

SISTEMA DI MONITORAGGIO E GESTIONE DEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE CROMICHE

Rosa Anna Caporusso (C.S.M. SpA – Via di Castel Romano, 100 - 00128 Roma)

Elena Musella (Consorzio SESM – Via Consalvo, 106, pal.8 - Napoli)

Giovanni Mappa (ANOVA/Sespim – Centro Direzionale Is. E5 – 80143 Napoli)

Paolo Sabatino (I.I.A.S.S. – Via G. Pellegrino, 19 – 84019 Salerno)

Sommario

Nell'ambito del Progetto di Ricerca KNOWATER finanziato dalla European Coal and Steel Community (ECSC Project 7210 - EA/428.....), è stato implementato un sistema integrato real-time basato sulla conoscenza, applicato ad un impianto di trattamento delle acque cromiche provenienti dal processo di laminazione a freddo di acciai speciali.

L'obiettivo dell'applicazione del sistema esperto è l'ottimizzazione dell'abbattimento del contenuto di cromo esavalente (sostanza altamente tossica) presente nelle acque grezze di lavorazione, attraverso la previsione del carico a monte delle sezioni di trattamento e l'ottimizzazione dei dosaggi dei reattivi chimici, al fine di garantire con continuità risultati depurativi soddisfacenti.

Il quadro di riferimento di partenza è un impianto costituito da tre diverse linee di laminazione a freddo, corredato da strumentazione di processo appena sufficiente per una conduzione manuale del processo.

Viene illustrato il sistema real-time realizzato con "Scettro" su piattaforma G2/Gensym, integrato con sensori intelligenti fuzzy per la stima del carico di Cromo esavalente - a partire dalle condizioni di esercizio delle linee di laminazione - e per la valutazione dell'efficienza di trattamento dell'impianto.

Parole chiave

Sistemi esperti, Sistemi Basati sulla Conoscenza, Logica Fuzzy, sensori software intelligenti, trattamento acque cromiche

Introduzione

La produzione di acciai speciali e, in generale, l'industria siderurgica, genera da sempre sull'ambiente impatti di ogni tipo e di proporzioni smisurate, mentre la sensibilità al controllo degli inquinamento ha mosso - in questo settore - ancora pochi passi. L'obiettivo è quello di intervenire senza creare problemi alla continuità della produzione e alla gestione di processo, su impianti che tipicamente non sono stati forniti fin dall'inizio da sufficiente strumentazione di misura e di controllo.

Il caso di studio proposto è quello di uno stabilimento di laminazione a freddo di acciai speciali e, in particolare, ci si riferisce al problema della ottimizzazione dell'efficienza di gestione del processo di abbattimento del cromo esavalente (altamente tossico) dalle acque di scarico.

Non essendo presente strumentazione di misura in campo, ne essendo possibile la misura diretta della quantità di cromo presente nelle acque di processo, si è reso necessaria la realizzazione di un strumento software basato sulla conoscenza in grado di "misurare" la concentrazione del cromo esavalente presente, tenendo conto soltanto del mix dei fattori concomitanti che determinano il rilascio del cromo nelle acque di processo, come il tipo di acciaio lavorato, la larghezza del nastro, la velocità di laminazione, il numero di laminatoi in esercizio.

Il compito del sensore realizzato è quello di consentire un tempestivo assessment delle condizioni ottimali di esercizio (ad es.: dosaggio dei reattivi chimici) rispetto al target di effluente richiesto e di fornire agli operatori il problem solving diagnostico di supporto alle pratiche operative di gestione dell'impianto. Infatti, obiettivo primario di questo progetto di ricerca è di determinare la fattibilità della applicazione di **Sistemi Basati sulla Conoscenza (*Knowledge Based System*)** al trattamento delle acque cromiche derivanti dalla produzione dell'acciaio. Il sistema esperto sulla base di informazioni e dati sui parametri critici delle acque effluenti e dei trattamenti, permette di:

1. migliorare le performance dell'impianto di trattamento di acque cromiche in termini di rendimento, sicurezza, affidabilità ed ottimizzazione dei costi;
2. produrre volumi minori di acque trattate con concentrazioni più basse delle sostanze contaminanti, riducendo, in tal modo l'impatto con l'ambiente.

Il progetto è stato sviluppato in diverse fasi. La prima fase è stata contraddistinta dallo studio del trattamento e dall'analisi delle condizioni di lavoro dell'impianto; in tal modo sono stati determinati i

parametri fondamentali del sistema, i quali sono direttamente collegati ad eventi che provocano un peggioramento delle performance del trattamento. I risultati di questa fase di analisi mostrano che è possibile rilevare e monitorare le anomalie che riguardano il processo di trattamento utilizzando come semplici parametri il pH, il potenziale redox ed il flusso in ingresso. In alcuni casi il riscontro di alcuni segnali deboli consente al sistema esperto di prevenire le condizioni di anomalie che potrebbero diminuire il rendimento dell'intero trattamento delle acque. In altri casi non è possibile anticipare il verificarsi di un evento, in tali condizioni, però, il sistema è in grado di diagnosticare cosa ha causato il problema e proporre la giusta soluzione per la risoluzione dello stesso. La seconda fase del progetto è coincisa con lo sviluppo di un prototipo software nel quale è stata inserita sotto forma di regole, modelli matematici, funzioni statistiche e moduli fuzzy, la conoscenza degli esperti dell'impianto e del settore. Successivamente si è proceduto alla validazione del prototipo, attraverso una serie di test con dati reali ottenuti dall'impianto di riferimento, simulando in tal modo la risposta del sistema ad una reale situazione di impianto, in modo da valutare sia la corrispondenza della conoscenza implementata con i dati reali del campo, che l'effettivo vantaggio economico derivante dall'uso del sistema software.

Caratteristiche del Sistema Esperto

Gli aspetti principali del sistema basato sulla conoscenza per il trattamento delle acque cromatiche sono essenzialmente due: il sistema deve essere in grado di rilevare cambiamenti nelle condizioni operative e deve identificare possibili anomalie prima che accadano.

Le caratteristiche principali del sistema implementato sono:

- ☑ Diagnosi on-line, per individuare anomalie ed identificare possibili cause attraverso specifiche regole diagnostiche.
- ☑ Supporto alla manutenzione che, attraverso l'identificazione delle cause del guasto, guida l'operatore durante le operazioni di manutenzione. L'operatore viene avvisato del guasto, verificatosi o non, attraverso un segnale acustico ed un messaggio di allarme presente nella interfaccia utente principale; mediante un bottone, previa selezione del messaggio, è possibile visualizzare l'interfaccia di diagnosi, nella quale viene mostrato l'albero delle cause, prodotto in base ai dati rilevati dal campo, e le pratiche operative sotto forma di testo, di messaggio vocale e/o filmato, visualizzate anche attraverso un normale browser
- ☑ Semplice manutenzione del sistema attraverso una interfaccia grafica che consente di cambiare le soglie, i pesi delle cause, di aggiornare l'albero delle cause eliminandone o inserendone di nuove, di cambiare le regole di diagnosi e di modificare la struttura dell'impianto.
- ☑ Monitoraggio dei dati di impianto quali pH, potenziale redox e livello nei serbatoi per controllare l'integrità del processo.
- ☑ Ottimizzazione, attraverso una gestione ottimale dell'intero sistema di trattamento, della concentrazione finale del Cr^{+6} .
- ☑ Modulo fuzzy esterno che, analizzando alcuni dati, calcola la quantità di Cr^{+6} presente nelle acque cromatiche in ingresso. Questa quantità è collegata a parametri quali: la velocità della linea, la famiglia di acciaio trattata e la larghezza del coil.
- ☑ Produzione di allarmi per le variabili principali di ogni sottoimpianto fuori range e loro analisi statistica.
- ☑ Indicatore globale, che indica l'andamento globale per ogni sottoimpianto implementato.
- ☑ Modelli analitici che valutano il dosaggio ottimo dell'acido, della calce e del bisolfito con l'obiettivo di ottimizzare il trattamento delle acque cromatiche e di minimizzare gli sprechi.

Knowater : Sistema Esperto

Il prototipo è stato sviluppato utilizzando come software SCETTRO Tool[®] (ANOVA/Sesprim) un sistema on-line real-time, basato sulla conoscenza, per il monitoraggio esperto e la diagnosi precoce, realizzato in ambiente G2[®], la shell per sistema esperti della Gensym.

L'ambiente di sviluppo per un sistema esperto è costituito da un motore inferenziale ed una base di conoscenza. La base di conoscenza è l'esperienza del sistema; una sorta di area di memoria che contiene la "conoscenza" dell'esperto dell'impianto e/o del settore sotto forma di regole, procedure, modelli matematici. L'obiettivo del sistema esperto non è quello di sostituire l'esperto ma di simularne le funzioni.

La base di conoscenza del sistema è facilmente implementabile, infatti è sempre possibile inserire una nuova regola, perché ogni regola è indipendente dalle altre; questo modo di lavorare è molto importante soprattutto quando il numero delle regole è molto elevato.

Le funzioni del sistema

Interfaccia grafica: L'operatore interagisce con il sistema attraverso una interfaccia grafica, facilmente navigabile, che mostra il layout dell'intero processo di trattamento delle acque cromatiche. La schermata principale di monitoraggio mostra una lista di tutti i sottoimpianti implementati.

Per ogni sottoimpianto (CHROMIC WATER, REDUCTION, PRECIPITATION, NEUTRALISATION) esiste un segnalatore colorato "led", che ne mostra l'andamento globale (Fig. 1). Quando il sistema diagnostica una anomalia, scatta l'allarme acustico che richiama l'attenzione dell'operatore: il sistema genera automaticamente un messaggio che segnala il tipo di anomalia e l'impianto in cui si è verificata, ed il led diventa rosso. Il sistema consente una semplice navigazione dell'impianto; selezionando un bottone viene visualizzato il sinottico dell'impianto corrispondente.

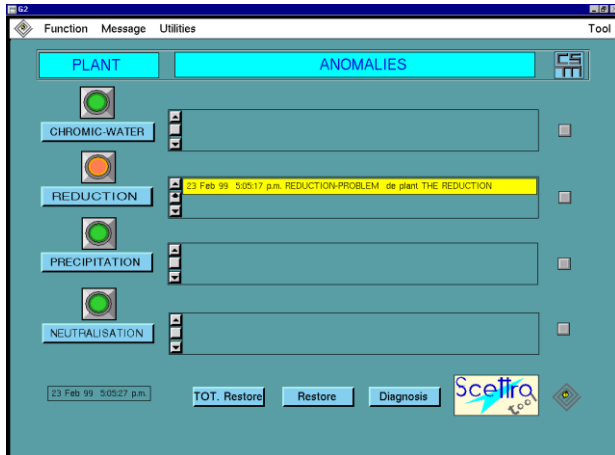


Fig. 1: Monitoring board

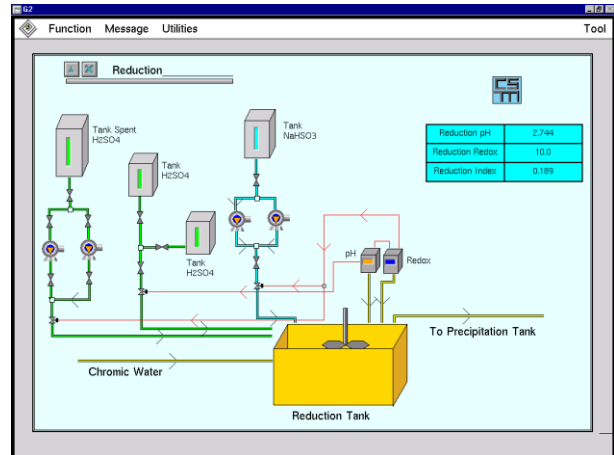


Fig. 2: Reduction Synoptic

Monitoraggio: Il sistema monitorizza in continuo le condizioni del flusso entrante, del pH e del potenziale redox e genera degli allarmi quando le variabili sono fuori dal loro range di funzionamento; inoltre controlla lo stato di apertura e chiusura delle valvole dell'acido fresco, della calce e del bisolfito. Alcuni grafici consentono all'operatore un semplice ed efficace controllo dell'andamento di ogni variabile del sottoimpianto.

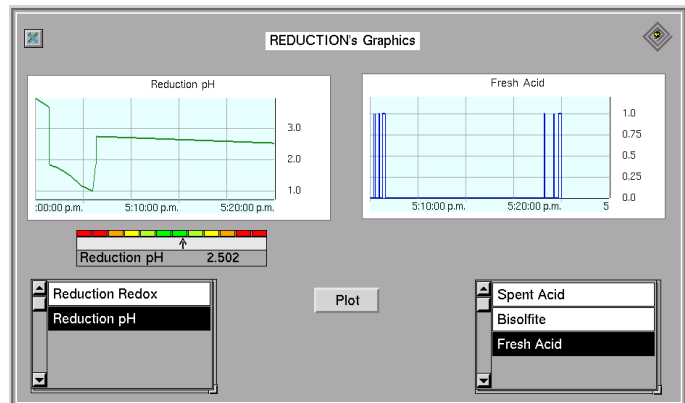


Fig. 3: Variable Monitoring

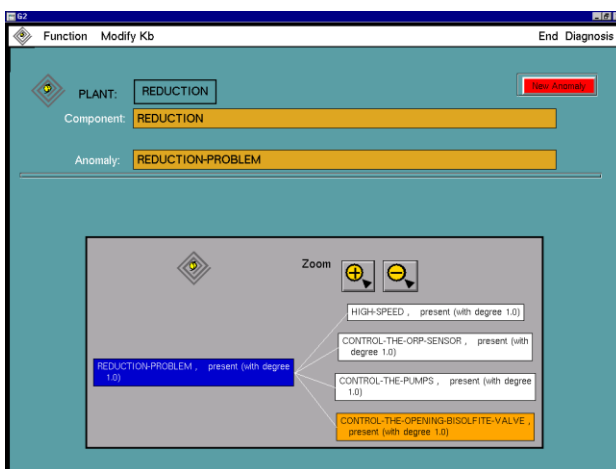


Fig. 4: Diagnosis board

Diagnostica: Il sistema diagnostica le anomalie di funzionamento e le loro cause e, dove è possibile, suggerisce le pratiche operative o le linee guida per l'operatore. Selezionando nella monitoring board un messaggio di anomalia e, successivamente, il bottone "Diagnosis", verrà visualizzata l'interfaccia principale della fase di diagnosi. La diagnosis board (Fig. 4) presenterà l'albero di diagnosi per l'anomalia selezionata, individuando il sottoimpianto ed il componente dove si è presentata l'anomalia, segnalandone la causa più probabile.

Le pratiche operative per l'operatore possono essere anche di natura multimediale, ove ve ne sia la disponibilità e/o necessità. Tali tipi di file sono visualizzati all'occorrenza attraverso l'uso di un normale browser (Fig. 5) del tutto indipendente dal sistema esperto.

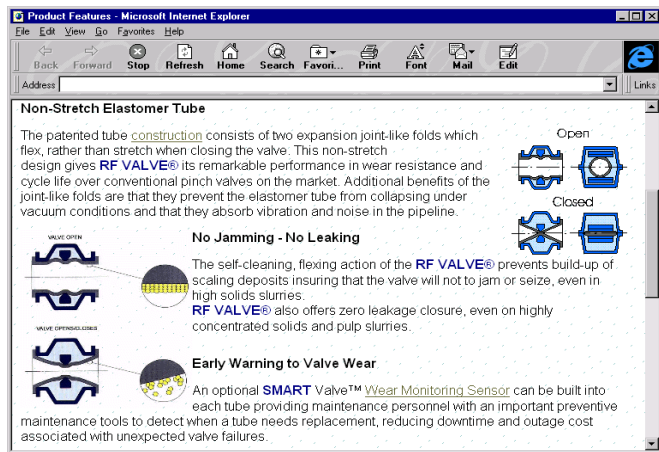


Fig. 5: Operative Procedure on-line

Indice globale: E' molto importante per l'operatore conoscere il working trend di ogni sottoimpianto, per questa ragione è stato introdotto un indice per ciascun impianto implementato; tale indice I è calcolato attraverso una media pesata degli indici parziali delle variabili principali del sottoimpianto i :

$$I = \frac{a \cdot i_a + b \cdot i_b + \dots + k \cdot i_k}{a + b + \dots + k}$$

dove a, b, \dots, k sono i coefficienti correttivi che valutano il peso ovvero l'importanza della corrispondente variabile sull'andamento globale del sottoprocesso.

Gli indici parziali i sono calcolati mediante una funzione gaussiana:

$$i = \exp \frac{(x - \delta)^2}{2\Delta^2}$$

dove δ e Δ sono, rispettivamente, il valore ottimo ed il range di funzionamento della variabile in esame.

L'indice I e l'indice parziale i hanno valori compresi nell'intervallo $[0,1]$; se i è uguale ad 1 allora significa che la variabile ha un valore che corrisponde al suo valore ottimo. È' chiaro che se l'indice globale I è uguale ad 1 allora ciò significa che tutte gli indici parziali che concorrono al calcolo di I hanno valore unitario, e di conseguenza, che tutte le variabili hanno valore pari al loro valore ottimo. Sia l'indice globale che gli indici parziali sono monitorati e rappresentati graficamente.

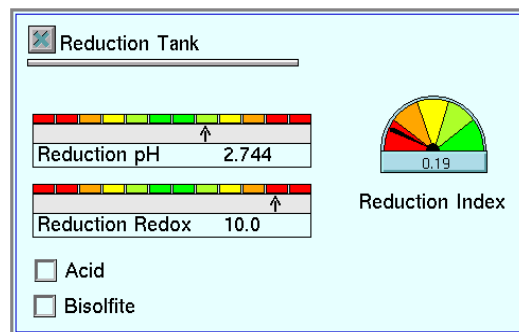


Fig. 6: Variable Indicators

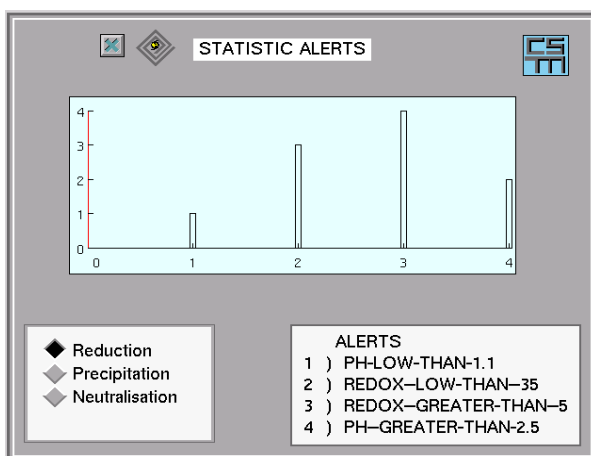


Fig. 7: Analisi statistica degli allarmi

Analisi statistica degli allarmi: Il sistema produce automaticamente un allarme ogni volta che il valore di una variabile raggiunge la soglia limite inferiore o superiore; questi allarmi sono indicati da una segnalazione acustica e da un messaggio che appare nella monitoring board. L'allarme individua l'impianto che contiene la variabile fuori range. Gli allarmi sono suddivisi in funzione del sottoimpianto nel quale si manifestano, analizzandone le frequenze (Fig. 7) è possibile studiare l'andamento dei sottoimpianti implementati, e dell'impianto in generale.

Regole del Sistema Esperto

L'ambiente di sviluppo per un sistema esperto è un sistema che fornisce un motore inferenziale e da una base di conoscenza.

La base di conoscenza contiene l'esperienza del Sistema Esperto; è un'area di memoria in cui sono immagazzinate frasi, che costituiscono la "conoscenza" del campo di applicazione. Lo scopo del sistema esperto non è quello di sostituire lo specialista del settore, ma quello di simularne le funzioni; tali azioni vengono svolte o direttamente (quando possibile) o assistendo un operatore non esperto nel prendere le opportune decisioni.

L'esperienza di un Sistema Esperto può essere rappresentata in diversi modi, la più usata è quella che fa uso di regole.

Per riempire una base di conoscenza basterà inserire regole sparse, preoccupandosi solo del fatto che abbiano un senso compiuto di per se e un significato nell'ambito del programma in questione.

Il motore inferenziale, scandendo in modo opportuno tale base di conoscenza, darà all'utente l'impressione di dialogare con un sistema estremamente ordinato, in cui si segue un filo logico e ogni domanda è pertinente. In una base di conoscenza è possibile modificare una regola o aggiungerne altre senza dover conoscere le restanti, poiché le regole sono indipendenti una dall'altra. Questo è un enorme vantaggio, soprattutto quando il numero di regole è elevato.

Il sistema da noi implementato è costituito da una serie di regole e di modelli matematici che consentono la gestione e la simulazione dell'andamento dell'impianto.

I modelli matematici da noi implementati, sono stati calcolati in funzione delle curve di titolazione (per l'acido, il bisolfito e la calce) ricavate sperimentalmente nei laboratori del CSM di Castel Romano. Sono state stimate le funzioni delle curve di titolazione di H_2SO_4 per il pH, del bisolfito per il potenziale Redox e del pH per la calce.

```
for any laf-pump LP whenever the
  attivazione of LP receives a value then
  conclude that the valore of portata-tot =
  ((the sum over each laf-pump OP of (the
  attivazione of OP )) * 16.5)
```

Fig. 8: Esempio di regola del SE.

Questo è stato fatto per regressione statistica, adattando i parametri del modello supposto ai punti sperimentali in nostro possesso.

Attraverso una serie di interviste mirate agli utenti ed a esperti dell'impianto, è stata dedotta la conoscenza che è stata successivamente implementata sotto forma di regole nel sistema.

Stima fuzzy del carico di cromo esavalente

Nella gestione del processo di trattamento delle acque cromatiche di scarico da impianti di laminazione a freddo di acciai speciali, l'obiettivo prefissato è il controllo dell'abbattimento del contenuto di cromo esavalente (sostanza altamente tossica) presente in dette acque, attraverso la corretta gestione del processo di riduzione (a cromo trivalente) e della successiva fase di precipitazione e neutralizzazione del pH.

Per garantire la continuità dell'efficienza e dell'efficacia del trattamento depurativo, è importante però conoscere in anticipo la concentrazione di cromo esavalente da trattare nell'impianto di riduzione.

In mancanza di uno strumento di misura diretta in campo, si è reso necessaria la realizzazione e la integrazione di un *software sensore* intelligente (realizzato con l'ausilio della *Logica Fuzzy*), il quale tiene conto dei principali fattori concomitanti che determinano il rilascio del cromo nelle acque di processo, come il tipo di acciaio lavorato, la larghezza del nastro, la velocità di laminazione, il numero di laminatoi in esercizio.

Il sistema ideato basato sulla conoscenza è in grado di condurre una stima tempestiva delle migliori condizioni di esercizio rispetto al target richiesto (ad es.: dosaggio dei reattivi chimici) e di fornire agli operatori funzionalità di diagnostica e di supporto alle pratiche operative di gestione dell'impianto.

La stima del carico di cromo esavalente è stata ottenuta senza utilizzare nessun sensore hardware che potesse dare informazioni sulla concentrazione di Cr^{6+} in funzione di qualche altra grandezza misurabile. Al suo posto abbiamo utilizzato regole di buon senso che sono alla base del *Sistema di Inferenza Fuzzy* (FIS) di previsione della concentrazione, e che racchiudono informazioni elementari e inconfutabili del processo di laminazione.

In primo luogo, abbiamo supposto che la concentrazione di Cr^{6+} è un *funzione fuzzy* della larghezza del nastro di acciaio e della velocità di laminazione. Appare evidente che:

- Aumentare la *larghezza* del nastro \Rightarrow aumentare la concentrazione di Cr^{6+} , in quanto maggiore è la superficie di acciaio ricoperto di ossido di cromo che può essere rilasciato come cromato di sodio Na_2CrO_4 nelle acque di lavaggio dopo il decapaggio in soda fusa.
- Aumentare la *velocità* di laminazione \Rightarrow aumentare la concentrazione di Cr^{6+} , perché maggiore è la superficie del nastro che a parità di tempo viene a contatto con

la soluzione decapante e quindi maggiore è la quantità di cromato di sodio immessa nelle acque di lavaggio.

Queste sono state le considerazioni di base che hanno permesso di scrivere le regole di inferenza del Sistema Fuzzy. Pertanto, le variabili del processo da "fuzzificare" sono soltanto la larghezza del nastro di acciaio e la velocità di laminazione, e come output prevediamo la concentrazione di inquinante. I range delle variabili di input e output presi in considerazione sono anche maggiori delle normali condizioni di esercizio del laminatoio, in modo tale da fornire un supporto decisionale per evitare condizioni di fuori norma che pregiudicano la funzionalità dell'impianto di trattamento delle acque cromatiche.

La *superficie di conoscenza* del FIS (Fig. 9) è stata modellata, costruendo le regole e modificando i parametri delle *funzioni di appartenenza*, cercando di adattarla ai due punti sperimentali ottenuti dalla divisione INOX ILVA-TERNI che ha tre linee (LAF 1/2/3) di ricottura-decapaggio di acciaio inossidabile laminato a freddo. I punti sperimentali sono per lo stesso tipo di acciaio (serie 300, 19% di Cr). Un tipo diverso di acciaio comporta soltanto uno spostamento (proporzionale alla percentuale di cromo nell'acciaio) della superficie verso l'alto oppure il basso a seconda che la sua percentuale di cromo sia maggiore o minore della serie 300.

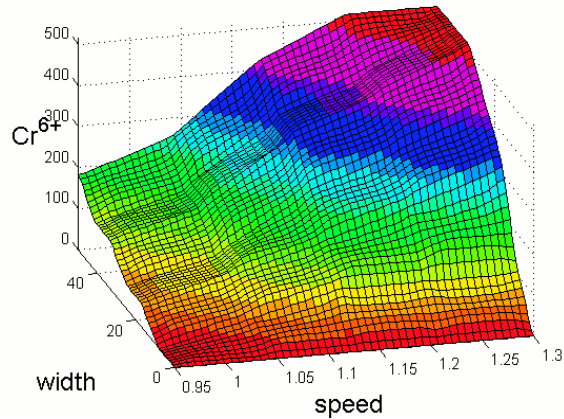


Fig. 9: Superficie di conoscenza.

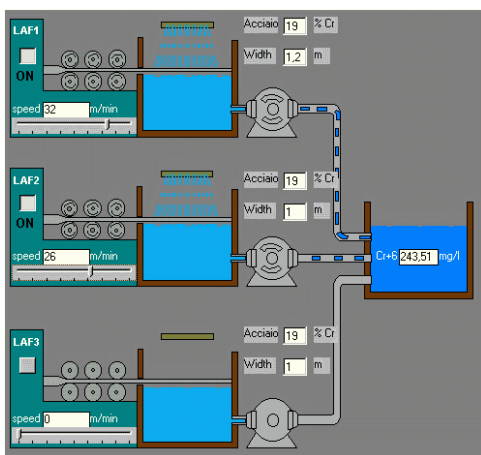


Fig. 10: Diagramma del laminatoio.

Infine, per ogni linea LAF esiste una pompa che trasporta le acque di lavaggio verso la vasca di riduzione comune, con un portata media di $16m^3/h$ (Fig. 10). Nel prevedere quindi il carico di cromo totale dobbiamo tenere in conto del numero di laminatoi in funzione in un certo momento. La stima della concentrazione di cromo esavalente nella vasca di riduzione viene ricavata come media delle concentrazioni previste per ogni singola linea, pesata dalla rispettiva portata di acqua. Nel nostro sistema, però, la portata media di ogni linea di laminazione è la stessa, perciò la media pesata si riduce ad una media aritmetica.

Conoscere in anticipo la concentrazione di cromo esavalente da trattare nell'impianto di riduzione significa prevedere le quantità di acido solforico e bisolfito di sodio necessarie nel processo di riduzione a cromo trivalente, e la quantità di calce necessaria nella successiva fase di precipitazione e neutralizzazione del pH.

Bibliografia

- [1] G.Mappa, A.Sciarretta, S.Moroni, M.Allegretti - "Sistema Esperto per la Gestione degli Impianti di Trattamento delle Acque di Rifiuto Urbane" - ANDIS'93 - Palermo 1993 - Congresso Biennale / Associazione di Ingegneria Sanitaria.
- [2] "L'Innovazione nella Gestione delle Risorse Idriche" - TECNOPOLIS - Valenzano (BA) 1994 - Giornata promossa da Ambassade de France n Italie, Ente Autonomo Acquedotto Pugliese, Pole VERSeau Montpellier Technopole, Tecnopolis CSATA Novus Ortus - 19 Maggio. Presentazione della tecnologia dei Sistemi Esperti realizzati da SESPIM.
- [3] G.Mappa - "MICROexpert: un Sistema Esperto per il Controllo dei Problemi di Separazione Solido-Liquido nei Depuratori a Fanghi Attivi, basato sulle metodiche di indagine microscopica" - INGEGNERIA SANITARIA - Marzo 1995 .

- [4] G.Mappa - *"Una Tecnologia dell'Intelligenza Artificiale come Prodotto Servizio nella Telegestione della Depurazione delle Acque"* - ANIDA Flash N.3 Marzo 1995
- [5] M.Marsella, M.Meneganti, R.Tagliaferri - *"Detection of Anomalies with Fuzzy Neural Networks"* - WIRN VIETRI'95 - Vietri s/m (SA) 1995 - VII Italian Workshop on Neural Nets 18-20 Maggio.
- [6] G.Mappa, G. Salvi, R.Tagliaferri - *"A Fuzzy Neural Network for the On-Line Detection of B.O.D."* - WIRN VIETRI'95 - Vietri s/m (SA) 1995 - VII Italian Workshop on Neural Nets 18-20 Maggio.
- [7] G.Mappa - *"La Tecnologia dei Sistemi Esperti nell'Edilizia: Qualità Edilizia e Manutenzione Intelligente"* - EDILMED - Napoli 1995 - Convegno "Tecnologie Post-Industriali trasferibili all'Architettura e all'Edilizia" - Mostra d'Oltremare - 19-21 Maggio
- [8] *"L'Acqua Fattore di Crescita del Territorio: Qualità, Trattamento, Riuso, Gestione"* - 3° CONVEGNO di TERRA D'OTRANTO - Lecce 1995 - 25-26 Maggio.
- [9] G.Mappa *"Identification of Filamentous Microorganisms Causing Bulking and Foaming in Activated Sludge System"* - IAWQ e PROVINCIA di PERUGIA - Perugia 1995
- [10] G.Mappa - *"Un Kit di Sensori ad Intelligenza Artificiale per il Telecontrollo Low-Cost degli Impianti di Depurazione delle Acque"* - NEWS 2/95 -Endress+Hauser
- [11] Marty Weil - *"Water challenges"*- A-B Journal Giugno 1996
- [12] Metcalf & Eddy Inc. (1991). *"Wastewater engineering: treatment / disposal / reuse."* - Mc Graw-Hill, terza edizione
- [13] Serra, Sánchez, Lafuente, Cortès, Poch - *"A knowledge based tool for wastewater treatment plant"* - Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence 7.
- [14] Ferrante, Lepschy, Viaro - *"Precisione a regime e tipo dei sistemi di controllo"* - Automazione e Strumentazione -Febbraio 1999.
- [15] Cattaneo, Pardini, Tombolini, Grilli, Vallivero, Montanari - *"Monitoraggio ambientale"* - Automazione Oggi-Aprile 1999.
- [16] Rolston- *"I sistemi esperti - teoria e sviluppo"* - McGraw-Hill
- [17] Rich - *"Intelligenza artificiale"* - McGraw -Hill
- [18] Di Biase, Manzo, Meneganti, Violante - *"Un sistema on-line per la diagnosi precoce e l manutenzione predittiva"* - Manutenzione Giugno 1996.
- [19] Costantini, Manetti, Parente - *"Sistemi esperti: applicabilità in campo industriale"* - L'elettrotecnica - Vol.LXXVIII N.5 Maggio 1991
- [20] Zadeh - *"A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts"* -
- [21] F. Manzo. - *"Using G2 to build Real-Time Expert System for Diagnosis in Steel Industry"*. G2 European User Meeting - S. Margherita Ligure Giugno 1992 -
- [22] M. Dubas - *"Expert system in industrial Practice: advantages and drawbacks"* Expert Systems, agosto 1990.
- [23] Committee on technology - *"Use and application of expert systems and artificial intelligence"*; international iron and steel institute, Techno- 21; Chicago, April 1990
- [24] Kosko, Isaka - *"Logica sfumata"* - Le Scienze, Settembre 1993