

## MISURE IDRAULICHE NEI PROCESSI AMBIENTALI \*

Che i processi ambientali siano di grande attualità è un fatto ampiamente noto; ma forse meno noto è il ruolo essenziale che in essi gioca l'acqua e, con essa, la componente idraulica dei processi stessi. L'acqua gioca un ruolo importante sia in forma immediata, come quando si parla di sicurezza idraulica o di siccità, sia in forma mediata, quando l'acqua interviene come vettore dei fenomeni di trasporto che sono alla base di molti processi ambientali.

In queste condizioni, misurare le grandezze idrauliche è oggi forse più importante di alcuni decenni fa e forse ancora più difficile.

Sebbene oggi si disponga di strumenti e metodiche di misura che utilizzano gli sviluppi dell'elettronica e che consentono misure in tempi minori e con accuratezze più elevate, misurare risulta più difficile di una volta perché oggi si richiedono dalle misure effettuate risposte più raffinate per rispondere a necessità più complesse e perché oggi si vogliono misurare grandezze una volta trascurate perché ritenute poco importanti.

Gli strumenti attuali, nella grande maggioranza sono di tipo digitale, così da adattarsi alla trasmissione a distanza e alla successiva elaborazione con le macchine di calcolo automatico.

Lo strumento digitale può nascondere qualche tranello: per esempio, nel caso che si desideri una misura diradata nel tempo (è classico nel nostro campo il rilievo con scansione orario del livello di un fiume), vi è il pericolo che la misura sia effettuata in concomitanza di un disturbo del segnale, senza che vi siano sintomi della presenza del citato disturbo: nel caso del livello di un fiume, la misura potrebbe essere inquinata dall'onda causata dal passaggio di un natante.

Per evitare simili dubbi si suggerisce di evitare la sola misura isolata, ma di eseguire più misure in frequenza sufficiente per rivelare la presenza di un disturbo. Per economizzare spazio di memoria, si può archiviare il valor medio del segnale nel periodo di misura, assieme alla varianza del segnale, che di norma dovrebbe essere molto piccola.

Ma l'attualità nel campo delle misure è riposta nel cosiddetto monitoraggio: di fronte ad un processo ambientale che evolve nel tempo non basta più la conoscenza del suo stato ad un certo istante, ma si richiede la conoscenza dell'evoluzione nel tempo dei parametri, in altre parole, se vale il paragone, si è passati dalla fotografia alla ripresa cinematografica.

Sul tema del monitoraggio vorrei sottolineare alcune idee: la parola stessa di monitoraggio, ricevuta credo dal linguaggio della medicina, soprattutto delle terapie intensive, è di gran moda, tanto da essere usata non raramente anche a sproposito. Di fronte ad un processo che preoccupa, il funzionario pubblico, a corto di idee e, bisogna dirlo, a corto di risorse finanziarie, pensa subito al monitoraggio come primo intervento. "Intanto monitoriamo il fenomeno per chiarirci le idee e poi decidiamo il da farsi" è la frase che sento spesso.

Ma questo modo di procedere è ingannevole. Infatti, non esiste la misura fine a sé stessa, ma ogni misura che si esegue deve essere calibrata allo scopo per cui è eseguita: si deve cioè sapere perché la si fa e come la si intende utilizzare e anche in queste condizioni si possono avere grosse sorprese.

Tanto per la storia, la frana del Vajont fu monitorata, e anche bene, ma ciò non servì a chiarire le idee di alcuno! Se questo è vero, ne segue che per monitorare in modo proficuo si deve avere già qualche idea sulle cause del fenomeno e fare delle ipotesi su come si debba affrontare il problema.

Va da sé che l'ipotesi fatta può anche essere errata e che debba essere cambiata, ma questo non cambia quanto detto e fa emergere un altro aspetto importante del monitoraggio.

Spesso succede che il responsabile del monitoraggio, dopo aver organizzato le misure e messo in funzione un buon sistema di archiviazione in un data base, rimandi l'elaborazione delle misure a quando l'archivio possieda un periodo di osservazione significativo. Questo modo di operare ha il difetto di far emergere possibili errori nella progettazione del monitoraggio solo con un ritardo temporale che in qualche caso può essere grave. Il consiglio che si deve dare è invece quello di iniziare subito l'elaborazione dei dati, anche per mettere in luce pecche banali, che possono essere ovviate facilmente. In particolare è da raccomandare attenzione nella struttura del data base di archivio, che deve consentire un reperimento dei dati agevole: vale qui il detto secondo il quale una biblioteca è il miglior posto per nascondere un libro.

Ma la scelta del data base è solo la prima, perché se si vuole avere una corretta rappresentazione temporale dello sviluppo del processo, si deve decidere che cosa misurare, quale strumento usare, dove installarlo, con quale frequenza eseguire la misura, come processare i dati.

Di solito gli ingegneri civili non hanno molta dimestichezza con le misure in condizioni di moto vario, da qui la loro difficoltà nello stabilire la frequenza di scansionamento della misura. Per evidenti motivi di costo e di agilità di elaborazione dei dati, la frequenza che si sceglie è quella minima compatibile con la ricostruzione corretta del segnale.

Ma, com'è noto, se si scansiona un segnale periodico con una frequenza troppo bassa rispetto a quella del segnale si va incontro al fenomeno dell'aliasing che porta a distorcere il misurato rispetto al misurando in modo anche severo.

La Fig. 1 che segue mostra come l'aliasing possa portare alla valutazione errata della frequenza di un segnale sinusoidale; la Fig. 2 mostra invece come l'aliasing possa essere distorta la misura rispetto al segnale, se scansionato con frequenza insufficiente.

Vale la pena di ricordare al riguardo il criterio di Nyquist, secondo il quale si deve scansionare il segnale con frequenza doppia di quella dell'armonica più alta che si vuole ricostruire.

Ma accanto alla frequenza di campionamento vi sono altre decisioni da prendere, come per esempio, il tipo di strumento da impiegare, che deve adattarsi alle condizioni in cui deve operare.

Per esempio, per la misura della velocità dell'acqua, oggi sono molto apprezzati strumenti ultrasonici, che utilizzano l'effetto Doppler provocato dall'eco del suono riflesso da piccole particelle portate in sospensione e che si ipotizza abbiano la stessa velocità dell'acqua circostante. Per avere un buon funzionamento dello strumento occorre però che queste particelle abbiano dimensioni abbastanza piccole (ma non troppo piccole) e che siano in numero sufficiente da produrre un segnale registrabile. E' stato osservato il mancato funzionamento nel caso di acque molto torbide e con particelle di grosse dimensioni (come delle macroalghe), come anche in acque limpide, come in correnti in alveo roccioso o nel mare al largo.

In questi casi è meglio ricorrere a strumenti meno elaborati, accontentandosi delle prestazioni di quelli che sono usati normalmente.

Un altro aspetto importante riguarda le modalità di installazione dello strumento, che deve poter funzionare sempre in condizioni ottimali. L'installazione va decisa tenendo presenti tutte le condizioni prevedibili, anche le meno probabili. Ricordo al riguardo un idrometro registratore che doveva misurare il livello di un serbatoio a monte di una diga e che era stato montato su una staffa lunga circa un metro, murata nel corpo della diga. Lo strumento funzionò sempre in modo corretto, tranne durante un evento eccezionale nel corso del quale di dovette aprire lo scarico di fondo anch'esso in corpo diga. Appena lo scarico entrò in funzione, la diga si mise a vibrare e con essa la staffa di supporto dell'idrometro; in breve si generò una risonanza che amplificò l'oscillazione, fino a portare al blocco di funzionamento dell'idrometro, con la perdita di dati molto importanti.

Come si è già detto, gli strumenti a funzionamento digitale hanno il grande pregio di consentire la registrazione e la trasmissione della misura a distanza, questa favorita dalle straordinarie possibilità consentite dalla telefonia mobile. In simili condizioni, viene naturale di pensare a strumenti installati in posizione remota e controllati a distanza, con evidenti economie nella gestione. Sotto questo punto di vista acquista particolare importanza l'affidabilità non tanto del solo strumento quanto dell'intera catena di misura, di acquisizione e di trasmissione dei dati. Naturalmente, l'affidabilità è collegata all'importanza della misura e alle conseguenze che si possono avere per la fallanza dei dati. In casi particolari si deve pensare ad una ridondanza degli elementi che si dovessero rivelare critici.

Ricordo al riguardo di un caso in cui si doveva controllare l'inclinazione sulla verticale di una ventola mentre veniva alzata. La prima idea fu quella di installare nella ventola un pendolo collegato ad un sensore di posizione, ma fu subito obiettato che la rotura o il bloccaggio del pendolo avrebbe portato alla perdita completa del dato. Si propose quindi di rendere ridondante il sistema con un secondo pendolo, così da avere una riserva del cento per cento. Ma fu osservato ancora che l'adozione di due pendoli assicurava il dato in caso di rottura di uno di essi, ma non toglieva le possibili incertezze derivanti da un funzionamento poco diverso dei due strumenti. Dato che l'adozione di tre pendoli appariva quasi umoristica, si decise di accantonare gli strumenti elettronici e di tornare a dispositivi meccanici di più sicuro funzionamento: la scelta cadde su un sistema di due ruote dentate poste nella cerniera della ventola, con un accoppiamento meccanico che fu ritenuto pienamente affidabile.

Come si diceva, gli strumenti oggi a disposizione sono in continuo sviluppo e certamente consentono oggi misure una volta impensabili.

Per esempio, si trova in commercio uno strumento a funzionamento ultrasonico commercializzato col nome "Vectro" che consente la misura contemporanea delle tre componenti della velocità rilevate in un volume di misura di circa 200 mm cubi, con un campo di misura che va da 1 cm/s a 4 m/s, un'accuratezza dello 0,5% del valore misurato e frequenza di campionamento fino a 299 Hz. Sono caratteristiche davvero impensabili fino a qualche anno fa, per uno strumento adatto a lavorare in campo. La Fig. 3 mostra un insieme dallo strumento, dando un'idea delle sue dimensioni, mentre la Fig. 4 fornisce un dettaglio della forma della testa con i sensori.

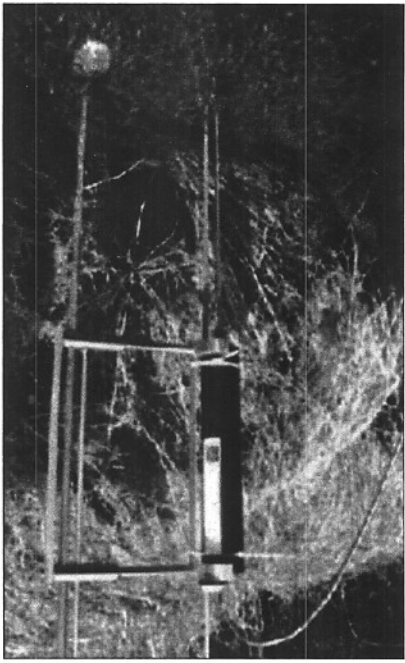


Figura 3 - Il velocimetro "Vectro".

Un'altra novità che oggi è disponibile riguarda la misura del moto ondoso. La misura non intrusiva è effettuata mediante una serie di più telecamere sincronizzate riprendendo la stessa porzione del campo di moto, così da rendere applicabili i metodi della stereogrammetria (Benetazzo, 2006). Il vantaggio del metodo consiste nel fatto che non si misura la quota dell'acqua solo in un punto, ma in tutti i pixel inquadrati, avendo una rappresentazione quantitativa dell'intera porzione del campo di moto. Una memoria presentata nel convegno che si svolge in parallelo (Fedele et al., 2008) mostra come l'usuale misura in un solo punto sottostimi il valore massimo dell'onda rispetto alla misura "diffusa".

Cambiando argomento, da qualche tempo si sta applicando una metodica per la valutazione in campo dell'evapotraspirazione effettiva, attraverso la cosiddetta correlazione turbolenta (eddy covariance). La tecnica permette una misura diretta dello scambio di vapore acqueo (come di CO<sub>2</sub> e di calore sensibile) tra la biosfera e l'atmosfera. La tecnica si basa sul principio che il flusso verticale di un'entità in uno strato di turbolenza superficiale è direttamente proporzionale alla covarianza della velocità verticale del vento e della concentrazione dell'entità stessa. Va da sé che il metodo richiede la misura della velocità del vento nelle sue tre componenti turbolente e la concentrazione di umidità, con una frequenza sufficientemente elevata per rappresentare compiutamente il processo turbolento.

La strumentazione in effetti è assai complessa, come si vede dalla Fig. 5 che indica quanto installato in quota su un'antenna verticale, che è completato da strumenti posti a terra per caratterizzare il suolo.

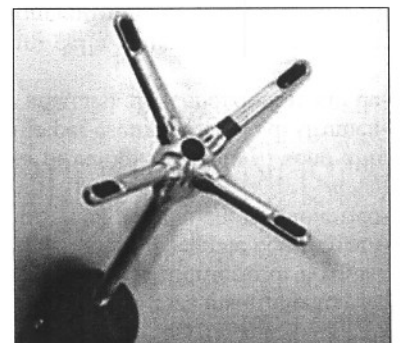


Figura 4 - I sensori del velocimetro.

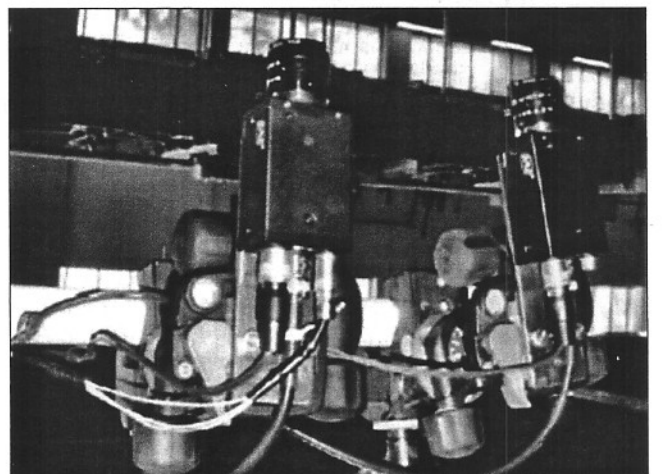


Figura 5 - L'apparecchiatura di misura del moto ondoso con due telecamere.

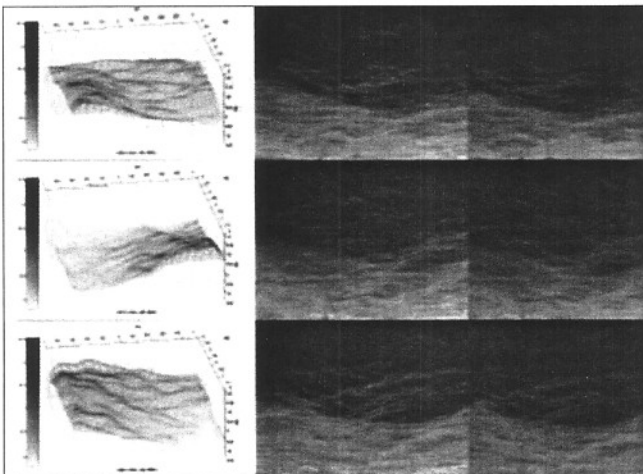


Figura 6 - Tre coppie di immagini a sinistra con il risultato ottenuto a destra.

Molto probabilmente questo è il primo caso in cui le misure di turbolenza escono dal laboratorio o dalla ricerca in generale, per entrare nella routine, simbolo dell'evoluzione nella strumentazione. L'apparecchiatura è prodotta ormai ad più ditte specializzate. Ma accanto ai progressi che senza dubbio ci sono stati, si devono lamentare ancora dei punti dolenti, molto importanti.

Ancora oggi le misure di routine eseguite dalle varie amministrazioni pubbliche risentono del codice genetico che deriva dal vecchio Servizio Idrografico, quando si organizzò più di ottanta anni fa e che si pose lo scopo primario del bilancio idrologico a scala di bacino. Per questo motivo le misure di cui si dispone sono rilevate a frequenze insufficienti oppure con incertezze che in alcuni casi sono percentualmente rilevanti.

Misurare le piene è ancora un grosso problema. La tecnica non mette a disposizione uno strumento o un metodo di misura, accurato e agevole, per la misura della portata in fiumi di notevole dimensione, per cui i metodi tradizionali sono ancora gli unici disponibili. Nei tratti di montagna, dove esistono opere di ritenuta, gli organi di scarico di tali opere sono senza dubbio i migliori dispositivi per la misura della portata anche in condizioni di piena. Purtroppo, l'accesso ai dati registrati, di norma dal concessionario dell'opera non è cosa facile, dato che questi è riluttante a far sapere le manovre eseguite durante il passaggio della piena, manovre che potrebbero comportare responsabilità dei danni provocati dalla piena stessa. Spesso, anche davanti ad un'ingunzione della magistratura di rivelare questi dati, la col-

Figura 7 - La struttura tipica di un misuratore di evapotraspirazione a covarianza.

