



Modelli di Conoscenza come catalizzatori di efficienza cognitiva e strumento di sviluppo di sistemi decisionali: il caso BATTLE

Viene presentata una metodologia basata sull'utilizzo dei modelli di conoscenza, definiti come algoritmi logico-matematici in grado di rappresentare sintesi concettuali anche molto complesse. Punto cardine è il principio di indipendenza della struttura della conoscenza, sulla base del quale è possibile enucleare concetti di conoscenza condivisa. L'utilizzo strumentale dei modelli di conoscenza nei processi cognitivi (umani e informatici) fornisce quindi, in analogia alla funzionalità dei catalizzatori nei processi chimici, l'indubbio vantaggio di generare soluzioni più valide nel minor tempo, rappresentando al tempo stesso un utile strumento di supporto decisionale e, in ultima analisi, di capitalizzazione del valore della conoscenza. Viene qui presentato un caso applicativo (Progetto Life/Env / ENEA/"BATTLE") nell'ambito dello sviluppo di un sistema decisionale on-line/real-time e di *early-warning*, per il riutilizzo dell'acqua di processo in industrie tessili

DOI: 10.12910/EAI2014-59

■ Giovanni Mappa, Maurizio Casarci

I Modelli di Conoscenza e il loro utilizzo

Per definire in maniera esaustiva il concetto di *Modello di Conoscenza (Knowledge Modeling)* [6,7,22] bisognerebbe addentrarsi nei meandri delle *Scienze Cognitive* [2,3]; per costatarne la loro utilità operativa e applicabilità pratica, l'ambito di riferimento è invece l'*Ingegneria della Conoscenza* [4,5,23,24]: su questi argomenti esiste infatti, un immenso patrimonio di letteratura tecnico-scientifica, a partire addirittura dagli anni '50 [1].

Peraltro, i modelli di conoscenza sono insiti nella nostra natura, in quanto esseri viventi *in grado di*

interpretare gli eventi, gestire le incertezze e prendere delle decisioni di "buon senso" (8,9). Tutti noi seguiamo dei *modelli di riferimento (pattern)* che possono riguardare l'etica, la famiglia, la politica ecc., come concetti di valore condivisi: modelli che ci aiutano a ragionare più efficacemente, nonché a vivere meglio (*early warning*) di fronte a situazioni decisionali caratterizzate da incertezza o rischio.

Vivendo poi nell'era dell'*Economia della Conoscenza* e della ricerca dello *sviluppo sostenibile* [10,11], ci rendiamo conto di come si stia sviluppando un *nuovo bisogno* di "conoscenza economicamente tan-

gibile" [12], ovvero la necessità di gestire la conoscenza in maniera *efficiente*, tale da far raggiungere gli obiettivi nel minor tempo possibile e con la massima economicità; mentre per ora sappiamo farlo solo in maniera efficace e stiamo ancora imparando a farlo *in maniera economica*: *Net-Economy, Big-Data, Green Energy, Smart City* sono solo alcuni dei possibili contesti che ci richia-

■ Giovanni Mappa
ANOVA Studi & Ricerche
Interdisciplinari, Napoli

■ Maurizio Casarci
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie
Ambientali

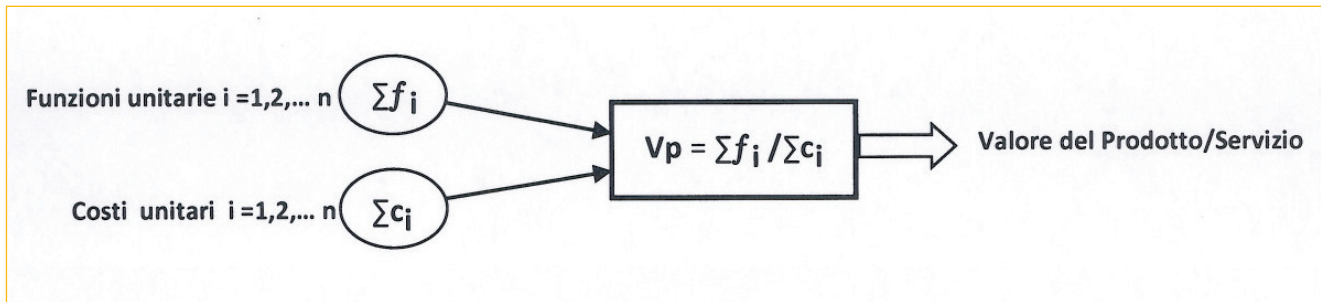


FIGURA 1 Esempio "Pattern del Valore" (Modello di Conoscenza)

mano il concetto di conoscenza efficiente [10,11]. Questo nuovo bisogno, può essere soddisfatto solo con un *approccio sistematico e interdisciplinare* alla risoluzione dei problemi e con la introduzione di strumenti di *capitalizzazione e valorizzazione della conoscenza*. Qui entrano in gioco i *Modelli di Conoscenza* come *chiavi di lettura della complessità*, ovvero come dei *componenti riconoscibili (pattern)* di un "puzzle", mediate i quali si è in grado di individuare e fissare dei punti di riferimento e risolvere efficacemente e velocemente il puzzle stesso. In altri termini, modelli di conoscenza come *catalizzatori* (scorciatoia) dei processi cognitivi per aumentarne l'efficienza. L'approccio dei *modelli di conoscenza* è stato presentato ufficialmente da uno degli autori di questo articolo per la prima volta nel 1993 a Palermo, in occasione del Congresso ANDIS (*Associazione Nazionale di Ingegneria Sanitaria Ambientale*) [13], come *sviluppo di un sistema esperto per la gestione dei processi biologici di depurazione delle acque*, dimostrando come fosse possibile prevenire le anomalie di processo, incrociando i dati chimico-fisici di processo, con le informazioni quali-

quantitative relative al comportamento biologico (non-deterministico) dei microorganismi depurativi. Un modello di conoscenza può essere costituito in generale da uno o più pattern (correlati tra loro) e quindi, non è qualcosa di necessariamente complicato, anzi può essere molto semplice: vale la pena di illustrare il tipico esempio che si riferisce all'espressione del *Valore di un prodotto/servizio* [Figura 1].

Se un prodotto/servizio fornisce le funzionalità $[f_1+f_2+f_3]$, il costo di produzione corrispondente sarà $[c_1+c_2+c_3]$ e pertanto:

1. se si sbaglia a fornire una o più funzionalità $[f_i]$ perché non corrispondente a quanto richiesto o perché non necessaria, si avrà comunque un costo corrispondente $[c_i]$ e quindi, il Valore V_p sarà inferiore al dovuto: ciò esprime il *concetto di Qualità del Prodotto/Servizio*;
2. se a parità di $[f_i]$, riduco i costi $[c_i]$ dislocando l'azienda in paesi dell'estero ove è possibile farlo o acquistando materie prime più economiche, il Valore V_p aumenta (virtualmente), ma dal momento che $[c_i]$ (al denominatore) può al limite tendere a zero, in tal caso il

prodotto/servizio è inevitabilmente perso: ciò esprime il concetto di *una Visione (suicida) di Cash-Flow di breve periodo del Prodotto/Servizio*;

3. *solo migliorando e incrementando le $[f_i]$, ovvero investendo in ricerca e innovazione si ha che il Valore si incrementa realmente* (al limite all'infinito) ed è in grado di competere sul mercato: ciò esprime il *concetto di una Visione (imprenditoriale) di medio-lungo periodo del Prodotto/Servizio*.

Come è facile constatare, un semplice rapporto V_p come quello sopraindicato esprime da solo, *un pattern o modello di conoscenza*, che se fosse stato utilizzato dalla politica economica degli ultimi vent'anni, avrebbe portato molto probabilmente, il nostro Paese a rafforzare il cosiddetto "Made in Italy" evitando la svendita del patrimonio nazionale e delle sue aziende migliori [12].

Concetti e principi base

Scendendo più in profondità nei *modelli di conoscenza*, è possibile enucleare alcuni principi sui quali si basa applicazione della metodologia, riportati qui di seguito:

1. **Catena della Conoscenza** [Figura 2]: è il principio della Knowledge Chain DIKW (Data/Info/Knowledge/Wisdom) nel quale si distinguono i “dati” dalle “informazioni” e queste ultime dalla “conoscenza”, fino ad arrivare al concetto di “saggezza”. I dati sono definibili come *entità statiche*, “fotografie” di fatti e sono quindi espliciti, in genere sono espressi in forma alfanumerica, prodotti da fonti (database, sensori,...) che ne condizionano poi la loro “qualità”. Le informazioni sono *entità dinamiche ed evolutive*, caratterizzate da un proprio *ciclo di vita*, nascono in forma *esplicita o latente*, sono *correlate* ad uno o più processi (mentali, personali, ambientali, produttivi ecc.) ed esercitano su tali processi una propria *influenza* (o “peso”). Ad esempio: misurando la temperatura, la pressione atmosferica e l’umidità relativa esterna (dati), si ottiene un’informazione che può essere correlata all’abbigliamento da indossare (processo), condizionata dal “peso” che la stessa informazione ha su una de-

terminata persona piuttosto che su un’altra; dura lo spazio temporale (*ciclo di vita*) limitato alla rispettive necessità di uscire da casa. La *catena della conoscenza DIKW* non è solo un legame funzionale, ma esprime anche una “azione”: “La conoscenza è informazione in azione” [14,15,16,17]. Con riferimento al DIKW e alle precedenti considerazioni, si potrebbe quindi definire la conoscenza come *la facoltà umana risultante dall’interpretazione delle informazioni finalizzata all’azione (Knowledge in Action), ovvero il risultato di un processo di inferenza e di sintesi (ragionamento), a partire da dati verso la saggezza* (come ulteriore livello di astrazione dalla conoscenza acquisita).

2. **Indipendenza Strutturale della Conoscenza dal contesto di riferimento**: è il principio base più innovativo ed esprime l’indipendenza della struttura della conoscenza rispetto al contesto (lessicale, tematico) in cui essa stessa si riferisce, sulla base del quale è possibile enucleare concetti di

conoscenza condivisa, derivanti ad es. dall’esperienza popolare, piuttosto che dalle leggi rigorose della Fisica o dell’Economia, come sintesi concettuale trasversale e ricorrente (*pattern*), espresse in un linguaggio *normalizzato* e universale come quello logico-matematico [19]. *I processi di ragionamento* fattori di conoscenza, non sono “figli unici di madre vedova”, ma seguono *dinamiche trasversali e interdisciplinari* che sono ricorsive secondo classi funzionali, in relazione ad un *sistema inerziale* di riferimento, nel quale valgono universalmente *i principi base della natura e dell’uomo* (v. *Piramide dei Bisogni Primari* di A. Maslow [18], a prescindere da contesti linguistici, dagli scenari tecnologici, politici e di mercato del momento. Un esempio per tutti: l’*Ingegneria Biomedica* è nata quando finalmente discipline diverse, come la medicina, la fisica, l’ingegneria, la biologia ecc., si sono incontrate “*interdisciplinarmente*” nel suddetto *sistema di riferimento inerziale*, con il fine di soddisfare un

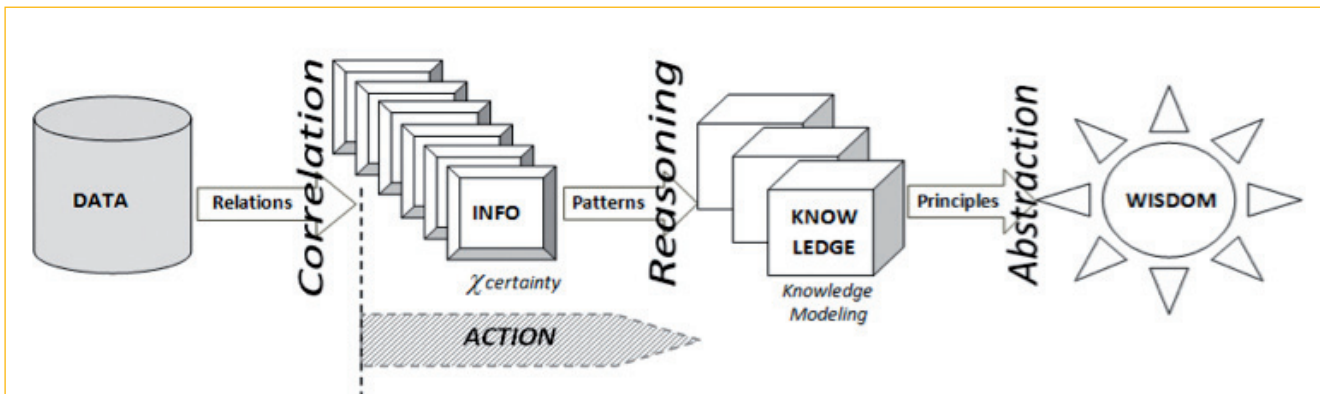


FIGURA 2 La Catena della Conoscenza DIKW



bene primario come quello della salute. L'esistenza di una *struttura comune della conoscenza* consente un'interazione più facile con nuove aree di conoscenza e favorisce lo sviluppo dell'approccio di *ragionamento interdisciplinare* [12]. L'utilizzo strumentale di questi *pattern* e, in senso più ampio, dei *modelli di conoscenza* nei processi cognitivi (umani e informatici) fornisce, in analogia alla funzionalità dei *catalizzatori* nei processi chimici, l'indubbio vantaggio di generare *soluzioni più valide nel minor tempo*, rappresentando al tempo stesso un utile *strumento di supporto decisionale e, in ultima analisi, di capitalizzazione del valore della conoscenza*.

3. *Propagazione del Grado di Certezza (vs Probabilità)*: la consueta mancanza, nei casi reali (processi industriali, ambientali e non solo), di "dati" sufficientemente numerosi e rappresentativi di un prefissato fenomeno in esame, può essere in molti casi "compensata" dai modelli di conoscenza, mediante il *principio della propagazione del "Grado di Certezza"* [20], sulla base del quale è possibile "by-passare" i limiti dell'approccio tradizionale *statistico e probabilistico*, utilizzato nello sviluppo di strumenti inferenziali complessi (v. "Reti Bayesiane"). Rimandando gli approfondimenti ai testi di riferimento [20,21], è possibile dare una idea "intuitiva" della differenza tra *approccio basato su sul grado di certezza*, rispetto a quello *statistico e probabilistico*: se si dovesse scegliere tra un biglietto della lotteria che ha un *grado di*

certezza del 70% di essere vincente ed un altro che ha una *probabilità di vincita del 70%*, quale sceglieremmo? La statistica si basa in genere su dati storici che non sempre sono rappresentativi di una realtà in evoluzione veloce e la probabilità del 70% ci dice soltanto che nello "storico" si è verificata il 70% delle vincite, ma nessuna assicurazione di vincita nel caso in esame. Un modello di conoscenza con il 70% di certezza di vincita, significa che abbiamo ricevuto *informazioni a favore del fatto che il biglietto fosse vincente*, con un grado di fiducia del 70% (maggiore del limite dell'incertezza del 50%), mentre per il restante 30% non abbiamo informazioni o queste sono contrastanti. Nella realtà, spesso viene confusa ad es. l'*esistenza* di un fenomeno con la *frequenza* con cui esso appare, fino a commettere l'errore di negarne l'esistenza soltanto perché "poco probabile": è superfluo sottolineare come le catastrofi che puntualmente si verificano (in Italia e nel mondo) in occasione di ogni evento naturale "anomalo", siano anche frutto di valutazioni a bassa probabilità [21].

4. *Computazione Non-Deterministica*: poniamoci la seguente domanda: *nel prendere una decisione, il nostro cervello risolve un sistema di equazioni o risolve per caso un'espressione algebrica?* Certo che no. Allora forse c'è un "gap" tra quello che abbiamo imparato a scuola nell'ambito delle *computazione di dati* (v. *Matematica*) e il modo "naturale" di *computare informazioni proprie del nostro cer-*

vello e poi trasferito alle macchine (v. *Intelligenza Artificiale*). È possibile un tipo di "computazione non deterministica" (calcolo qualitativo di tipo "Fuzzy") che ci consente di fare operazioni con le "informazioni", anche se esse si presentano incomplete o incerte (a differente % di certezza), in aggiunta a quanto siamo abituati a fare, con i soli "dati", ovvero con il *contenuto informativo* che i dati possono o meno esprimere [12]. In generale, un dato può essere considerato come un "insieme" che ha un contenuto informativo percentualmente differente a seconda del contesto e del target a cui è destinato. Ritornando all'esempio precedente sulle condizioni atmosferiche, un valore di *temperatura dell'aria esterna* di 15 °C rispetto alla scelta di vestirti in maniera adeguata per uscire di casa fornisce una indicazione decisionale solo parziale (% certezza), se non è sovrapposta alle altre informazioni come ad es. *la pressione atmosferica e l'umidità relativa*. L'insieme risultante dall'intersezione dei tre insiemi di partenza ottenibile rispetto ad un target di "tempo di pioggia" o di "tempo soleggiato", fornisce un valore % risultante di certezza più elevato rispetto a quello che ciascun dato di partenza può esprimere singolarmente [19].

5. *Modellazione Reticolare della Conoscenza*: dal punto di vista logico, ogni modello di conoscenza può essere rappresentabile da una "cella informativa base" (*pattern*) dotata di "n" dati/info in ingresso (*input*) e "m" meta-informazioni

in *output*: all'interno della cella è possibile avere differenti relazioni di *inferenza input/output*: dalla semplice inferenza XY (curva di conoscenza $n=1, m=1$), fino a intere matrici "n*m" inferenziali. Gli "m" *output* di una cella possono a loro volta diventare in parte o in toto, *input* per un'altra cella e così via fino a realizzare una rete di celle in grado di elaborare un numero teoricamente infinito di informazioni.

Un processo tipico di "modellazione" della conoscenza, soprattutto nella realizzazione di *sistemi on-line di controllo*, segue alcuni passi fondamentali come la *formalizzazione e validazione* dei dati acquisiti da sorgenti eterogenee esterne, la *normalizzazione* rispetto ai range di operatività, l'*inferenziazione* di *cross-matching (inferentiation-integration-data fusion)*, la *de-normalizzazione* dei risultati target ottenuti (Figura 3). Dal punto di vista concettuale [12], questo processo di *modellazione della conoscenza* è raffigurabile anche come una *rete neurale artificiale* costituita da "nodi" (neuroni) come *unità base di elaborazione delle informazioni (Basic-Info)* e "collegamenti" (sinapsi) come adduttori di inferenza caratterizzata da un grado di certezza ("peso" dinamico non probabilistico).

Grado di innovazione rispetto allo "Stato dell'Arte"

Il grado di innovazione di questa metodologia rispetto allo "Stato dell'Arte", risiede essenzialmente nei seguenti punti:

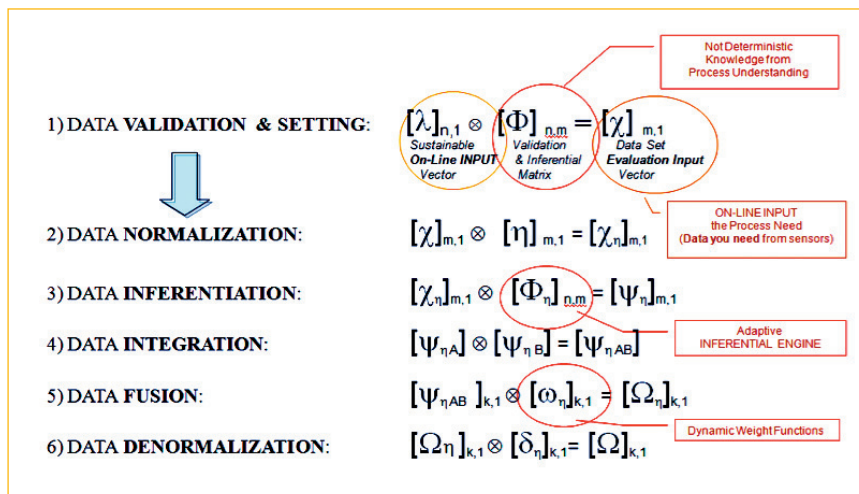


FIGURA 3 Processo tipico di Modellazione della Conoscenza (Knowledge in Action)

- rispetto alle *Reti Neurali Artificiali (ANN)* ogni nodo-neurone *i-esimo* è in grado di elaborare dinamicamente un numero elevato di input/output (multidimensionalità inferenziale), anziché un solo input/output con un'unica (e spesso statica), funzione di inferenza (attivazione);
- l'elaborazione inferenziale all'interno di ciascun nodo ha un adattamento continuo (apprendimento), ma rimane sempre "visibile": è possibile in ogni momento ispezionare la configurazione di ciascun nodo della rete e dei relativi *collegamenti-sinapsi*, per cui il processo cognitivo è sempre tracciabile (cosa in genere non possibile nelle ANN);
- rispetto ai tradizionali procedimenti statistico-probabilistici, la metodologia basata sui modelli di conoscenza opera essenzialmente sulla propagazione del *grado di certezza* dei contenuti informativi, secondo un *processo incrementale*

che ne riduce progressivamente l'errore, ottimizzando realisticamente il valore del processo cognitivo [9]. Ad es., se sono disponibili tre informazioni su un determinato argomento (target) e supponiamo che la prima abbia un "contenuto" (rispetto al target) del 30%, la seconda il 45% e la terza il 25%: la loro "computazione" di certezza rispetto al target non è 100% (come nella somma algebrica), ma del 71,123%, con un residuo del 28,875% di incertezza. Un'ulteriore informazione disponibile agirà su quest'ultimo residuo %, riducendolo ulteriormente. In questa computazione "insiemistica" si propaga solo ciò che è condivisibile tra un'informazione e l'altra e quindi, vengono progressivamente eliminate le parti di informazione "non-condivisibile", vale a dire gli errori. Ciò cambia totalmente il punto di vista rispetto al problema della disponibilità di dati storici e dei

campioni statisticamente significativi, essendo in grado di utilizzare tutte le *informazioni quantitative, qualitative* o anche *incerte* di cui si è a disposizione, giungendo *sempre* ad una conclusione, con un *livello di qualità* ovviamente direttamente proporzionale alla stessa qualità degli input.

Campi di applicazione

L'utilizzo della metodologia basata sui modelli di conoscenza offre diverse possibilità, anche con riferimento sia ai sistemi *on-line/real-time* e di *Early-Warning (EWS)*, sia ove vi sia la necessità di supportare la diagnostica e la presa di decisione, particolarmente in situazioni caratterizzate da interdisciplinarietà, eterogeneità quantitativa e qualitativa dei dati, come ad es., nei processi ambientali, nella gestione dei processi industriali e addirittura, nella valutazione di beni intangibili come ad es. il valore della conoscenza stessa. Le esperienze applicative dei modelli di conoscenza sviluppate dal 1993 ad oggi, riguardano soprattutto l'ambito dei Sistemi Esperti di Supporto alle Decisioni, dei Sistemi *on-line/real-time* di Monitoraggio "*Consapevole*" e dei *Sensori Software Intelligenti*.

In particolare, sono stati realizzati sistemi per:

1. *la rilevazione early-warning del rischio/credito;*
2. *per il recupero di centri storici post-sisma;*
3. *sistemi di controllo processo* in ambito alimentare (mosto/vino, olio d'oliva extravergine, caseario),
4. *il monitoraggio on-line della qua-*



FIGURA 4 Impianto realizzato da ENEA in collaborazione con i partner nell'ambito di detto progetto.

lità delle acque e del loro trattamento depurativo;

5. *il controllo early-warning degli Incendi boschivi e della salvaguardia ambientale;*
6. *il monitoraggio early-warning degli odori molesti da impianti di trattamento rifiuti;*
7. *il controllo energy saving di processi biologici;*
8. *la gestione early-warning/predittiva della manutenzione di impianti industriali;*
9. *diversi studi fattibilità operativa.*

Viene qui di seguito illustrato un caso applicativo riguardante l'applicazione di un sistema esperto *on-line/real-time* che utilizza una "modellazione reticolare della conoscenza" e in grado di gestire autonomamente la scelta dei reflui idonei al riutilizzo, in un ambito industriale tessile.

Un caso studio: il progetto BATTLE

Il progetto BATTLE (*Best Available Technique for water reuse in Textile SMEs*) di cui ENEA è stato il beneficiario, propone una nuova tecnologia di selezione e trattamento dei reflui industriali, che consente il riutilizzo di circa il 50% dell'acqua di processo in industrie tessili. Il progetto è stato ammesso a cofinanziamento nel programma LIFE III nel 2005, e si è svolto in un periodo di 3 anni (dal 1 dicembre 2005 al 30 novembre 2008). Il progetto oltre ad ENEA ha visto la partecipazione di altri 5 partner industriali e istituzionali di cui uno belga.

Gli obiettivi dichiarati e pienamente raggiunti sostanzialmente si possono riassumere in tre punti:



FIGURA 5 Alcune videate del software XBASE del sistema esperto [25,26] dove viene visualizzata la struttura inferenziale reticolare dei modelli di conoscenza e il contributo di certezza (barre in colore scuro) fornito dalle informazioni rilevate dai sensori

1. Valutare l'applicabilità delle BATs (Best Available Techniques) nelle PMI del settore tessile, per l'implementazione della direttiva europea 96/61/CE o direttiva IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control).
2. Sviluppare un sistema innovativo per il riciclo dell'acqua di lavorazione all'interno di un'industria tessile, al momento non contemplata nei documenti di riferimento per il settore (BREF Textile). Il sistema sarà proposto come BAT di riferimento per le PMI.

3. Attrarre l'attenzione sull'importanza dei benefici e delle opportunità derivanti dall'implementazione delle migliori tecnologie disponibili all'interno delle PMI europee.

Il concetto innovativo, vero fulcro del progetto, si basa sulla sinergia tra un sistema esperto implementato con una "Modellazione Reticolare della Conoscenza" (XBASE [12,25,26]) e corredato da sistemi analitici on-line in grado di gestire autonomamente la scelta dei reflui idonei al riutilizzo con un sistema di

ultrafiltrazione di ultima generazione a basso impatto energetico ed ambientale.

L'impianto sviluppato, costruito e avviato presso la Tintostamperia di Martinengo (Bergamo) dopo una fase di avviamento è attualmente in funzionamento continuo ed è in grado di recuperare circa 350 m³/giorno di acqua con dei picchi di 500 m³ che rappresentano circa il 50% dell'acqua che attualmente la PMI end user utilizza e quindi, preleva dai pozzi.

Tale realizzazione è una palese

dimostrazione di come sia possibile effettuare un'intervento di eco-innovazione in scala impiantistica significativa nell'ambito dei programmi e delle direttive comunitarie. In particolare, è utile sottolineare come da incontri

e visite effettuate da dirigenti di Confindustria di Bergamo, sia palese l'interesse per lo sviluppo e la replica di questo approccio impiantistico in altre realtà idroesigenti presenti nell'indotto industriale bergamasco. Per ultimo

è utile puntualizzare come questo approccio innovativo possa essere utilizzato, con i dovuti aggiustamenti processistici, anche in altri comparti produttivi, idroesigenti in termini di qualità e quantità e non solo. ●

bibliografia

1. History of Artificial Intelligence - http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_artificial_intelligence
2. Scienze Cognitive - http://it.wikipedia.org/wiki/Scienze_cognitive
3. Cognitive Science - <http://bcs.mit.edu/research/cognitivescience.html>
4. Knowledge Engineering - http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_engineering
5. Feigenbaum, Edward A.; McCorduck, Pamela (1983), *The fifth generation* (1st ed.), Reading, MA: Addison-Wesley, ISBN 9780201115192, OCLC 9324691
6. Knowledge Representation and Reasoning - http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_representation_and_reasoning
7. Knowledge Modeling - State of the Art - Vladan Devedzic - Department of Information Systems, FON - School of Business Administration - University of Belgrade - <http://www.tarrani.net/kate/docs/KnowledgeModeling.pdf>
8. Common Sense - http://en.wikipedia.org/wiki/Common_sense
9. Certainty - <http://en.wikipedia.org/wiki/Certainty>
10. L'economia della conoscenza nel capitalismo delle reti – Enzo Rullani - www.sinergiejournal.it/rivista/index.php/sinergie/article/download/246/269+&cd=5&hl=it&ct=cnk&g=it
11. Il Valore della Conoscenza nell'Era della Net Economy (3° parte) – Giovanni Mappa – <http://www.outsidernews.net/il-valore-della-conoscenza-nellera-della-net-economy-3-parte/>
12. Interdisciplinary Thinking by Knowledge Synthesis – Giovanni Mappa – Il Mio Libro Editore (2011). <http://lmiolibro.kataweb.it/schedalibro.asp?id=647468>
13. G. Mappa, A. Sciarretta, S. Moroni e M. Allegretti (1993), "Sistema Esperto per la Gestione degli Impianti di Trattamento delle Acque Urbane" Congresso Biennale ANDIS'93 Palermo 21-23 settembre Vol.II 1993
14. The Data, Information, Knowledge, Wisdom Chain: The Metaphorical link - Jonathan Hey - December 2004 <http://www.dataschemata.com/uploads/7/4/8/7/7487334/dikwchain.pdf>
15. Carla O'Dell and C. Jackson Grayson, Jr. - *If Only We Knew What We Know*, Free Press, 1998.
16. George Boole di Andrea Pedeferry - http://www.aphex.it/public/file/Content20100904_APhExProfilIBoolePedeferry.pdf,
17. Data, Information, Knowledge, Wisdom: A Doubly Linked Chain? - Syed Ahsan - Abad Shah <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.89.5378&rep=rep1&type=pdf>
18. Abraham Harold Maslow, *A Theory of Human Motivation*, *Psychological Review* 50(4) (1943):370-96.
19. La seconda rivoluzione scientifica: matematica e logica. La matematizzazione della biologia e la biomatematica - Giorgio Israel [http://www.treccani.it/enciclopedia/la-seconda-rivoluzione-scientifica-matematica-e-logica-la-matematizzazione-della-biologia-e-la-biomatematica_\(Storia-della-Scienza\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/la-seconda-rivoluzione-scientifica-matematica-e-logica-la-matematizzazione-della-biologia-e-la-biomatematica_(Storia-della-Scienza)/)
20. The Certainty-Factor Model - David Heckerman - Departments of Computer Science and Pathology University of Southern California- <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/heckerman/h92encyclopedia.pdf>
21. Inferenza statistica: scimmiette e cattivi maestri – Alfredo Rizzi - Dipartimento di Statistica, Probabilità e Statistiche applicate, Piazza A. Moro 5, 00187 Roma - members.xoom.virgilio.it/marcotinelli/Inferenza%20statistica.doc
22. Pejman Makhfi – Introduction to Knowledge Modeling (2013) - http://www.makhfi.com/KCM_intro.htm#What
23. Kendal, S.L.; Creen, M. (2007), *An introduction to knowledge engineering*, London: Springer, ISBN 9781846284755, OCLC 70987401
24. Mohsen Kahani – "Expert System & Knowledge Engineering in Wikipedia" (2012)
25. N. Brancati, G. Mappa (2009) "Capturing Knowledge in Real-Time ICT Systems to Boost Business Performance" ANOVA - Cognitive and Metacognitive Educational Systems: Papers from the AAAI Fall Symposium (FS-09-02)
26. EDILMED Convegno "Tecnologie Post Industriali trasferibili all'Architettura e all'Edilizia" Mostra d'Oltremare 19-21 maggio. Presentazione relazione su XBASetool: "La Tecnologia dei Sistemi Esperti nell'Edilizia: Qualità Edilizia e Manutenzione Intelligente" G. Mappa Napoli, 1995.
27. L. Carlucci Aiello, M. Cialdea Mayer, *Invito all'intelligenza artificiale*. Franco Angeli, Milano 1995
28. G. Mappa "Distributed Intelligent Information System for Wastewater Management Efficiency Control", INFOWWATER Wastewater Treatment Standards and Technologies to meet the Challenges of 21st Century 4-7th April 2000 AD – Queen's Hotel, Leeds, UK 2000
29. G. Mappa, et Alii, "Sistema di monitoraggio e gestione del trattamento delle acque croniche" AI'A99 – 6° Congresso della Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale 7 Settembre 1999 Facoltà di Ingegneria– BOLOGNA 1999
30. G. Mappa, R. Tagliaferri, D. Tortora, "On-line Monitoring based on Neural Fuzzy Techniques applied to existing hardware in Wastewater Treatment Plants" - AMSEISIS'97 - INTERNATIONAL SYMPOSIUM on INTELLIGENT SYSTEMS - September 12, 1997.
31. G. Mappa, "Distributed Intelligent Information System for Wastewater Management Efficiency Control" - Wastewater Treatment Standards and Technologies to meet the Challenges of 21st Century 4-7th April 2000 AD – Queen's Hotel, Leeds, UK.