli diritti e rovesci. Questo progetto è stato finanziato dalla Commissione Europea con il nome di "PLUS".

Esso combina il vantaggio economico con un'elevata precisione di misura, affidabilità di funzionamento e robustezza. Le dimensioni ridotte gli permettono di essere montato con facilità anche in spazi ristretti e di difficile accesso.

## Introduzione

Per il controllo una diga è indispensabile disporre di un'ampia serie di informazioni provenienti dalla strumentazione installata. L'ingegnere responsabile deve avere a disposizione tutti i mezzi che lo possano coadiuvare nel prendere le dovute e tempestive decisioni per gestire al meglio l'invaso e l'intera struttura.

Attraverso la previsione dei molteplici scenari che si potranno presentare, il responsabile della diga può riuscire a gestire lo sbarramento in condizioni di sicurezza con lo scopo salvaguardare in patrimonio di acqua disponibile garantendo, nel contempo, un sensibile risparmio economico e la salvaguardia dell'ambiente soprattutto a valle dello sbarramento.

Le apparecchiature di misura impiegate sono di molteplici tipologie ed idonee a registrare differenti caratteristiche della struttura. In funzione della dimensione dello sbarramento e della complessità della struttura viene installato un adeguato sistema di controllo in grado di fornire un quadro significativo dell'andamento della diga.



Figura 1: Diga Cantoniera sul fiume Tisro

La conoscenza profonda del comportamento strutturale ed idraulico dell'intero sistema richiede però un'approfondita ed esperta analisi dei dati acquisiti; inoltre un'efficace comparazione tra le varie misure è spesso necessaria per elaborare una precisa fotografia della struttura. L'insieme delle informazioni necessarie e utili è piuttosto ampio; dal semplice livello di invaso fino al modello strutturale della diga o addirittura al modello idraulico del bacino alimentato dalle previsioni meteorologiche della zona.

Il presupposto fondamentale per una corretta gestione di uno sbarramento è quello di disporre di un sistema che garantisca l'acquisizione di informazioni di assoluta affidabilità e la conservazione dei dati in modo sicuro.

Le informazioni che giungono al Centro di Controllo di uno sbarramento sono di diversa natura e di diversa importanza. Le più significative riguardano:

- lo stato attuale e futuro dell'invaso (livelli, precipitazioni in atto, portate, piene previste)
- le previsioni meteorologiche
- il comportamento strutturale ed idraulico dello sbarramento (rotazioni, deformazioni, perdite, sottopressioni, ecc.)
- il comportamento presunto della struttura mediante modellizzazione numerica e/o sperimentale
- lo stato delle paratoie e la portata degli scarichi
- le ispezioni visive agli organi e alle strutture principali dello sbarramento
- i rapporti sulle attività di manutenzione delle apparecchiature elettromeccaniche e della strumentazione di controllo
- la sorveglianza in tempo reale, ad esempio con telecamere, dei punti vitali della diga.

Tutte queste informazioni dovranno essere gestite e memorizzate in una unica banca dati relazionale che ne permetta l'accesso in tempi rapidi e facili sia da parte degli operatori in loco che da parte di esperti da remoto. In tal modo tutte le operazioni avranno un unico punto di partenza costituito dal data base di riferimento pur permettendo ai tecnici di lavorare anche da distanza e con strumenti ben più complessi di quelli residenti in diga. Si ottimizzeranno così tutte le operazioni che potranno essere svolte quasi in tempo reale ed a qualsiasi livello di complessità.

Il sistema di gestione dei dati, installato in loco, sarà in grado di acquisire e di memorizzare tutti i dati e le informazioni provenienti da tutta la strumentazione installata sia che essa sia letta in forma automatica che manuale come ad esempio le misure topografiche. E' necessario memorizzare tutte le misure in una banca dati georeferenziata per essere in grado di effettuare tutte le correlazioni necessarie tra grandezze con gli stessi riferimenti temporali e spaziali.

## Il Sistema di Controllo

L'architettura del Sistema viene adattata al tipo di sbarramento e di fondazioni ed è principalmente composta da:

- sensori ubicati nei vari punti della struttura e delle fondazioni per la misura di deformazioni, cedimenti, rotazioni, portate, ecc.
- uno o più sistemi di acquisizione dati preferibilmente posizionati in modo baricentrico rispetto ai sensori (per minimizzare cavi e disturbi sulle misure)
- collegamenti tra sensori, sistemi periferici e sistema centrale mediante cavi in rame o fibre ottiche con trasmissione dei dati di tipo analogico o digitale
- server centrale di adeguata capacità che svolge tutte le fasi di gestione delle informazioni; in particolare di acquisizione, elaborazione, memorizzazione e rappresentazione grafica dei dati
- dispositivi di trasmissione quali modem e display per garantire una visibilità anche remota del Centro di Controllo

Il compito principale del Sistema di Controllo è quello di acquisire i dati e di metterli a disposizione, in tempo reale, sotto forma di valori e diagrammi per la verifica del corretto funzionamento dello sbarramento dal punto di vista strutturale ed idraulico nonché per la produzione di rapporti periodici da fornire agli Organismi di Controllo.

Nel server sono memorizzate tutte le informazioni pervenute sia direttamente dalle misure sia dai vari tipi di interventi e lavori effettuati allo sbarramento. Tali informazioni saranno inoltre memorizzate in modo permanente mediante l'impiego di adeguati sistemi di salvataggio.

Agisco ha sviluppato una famiglia di prodotti software denominata OverSight che viene personalizzata a seconda della diga e delle esigenze del cliente.

In particolare sul server centrale risiede l'applicativo software di base, detto OverDam, per la gestione e la rappresentazione dei dati, che interagisce col database SQL Server garantendo rapidità e sicurezza.

Overdam è un potente software di raccolta, memorizzazione e prima elaborazione di tutte le misure effettuate in diga.

Overdam è stato concepito per essere impiegabile in qualunque tipologia di sbarramento ed ha già avuto significativi esempi di applicazione in alcune dighe.

Attraverso un front-end di driver completamente trasparenti all'utente, Overdam è in grado di acquisire, a qualsiasi frequenza, misure automatiche provenienti da qualsiasi tipologia di sensore attraverso differenti tipi di comunicazione quali linea seriale, fibra ottica, GSM, cavo coassiale, sistemi WiFi, anche tutti in contemporanea.

Overdam inoltre può ricevere misure manuali raccolte in file Excel o di testo o immesse nel computer direttamente da tastiera.

## Gli altri applicativi della famiglia OverDam

Recentemente è stato sviluppato il pacchetto software OverFlood che permette di simulare la regolazione degli scarichi e di verificarne in anticipo l'efficacia.

Il pacchetto OverFlood è costituito dai seguenti applicativi:

- CCP – Centro Controllo Piene
- CLP – Centro Laminazione Piene
- FloodMan

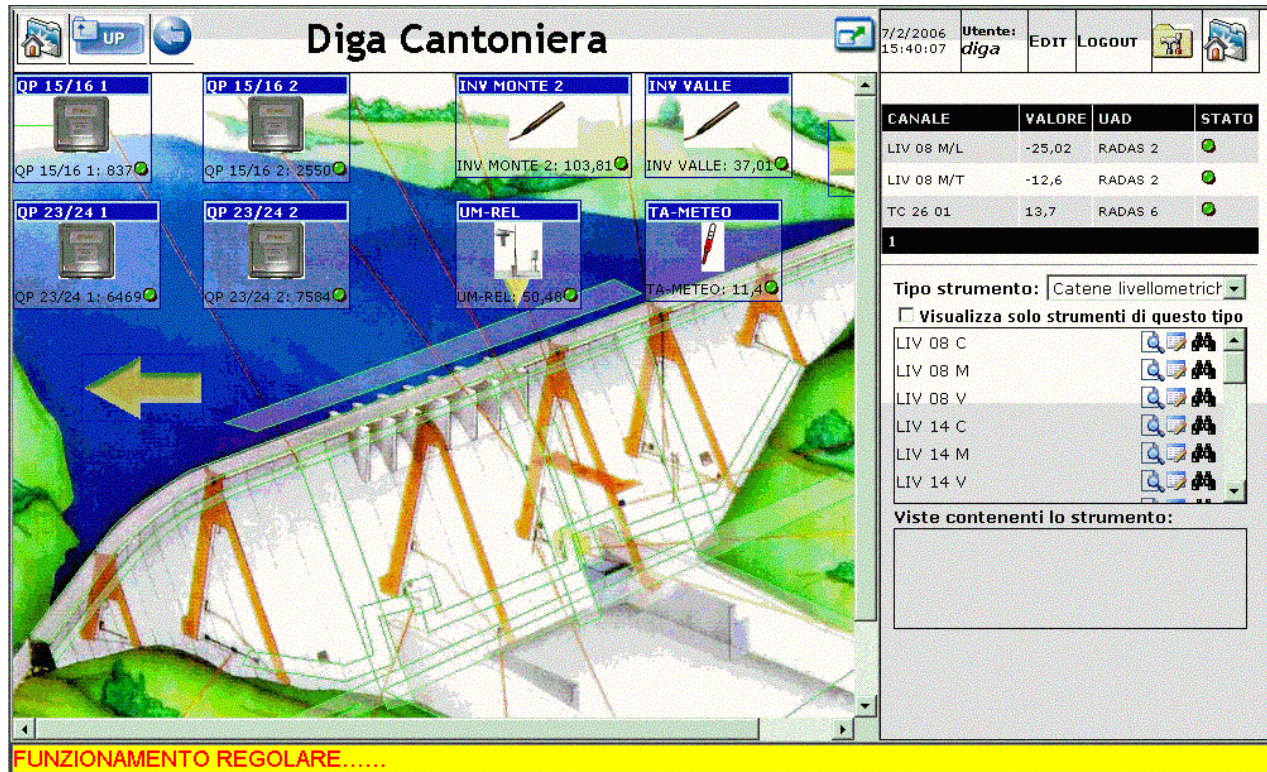


Figura 2: schermata di navigazione dell'applicativo OverDam

CCP è un programma in grado di calcolare le piene in arrivo allo sbarramento in base ai dati pluviometrici acquisiti da stazioni posizionate nel bacino oppure, più recentemente, utilizzando le previsioni di pioggia nei differenti punti del bacino. Mediante l'impiego del modello idraulico del bacino si ottiene l'idrogramma di piena allo sbarramento e quindi le informazioni che permetteranno di gestire al meglio le situazioni in essere.

CLP è un programma che permette di simulare le possibili configurazioni che gli scarichi assumeranno nel tempo durante un significativo evento meteorologico verificandone istantaneamente l'efficacia e potendo memorizzare le configurazioni più utili e verosimili alla miglior soluzione degli eventi di piena.

FloodMan è un programma sviluppato in collaborazione con lo Studio Lombardi di Minusio grazie al quale è possibile far sperimentare al Responsabile della diga ed i suoi collaboratori, differenti modalità di gestione degli scarichi in presenza di un evento di piena partendo solamente dalla conoscenza del livello di invaso e delle sue variazioni. Tale simulazione può avvenire in tempo reale oppure con tempistiche variabili. Le differenti sequenze delle manovre eseguite sugli scarichi potranno venire salvate per consultazione in tempi successivi.

E' ora possibile, mediante una o più webcam controllare con continuità alcuni punti strategici della diga da qualsiasi postazione remota dotata di accesso a Internet. Sarà quindi possibile, per esempio, tenere in continuazione sotto controllo il comportamento degli scarichi, lo stato effettivo dei comandi e gli accessi alla diga nonché seguire in tempo reale ed in diretta l'andamento di alcuni fenomeni utilizzando webcam wireless. I dati delle webcam sono integrati nel Sistema di Controllo tramite l'applicativo OverCam che ne permette inoltre una eventuale memorizzazione.

L'applicativo SafeDam, anch'esso integrato in OverDam e nel Sistema di Controllo, riassume in tempo reale e su un unico display i dati relativi al comportamento dello sbarramento per quanto concerne il livello di invaso, lo stato di apertura degli organi di scarico e tutte le principali informazioni ritenute necessarie per una corretta gestione dello sbarramento.

La visualizzazione può essere ubicata in diga nel Centro di Controllo e replicata o facilmente altrove, ad esempio presso la sede del Gestore, o dovunque sia disponibile una linea di trasmissione a banda larga.

La misura delle deformazioni orizzontali al piede della diga richiede l'esecuzione di perforazioni particolarmente verticali e costose ove ubicare i fili dei pendoli rovesci.

Al fine di facilitare la misura utilizzando perforazioni comuni di piccolo diametro e costo ridotto Agisco ha sviluppato un nuovo software "Eclipse" che permette di ricostruire la verticale inclinometrica a partire da un numero contenuto di punti di misura (6-8) costituiti da una catena di sonde inclinometriche.

Si tratta di un algoritmo basato sulla teoria dell'interpolazione polinomiale e sulla teoria della linea elastica: utilizzando le coordinate dei punti di misura e i valori delle rotazioni misurate dagli inclinometri, il programma presenta in output la deformata della tubazione inclinometrica (ricostruita con una tecnica di calcolo numerico di interpolazione polinomiale a tratti). Grazie al software Eclipse è oggi possibile impiegare le sonde inclinometriche per il monitoraggio degli sbarramenti disponendo della medesima accuratezza dei pendoli rovesci.

L'applicativo Dam Explorer è stato sviluppato per simulare una vera ispezione in diga con l'esecuzione di misura in tempo reale ai singoli strumenti distribuiti nei vari punti dello sbarramento.

Con semplici comandi da tastiera e mouse è possibile navigare all'interno di tutta la struttura per visionare gli strumenti installati e le unità di acquisizione dati. Dam Explorer, connesso ad Overdam, è in grado di mostrare le misure e lo stato degli strumenti in tempo reale memorizzandone i risultati.



## **Visualizzazione, gestione e controllo del sistema di monitoraggio da remoto**

Overdam, così come tutti i prodotti della famiglia "Oversight", basa la propria interfaccia utente su piattaforma Inet Pub.

Tale speciale accorgimento software rende i vari applicativi software, in tutte le schermate e finestre delle loro interfacce utente, oggetti pronti per essere condivisi in Internet.

Avendo a disposizione una linea di comunicazione dati (Modem telefonico, ISDN o ADSL) è dunque possibile condividere le informazioni del database di Overdam con postazioni remote.

Overdam ha già incluse tutte le funzionalità per una gestione protetta di tutte le impostazioni da utenti remoti.

Si possono realizzare connessioni da remoto personalizzate del sistema.

In particolare è possibile instaurare un collegamento dedicato tra una sola postazione remota, ubicata ad esempio presso il Centro di Gestione della diga, ed il server dello sbarramento o ampliare il numero di utenti remoti possibili fino ad una pubblicazione integrale di Overdam su un sito web pubblico accessibile da qualsiasi parte del mondo.

E' ovviamente possibile gestire con differenti gradi di protezione la sicurezza delle informazioni condivise in rete.

E' facilmente impostabile e personalizzabile la quantità ed il tipo di informazioni da condividere in rete, si possono mostrare, ad esempio, ad utenti autorizzati alcune informazioni ed altri no, o solo quelle relative ad alcuni tipi di strumenti; oppure mostrare in chiaro i diagrammi ma non i dati in formato numerico.

Overdam è in grado di generare report automatici esportando ad intervalli di tempo qualsiasi le informazioni contenute nel database rendendole disponibili in tutti i formati standard di esportazione, ad esempio excel, testo formattato, pagine html o altri.

Ogni documento prodotto da Overdam può essere automaticamente pubblicato in Internet o inviato attraverso posta elettronica a destinatari preimpostati.

L'aggiornamento delle informazioni e dei diagrammi disponibili alle postazioni remote è fortemente condizionato dal tipo di connessione disponibile presso la diga e alla postazione remota.

Nello specifico la connessione presso lo sbarramento potrebbe condizionare l'eventuale sfasamento temporale tra i dati al server dello sbarramento e quelli disponibili a distanza. Tale sfasamento sarebbe azzerato in presenza di una linea ADSL mentre una linea ISDN potrebbe assicurare al massimo un aggiornamento quotidiano delle informazioni di rete. La velocità di connessione delle postazioni remote condiziona invece la velocità di navigazione all'interno dell'interfaccia Overdam del singolo utente remoto.

## Overflood per la gestione dell'onda di piena allo sbarramento

OverFlood è un applicativo robusto e potente che aiuta l'operatore a gestire l'onda di piena agendo sugli scarichi. Per ragioni di calcolo e di sicurezza gira su un PC dedicato in rete con il server su cui è installato OverDam e il database. OverFlood è costituito dai tre seguenti programmi:

1. CCP – Centro Controllo Piene (o CCP 1° fase)
2. CLP – Centro Laminazione Piene (o CCP 2° fase)
3. FloodMan

1. Il CCP è un programma che permette di calcolare l'onda di piena in arrivo allo sbarramento, esso tiene conto dei dati pluviometrici e interagisce con un modello matematico appositamente realizzato in base alla forma del bacino e alle caratteristiche del terreno.

Il pannello di controllo del CCP (per la configurazione delle soglie di attivazione, dei pluviometri e degli allarmi) è sempre attivo mentre l'interrogazione delle stazioni pluviometriche avviene con frequenza regolare (per es. 1 ora). Quando vengono superati i valori di soglia dei pluviometri, i dati di pioggia vanno ad alimentare il modello matematico e i risultati dell'elaborazione sono salvati nel database sul server e visualizzati nel CCP con un grafico portate/tempo.

2. Il CLP è sempre attivo e pronto a ricevere in ingresso l'onda di piena del CCP. In base alla tipologia programmata di scarichi da utilizzare e all'apertura degli stessi è possibile ottenere la previsione di un'onda di piena laminata. Con differenti gradi di apertura degli scarichi nel tempo si otterranno curve di laminazione differenti; tale esercizio aiuta a decidere come meglio agire per laminare una piena in arrivo. CCP e CLP sono due robusti programmi realizzati per supportare l'operatore durante l'azionamento degli scarichi conoscendo in anticipo il quantitativo d'acqua in arrivo allo sbarramento.
3. FloodMan è invece uno strumento realizzato per simulare la laminazione di un'onda di piena fittizia agendo sempre sull'apertura degli scarichi nel tempo. Esso rappresenta un utile esercizio per l'operatore ma non tiene conto della reale situazione delle piogge, del bacino, degli scarichi e dello sbarramento in generale. La simulazione riguarda onde di piena teoriche.

## Overcam per un occhio sempre aperto sullo sbarramento

OverCam è un applicativo molto usato per il monitoraggio delle dighe. Esso permette di integrare i dati provenienti da WebCam dislocate nell'area della diga con l'applicativo OverDam residente sul server.

Sfruttando l'occhio sempre aperto di telecamere è possibile tenere sotto controllo punti strategici come gli accessi allo sbarramento, lo stato degli scarichi, il livello di invaso, lo stato dei comandi...



Le più avanzate e moderne WebCam non necessitano di HW dedicato o SW aggiuntivo (consigliato OverCam per colloquiare con OverDam) in quanto il sistema esperto è interamente integrato nella telecamera stessa e il trasferimento dati avviene automaticamente con un carico ridotto della rete. Eventi di allarme del tipo motion-detection (per es: apertura di porte) o del tipo sensor-detection (superamento della soglia di allarme di uno strumento di misura) possono essere diretti ad un telefono cellulare, ad un server o a palmari via GSM, ISDN o ethernet sia su rame sia su fibra ottica.

E' realistico pensare di raggiungere ogni singolo anfratto della diga e permettere al Responsabile di effettuare check completi in tempi rapidi e senza muoversi dal proprio ufficio grazie a connessioni wireless e un sistema di microfoni e altoparlanti integrati. I sopralluoghi del Responsabile allo sbarramento sono pertanto ridotti al minimo e spesso ci si potrà limitare a guidare un tecnico all'interno della diga potendo vedere ciò che vede lui.



## **ECLIPSE Programma di elaborazione automatico di curve inclinometriche per punti**

AGISCO ha sviluppato e collaudato sul campo un potente software che permette di ricostruire (con la stessa accuratezza della sonda inclinometrica) la verticale inclinometrica avendo a disposizione anche pochi punti di misura.

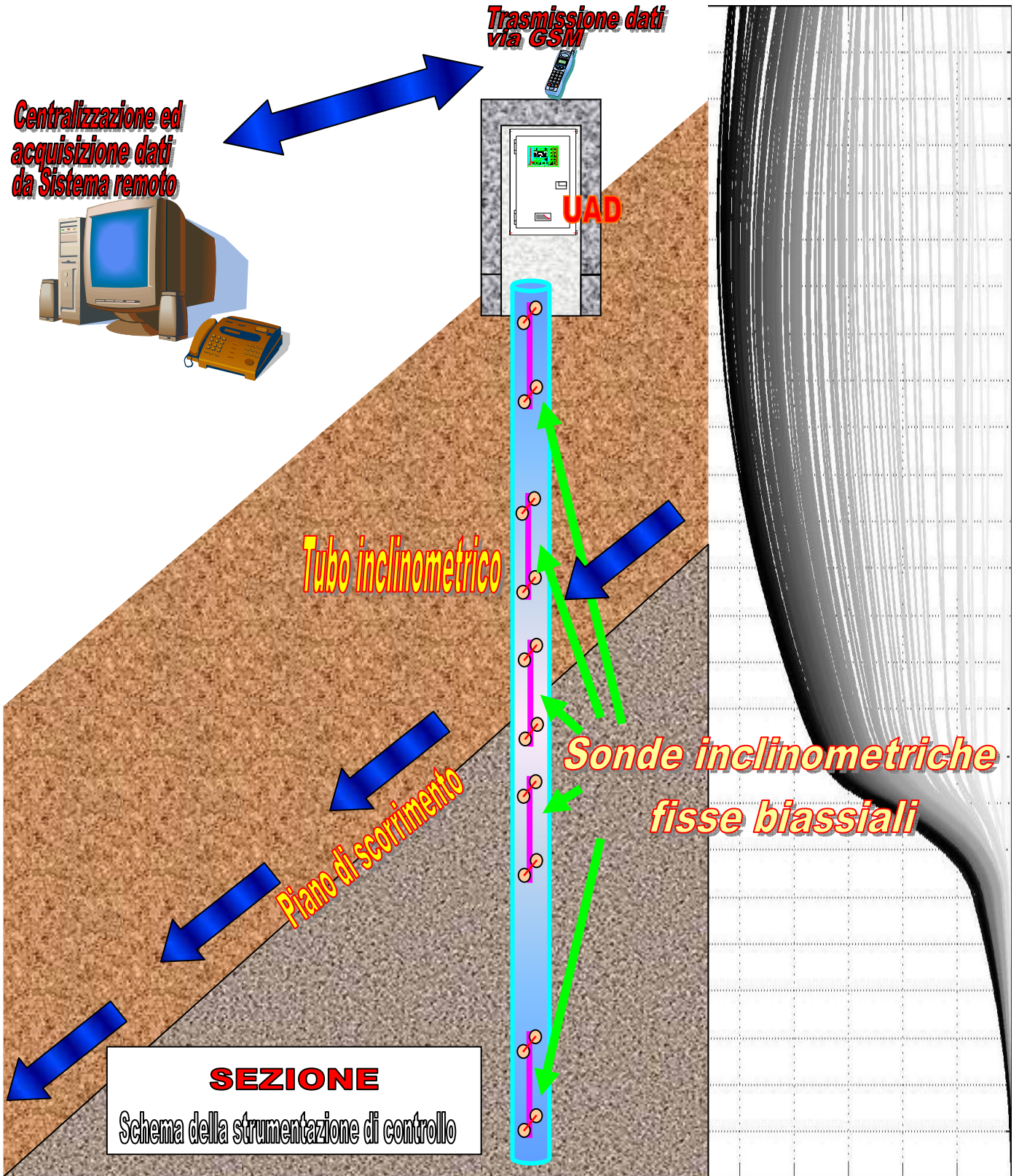
Questo software, chiamato ECLIPSE, è stato sviluppato attorno ad un algoritmo basato sulla teoria dell'interpolazione polinomiale combinata con la teoria della linea elastica: sfruttando le informazioni relative alle coordinate dei punti di misura e le misure delle rotazioni provenienti dagli inclinometri, l'algoritmo permette di calcolare la deformata della tubazione inclinometrica e di ricostruirla mediante una tecnica di calcolo numerico di interpolazione polinomiale a tratti.

Nel ricostruire la verticale inclinometrica dato un numero finito di punti, si possono commettere errori grossolani dovuti alla mancanza di informazione del reale comportamento della curva nei tratti non monitorati, ECLIPSE è stato sviluppato proprio per eliminare questo problema.

Questa tecnica permette infatti di spezzare in più studi parziali e mirati lo studio della deformata, raccordando successivamente i vari tratti mediante l'imposizione della congruenza degli spostamenti e delle rotazioni. La curva così ottenuta mediante questa tecnica di interpolazione, messa a punto per il calcolo della verticale inclinometrica, risulta essere (con la medesima accuratezza della sonda inclinometrica stessa) la deformata cercata.

Il programma per l'elaborazione dei dati inclinometrici (ECLIPSE) permette di immagazzinare, elaborare e visualizzare mediante grafici, i dati derivati dalle misure di una o più prove inclinometriche. Si possono calcolare automaticamente lo spostamento assoluto e i valori di azimuth assoluti in funzione della profondità, gli spostamenti relativi (rispetto alla misura di zero) e i valori di azimuth corrispondenti.

Il software, tramite una opportuna maschera, riduce il lavoro dell'operatore al minimo. Attraverso ECLIPSE, si può effettuare un controllo ed una prima diagrammazione dei dati raccolti, dando la possibilità di evidenziare in tempo reale i valori fuori norma.



## **Un'importante collaborazione per un nuovo telecoordinometro**

Nell'intento di mettere a disposizione delle dighe e di altre strutture speciali, un telecoordinometro molto affidabile e di bassissimo costo, Agisco, in collaborazione con altre società europee, ha realizzato uno strumento per la misura della posizione del filo a piombo nei pendoli diritti e rovesci. Questo progetto è stato finanziato dalla Commissione Europea con il nome di "PLUS".

Esso combina il grande vantaggio economico (il costo risulta meno della metà dei corrispondenti prodotti presenti sul mercato) con un'elevata precisione di misura, affidabilità di funzionamento e robustezza. Le dimensioni ridotte gli permettono di essere montato con facilità anche in spazi ristretti e di difficile accesso.



Figura 6: telecoordinometro PLUS

## **Conclusioni**

Lo sviluppo tecnico di questi ultimi anni permette di gestire la diga con una messe di informazioni automatiche potendo utilizzare linee dedicate o postazioni internet. Ciò significa che i dati per la gestione dello sbarramento possono essere consultati da specialisti situati in varie parti del mondo praticamente in tempo reale, coadiuvati anche da web-cam posizionate in punti strategici.

La qualità del servizio di sorveglianza e diagnosi del comportamento dello sbarramento può raggiungere livelli difficilmente immaginabili solamente pochi anni fa.