



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI " FEDERICO II "

POLO DELLE SCIENZE E DELLE TECNOLOGIE

FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI CONFIGURAZIONE E ATTUAZIONE DELL'ARCHITETTURA

Dottorato di ricerca in

Tecnologia e rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente

– Ciclo XVII –

Indirizzo: Tecnologia dell'architettura

- SSD: ICAR/12 -

Tesi di dottorato di ricerca

Modelli per la gestione e manutenzione delle opere di architettura.

**Possibili applicazioni dell'analisi dei sistemi dinamici alla previsione e
valutazione della durabilità.**

Dottoranda

Giuseppina Fornaro

Docente Tutor

Prof. Arch. Umberto Caturano

Coordinatore

Prof. Arch. Virginia Gangemi





**Modelli per la gestione e manutenzione delle opere di architettura.
Possibili applicazioni dell'analisi dei sistemi dinamici alla previsione e valutazione della durabilità.**

Indice

Considerazioni introduttive	5
PARTE PRIMA. Modelli per la gestione delle opere di architettura	9
1. Modelli per il sistema tecnologico.....	9
1.1 Normativa UNI 8290	10
1.2 Piano di Classificazione PC/SfB.....	16
1.3 UNI 9038:1987 Guida per la stesura di schede tecniche per prodotti e servizi	23
2. Gestione del sistema tecnologico.....	25
2.1 Fase di gestione e aspetti gestionali del sistema tecnologico.....	25
2.2 Requisito di manutenibilità.....	30
2.2.1 Parametri per la stima della manutenibilità.....	31
2.3 Requisito di durabilità	33
2.3.1 Principali grandezze affidabilistiche e loro calcolo	35
3. Modello UNI per il processo manutentivo	40
3.1 Legislazione vigente.....	41
3.2 Normativa tecnica.....	43
3.2.1 Modello del processo tecnico-gestionale	44
3.2.2 Sistemi informativi.....	46
3.2.3 Tipologia e struttura dei manuali	47
3.3 Conclusioni	49
PARTE SECONDA. Analisi dei Sistemi Dinamici	52
4. Genesi della teoria dei sistemi dinamici.	52
4.1 Origine e primi sviluppi della Teoria dei sistemi.	52
4.2 Cibernetica e feedback.....	53
4.3 Pensiero sistemico applicato	55
4.4 Concetto di auto-organizzazione degli anni '70 e '80.....	56
4.5 Teoria dei sistemi dinamici.....	57
4.6 Il progetto come sistema dinamico adattivo: le ipotesi di Ciribini.....	59
5. Discipline, metodi e strumenti per la modellazione dei sistemi dinamici.....	64
5.1 Concetti e definizioni di base.....	65
5.2 Analisi e studio dei sistemi.....	73
5.2.1 Definizione del problema.....	74
5.2.2 Identificazione dei componenti e delle loro relazioni	75
5.2.3 Sviluppo di modelli logico-matematici.....	76
5.2.4 Analisi del comportamento sistemico e soluzione del problema	80
5.3 Modellistica e simulazione.....	81
5.3.1 Modellistica e simulazione quantitativa.....	83
5.3.2 Modellistica e simulazione qualitativa.....	88
5.4 Raccolta di modelli di sistemi dinamici.....	96
5.4.1 Schema generale per la catalogazione dei modelli	96
5.4.1 Modelli di sistemi a variabile continua	97
5.4.2 Modelli di sistemi a variabile discreta	136



PARTE III Possibili applicazioni alla previsione e valutazione della durabilità	147
6. Metodologie proposte dalla normativa per la stima della durabilità	147
6.1 <i>“Working-life” e indicazioni della Direttiva Prodotti da Costruzione.....</i>	<i>147</i>
6.2 U86000053 Progetto di norma sulla <i>“Valutazione della durabilità dei componenti edilizi”</i> .	<i>151</i>
6.2.1 Valutazione del <i>“Reference Service Life”</i>	<i>151</i>
6.2.2 Valutazione del <i>“Estimated Service Life”</i>	<i>154</i>
6.2.2.a ISO 15686-8 Metodo fattoriale	<i>155</i>
6.2.2.b Metodo dei limiti prestazionali	<i>156</i>
6.2.2.c Metodo di valutazione basato su dati ricavati da edifici campione	<i>163</i>
6.2.3 U86000053-2: Metodo per la valutazione della propensione all'affidabilità.....	<i>165</i>
7. Individuazione delle potenzialità di trasferimento nell'ambito edilizio	173
7.1 <i>Requisiti e attività manutentive della classe di elementi tecnici “infissi esterni”</i>	<i>173</i>
7.1.1 Marcatura CE per i serramenti	<i>173</i>
7.1.2 Tipi di guasto e di intervento degli infissi esterni in materiale metallico	<i>175</i>
7.2 <i>Stima del “ Working Life” con “Fuzzy logic”</i>	<i>178</i>
7.3 <i>Ipotesi di applicazione della matrice di Leslie</i>	<i>181</i>
Bibliografia	184



Considerazioni introduttive

Il ruolo della fase di Gestione (e Manutenzione) nel Processo Edilizio, legata al concetto di “ciclo di vita”, ha reso la variabile “tempo” una variabile centrale per la conoscenza e la previsione dei processi che caratterizzano le condizioni di esercizio dell'organismo edilizio. Detta tematica è indiscutibilmente inclusa nell'area disciplinare ICAR/12 che fa esplicito riferimento alle “tecniche di trasformazione e manutenzione dell'ambiente costruito”. All'interno di tali tecniche trovano certamente spazio quelle che si riferiscono agli aspetti di modellazione e di strumentazione per la comprensione ed il controllo del processo edilizio. Tra questi svolge un ruolo importante la concezione sistemica che ha costituito il principio ispiratore del modello del sistema edilizio (normativa tecnica, UNI) strettamente collegato agli sviluppi dell'approccio esigenziale-prestazionale. All'inizio degli anni '80 furono, infatti, elaborate le prime norme relative alla scomposizione del sistema edilizio, alla classificazione delle esigenze dell'utenza e all'analisi dei requisiti: le norme UNI 8289 e 8290.

L'ipotesi di base che ha guidato la ricerca, parte dalla considerazione che gli strumenti e i modelli di interpretazione ed analisi delle opere di architettura attualmente disponibili, ancora essenzialmente basati sulle esperienze ricordate, sono nati principalmente con finalità di supporto alle fasi di progettazione e produzione, finalità diverse da quelle riservate alla fase gestionale del processo e, nello stesso tempo, che, altri ambiti disciplinari, che hanno una maggiore familiarità con problematiche legate alla gestione dei sistemi nel tempo, dispongono ormai di modelli di rappresentazione e strumenti di controllo di nuova generazione, dai quali può essere utile attingere. Questi strumenti, in accordo con le normative vigenti, potrebbero aiutare nella gestione della qualità nel tempo e nell'utilizzo corretto delle risorse disponibili ottimizzando i rapporti costi-benefici.

Per raggiungere quest'obiettivo ho cominciato analizzando a fondo gli strumenti di cui dispone attualmente la tecnologia dell'architettura cercando di definire le principali problematiche relative alla gestione e manutenzione delle opere di architettura e successivamente ho affrontato lo studio della modellazione in altri ambiti disciplinari orientati all'analisi e alla previsione del comportamento nel tempo dei sistemi di loro pertinenza.

Lo studio e l'analisi della normativa UNI, rivela il diffuso interesse per l'approccio sistemico e l'esigenza e l'opportunità di utilizzare strumenti adeguati per risolvere molte delle problematiche relative alle varie fasi del processo edilizio. È indicativo in tal senso che con la norma UNI 10838 del 31/10/99 (Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia), la precedente nozione di “sistema edilizio” della norma UNI 7867-4 sia stata sostituita da quella più adeguata di “organismo edilizio”, definito come “Insieme strutturato di elementi spaziali e di elementi tecnici, interni ed esterni, pertinenti all'edificio, caratterizzati dalle loro funzioni e dalle loro relazioni reciproche”. Questo nuovo impulso che tende ad esaltare la natura bio-fisica degli edifici, conduce lo studio e la progettazione delle opere di architettura verso un grado di complessità paragonabile quasi a quello degli organismi viventi che rappresentano l'emblema dei sistemi complessi.

“Per assumere decisioni in sistemi complessi è necessario un opportuno riferimento concettuale: il pensiero sistemico. Si tratta di un approccio che studia i sistemi complessi, utilizzando il linguaggio della dinamica dei sistemi. Per sua natura, l'approccio sistemico ad un problema presenta caratteristiche di trasversalità rispetto alle discipline più tradizionali, nel tentativo di comprendere il problema stesso, da un punto di vista integrato”.¹

Lo studio dei modelli adottati in altri ambiti ha richiesto un notevole impegno. È stato necessario, infatti, un lungo periodo di studio dedicato a comprendere ed analizzare i concetti fondamentali e i

¹ Motta A., Gambigliani Zoccoli G., *Le discipline della learning organization*, www.nt-notes.liuc.it/MaterialeAggiuntivo/Econ/StrPolAzII/default.htm



principi di base da cui parte l'analisi dei sistemi dinamici e a familiarizzare con un linguaggio matematico che per cultura non ci appartiene. Ciò mi ha costretto a seguire le tappe basilari dell'intero processo evolutivo partendo dalla fisica, dove ha avuto origine lo studio dei sistemi dinamici, per passare all'ingegneria dei sistemi (teoria dei sistemi e ingegneria gestionale), quindi all'economia, fino all'ecologia che meglio di tutti affronta problematiche inerenti i sistemi complessi.

Alla fine di questo segmento del percorso, ho selezionato una serie di modelli di sistemi dinamici, di varia tipologia e provenienza che ho catalogato con l'ausilio di una scheda sintetica, nella quale ho cercato di riassumere le principali caratteristiche di ciascun modello, operazione non sempre agevole e controllabile.

Nel corso degli ultimi trent'anni, la "Teoria della modellazione dinamica", settore della matematica applicata che nasce dalla Teoria dei Sistemi dinamici, ha fatto straordinari passi in avanti fino a coinvolgere molteplici applicazioni in numerosi campi. Questo strumento matematico per lo studio dei sistemi complessi, è oggetto di particolare attenzione all'estero, soprattutto negli Stati Uniti, già dalla prima metà degli anni '80. Una sintesi abbastanza esaustiva della portata, della nascita e del successivo sviluppo di questo nuovo approccio è stata elaborata dal matematico M.Sandri:

"La teoria dei sistemi complessi è un ricco e variegato corpo di idee che affonda le proprie radici nei più recenti sviluppi di numerose discipline: dalla fisica alla medicina, dalla biologia all'antropologia, dall'economia e la sociologia alla chimica e la psicologia. Numerosi contributi, inizialmente nati in seno a specifici e assai diffusi campi del sapere, sono stati raccolti e organizzati in questi due ultimi decenni all'interno di una nuova scienza che è caratterizzata da una transdisciplinarietà mai prima registrata nel campo della ricerca scientifica. Una nuova scienza che, secondo l'opinione di molti, caratterizzerà la nostra epoca e la farà ricordare come "l'era della complessità". Identificare una precisa data di nascita di questa scienza non è possibile. Due eventi, quasi concomitanti, vanno però senz'altro ricordati: la creazione nel 1984 del "Santa Fe Institute", nel New Mexico, a opera di George Cowan e, nel 1986, del "Centre for Complex Systems", presso l'Università dell'Illinois, sotto la direzione di Stephen Wolfram. Sin dai suoi inizi il Santa Fe Institute ha in particolare raccolto studiosi provenienti dalle discipline più disparate (economisti, fisici, biologi, amministratori, matematici, antropologi, ecc.), ponendoli nelle condizioni di dialogare, di scambiarsi idee e conoscenze e di lavorare a stretto contatto sul comune tema della complessità".²

In Italia, solo di recente, si assiste ad un interesse sistematico intorno a questi temi, supportato dalla istituzione di centri dedicati a questo tipo di studi e ricerche. Al momento, in ambito accademico, ne sono stati rilevati due: *L'Istituto di Studi Superiori di Scienze Umane* presso il Politecnico di Torino, e il *Centro Interdipartimentale per lo Studio dei Sistemi Complessi (C.S.C.)* presso l'Università di Siena. Per comprendere a fondo le finalità prefissate e le attività previste, può essere utile, in questo momento, fare riferimento ai documenti pubblicati dagli stessi centri.

L'Istituto di Studi Superiori di Scienze Umane, nasce all'interno di discipline filosofiche e oggi può contare sull'appoggio dell'I.S.I., fondazione che si occupa di promozione e ricerca scientifica in ambito internazionale.

"L'Istituto di Studi Superiori di Scienze Umane è stato costituito dal Senato Accademico del Politecnico di Torino per coordinare e promuovere formazione e ricerca sulle molte interfacce che oggi connettono innovazione tecnologica e organizzazione della società e dell'impresa. Una scelta precisa e delimitata: ripensare e riproporre una cultura politecnica (non la giustapposizione di due culture) in grado di misurarsi con la straordinaria complessità di scelte (come, ma sono puri esempi,

² *La complessità: verità acquisite e falsi miti*, www.farindustria.it/farindustria/documenti/007/economia1.doc



quelle ambientali o biotecnologiche) che misurano la correttezza dell'impostazione seguita sul "progetto", non solo sulle metodologie scientifiche utilizzate".³

Il *Centro Interdipartimentale per lo Studio dei Sistemi Complessi* (C.S.C.), istituito nel 2000, sembra avere un approccio rivolto agli aspetti più operativi del nuovo paradigma scientifico come testimoniano le attività del centro, diretto dal Prof. Antonio Vicino del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione. Al centro aderiscono anche altri dipartimenti quali: Dipartimento di Chimica, Dipartimento di Economia Politica, Dipartimento di Filosofia e Scienze Sociali, Dipartimento di Scienze Ambientali, Dipartimento di Scienze Neurologiche e del Comportamento.

“L'obiettivo scientifico del C.S.C. è quello di favorire lo sviluppo di metodologie di analisi e sintesi a valenza transdisciplinare, che trovano riscontro in campi diversi come la fisica, l'ingegneria, la biologia matematica, la genetica, le scienze cognitive, l'economia. Il C.S.C. ha come riferimento centri analoghi in altre prestigiose sedi universitarie, quali *Santa Fe Institute* (Santa Fe, New Mexico), *Center for Complex Systems Research* (Urbana, Illinois), *The Centre for Nonlinear Dynamics in Physiology and Medicine* (McGill University), *Center for Non linear Studies* (Los Alamos, New Mexico). Le iniziative scientifiche di cui il C.S.C. si è fatto promotore dalla sua costituzione si sono concretizzate in numerosi cicli di seminari che hanno permesso l'instaurarsi di collaborazioni di ricerca con importanti strutture straniere quali l'Istituto di Finanza dell'Università della Svizzera Italiana (Lugano), il Dipartimento di Financial Engineering della City University (Londra), il Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano, la University of Massachusetts, il Santa Fe Institute, l'Institute for Environmental Engineering Research (Villanova University). [omissis]. L'idea di creare una struttura transdisciplinare nasce dalla consapevolezza che differenti settori di ricerca affrontano spesso problemi comuni: la fusione di tecniche e linguaggi propri di differenti campi scientifici fornisce nuovi punti di vista e nuove soluzioni a tali problemi”.⁴

Un esplicito riferimento all'utilità dei nuovi strumenti operativi nel settore della tecnologia si può osservare nel master organizzato dall'Università degli studi di Roma “La Sapienza”, sulla “Gestione per l'emergenza”, presso il Dipartimento di Informatica e Sistemistica “A.Ruberti” dove alla presentazione del modulo tre “Le Tecnologie dell'Informazione per l'Emergenza” si afferma:

“Il progetto del sistema, ed in modo specifico dell'intervento, è inquadrabile in uno schema concettuale ricorrente di decisioni in funzione di obiettivi fissati ed informazioni acquisite, misurate e trasmesse. Seguendo questo approccio viene messo in luce in una prima fase come i paradigmi della teoria dei sistemi dinamici e del controllo possano aiutare a qualificare le prestazioni del sistema complessivo”.⁵

³ Presentazione dell'I.S.S.U., <http://www2.polito.it/offerta/isu/presen/presentazione.html>

⁴ *Attività del C.S.C.*, www.csc.unisi.it/italiano/attivita.php

⁵ Lombardo P. e Monaco S, “*Le Tecnologie dell'Informazione per l'Emergenza*”, <http://w3.uniroma1.it/masteremergenza/modulo3.html>



Sulla base di tali premesse, il **lavoro è articolato in tre parti** che corrispondono alle principali fasi del percorso di ricerca.

La prima parte si sofferma sui modelli delle opere di architettura allo scopo di verificare se possono essere considerati sufficientemente adeguati a descrivere le dinamiche temporali che caratterizzano la fase di esercizio di un organismo edilizio o devono essere opportunamente integrati. Ho tentato inoltre di definire le problematiche fondamentali delle fasi gestionali e manutentive, dimostrando che per la loro risoluzione, è indispensabile la stima della durabilità dei componenti edilizi.

La seconda parte inizia con una sintetica disamina dello sviluppo del pensiero sistemico con specifico riferimento a concetti che sono stati successivamente trasferiti nella tecnologia dell'architettura.

In particolare, la trattazione si sofferma, su quei campi in cui l'approccio sistemico si è maggiormente tradotto in applicazioni utili alla risoluzione di problemi concreti. In questa fase ho anche tentato di individuare le circostanze e le modalità con cui lo stesso è entrato nella tecnologia dell'architettura, grazie al lavoro di Ciribini, cercando poi di comprendere le motivazioni per cui è stato abbandonato mentre in altri settori disciplinari, pur così prossimi al nostro, ha dato origine a metodologie e strumenti applicativi.

Nel capitolo quinto lo studio si è concentrato sull'analisi della "modellazione dei sistemi dinamici". La lettura di questa parte richiede la conoscenza di semplici formalismi matematici ampiamente trattati nel biennio di tutte le facoltà scientifiche. Nello stesso capitolo ho riportato esempi applicativi relativi a svariati settori disciplinari.

La terza parte costituisce il cuore della ricerca e si basa sul confronto tra le indicazioni dedotte dallo sviluppo della prima e seconda parte. Dopo avere analizzato le metodologie disponibili per la stima della durabilità in ambito normativo nazionale e internazionale, ho tentato di sperimentare una possibile applicazione di alcuni degli strumenti analizzati e ho potuto verificare come con una semplice rappresentazione matematica del sistema edilizio è possibile risolvere abbastanza agevolmente alcuni problemi.

PARTE PRIMA. Modelli per la gestione delle opere di architettura

1. Modelli per il sistema tecnologico

La cultura progettuale è stata sempre profondamente legata alla prassi costruttiva che trova nei manuali, con la descrizione delle tecniche esecutive riferite alla “regola d’arte”, una solida e indiscutibile guida per la realizzazione delle opere di architettura. Questa forte e radicata tradizione rende difficile la diffusione di approcci che non facciano esplicito riferimento alla realtà fisica.

Tuttavia, le esigenze legate alla produzione industriale, agli aspetti normativi e alla comunicazione del progetto, hanno reso indispensabili nel tempo, modelli di riferimento capaci di descrivere l’organismo edilizio da diversi punti di vista.

In particolare, nella seconda metà degli anni ’40, in piena ricostruzione post-bellica, si apre in Italia il dibattito, soprattutto teorico, sull’approccio prestazionale alla tecnologia dell’architettura. Tale orientamento sarà formalizzato solo alla fine degli anni ’70 quando vengono elaborate le prime norme relative alla scomposizione dell’edificio e alla analisi dei requisiti.

“Alla luce delle esperienze condotte negli anni Ottanta è tuttavia possibile affermare che la diffusione dell’approccio prestazione presenta problemi di non piccola entità. I risultati deludenti ottenuti da molti appalti gestiti secondo la logica prestazionale sono una testimonianza concreta di queste difficoltà.”¹

A mio avviso e sulla scorta delle conoscenze attuali, ritengo che le difficoltà manifestate non dipendano da carenze concettuali² ma siano da attribuire al fatto che la logica prestazionale, non abbia ancora trovato una adeguata modalità espressiva attraverso cui gestire il processo progettuale.

L’ipotesi di Ciribini, come si vedrà meglio nel paragrafo dedicato, di applicare alla teoria prestazionale una concezione sistemica, non ha avuto ulteriori sviluppi dopo gli anni ’80. Probabilmente perché in quel momento storico non erano ancora disponibili tecniche di modellazione e strumenti di calcolo capaci di supportare un processo tanto complesso come quello progettuale.

L’approccio prestazionale è utilizzato per produrre modelli di funzionamento di singoli elementi tecnici, la cui elaborazione è stata stimolata dalla ricerca di soluzioni tecniche sempre più efficienti ed efficaci da parte dei produttori. Tali modelli, anche se parziali, costituiscono certamente un’ottima base di dati per la formulazione di modelli capaci di diventare strumenti operativi utili in tutte le fasi del processo edilizio.

Il modo di progettare di tipo tradizionale è oggi, probabilmente, insufficiente, sia per le nuove classi di esigenze (legate soprattutto alla gestione della qualità nel tempo e al controllo del processo) che in campo normativo si fanno sempre più pressanti, sia per la quantità di soluzioni tecniche innovative che il mercato dell’edilizia offre di continuo, e che rende difficile, in assenza di uno strumento di supporto idoneo, qualsiasi tipo di scelta.

¹ Campioli A., “La copertura nella manualistica. Regola d’arte e approccio prestazionale”, *Costruire in laterizio* n.59, 1997.

² L’approccio esigenziale è normalmente utilizzato in molti contesti industriali.



1.1 Normativa UNI 8290

Il concetto di sistema, tralasciando gli aspetti filosofici ed epistemologici dell'argomento, rappresenta un modello interpretativo utile per osservare e conoscere il mondo che ci circonda³. In letteratura esistono numerose definizioni del termine “*sistema*” nelle quali sono sempre riconoscibili due aspetti principali: l'interrelazione tra un insieme di elementi e l'unità globale di questi elementi posti in relazione⁴. La caratteristica dell'interconnessione da sola non può essere sufficiente per descrivere un sistema in quanto ne rappresenta esclusivamente l'aspetto statico. Occorre introdurre il concetto di *organizzazione* che fornisce una chiave di lettura per comprendere il modo in cui gli elementi si organizzano, modificando continuamente la loro configurazione, al fine di raggiungere una forma di equilibrio⁵ con l'ambiente nel quale il sistema è immerso.

Gli elementi e le relazioni del sistema si trasformano nel tempo con continuità e l'interesse fondamentale nello studio dei sistemi è nel prevedere il loro comportamento ossia la modalità e l'entità di tali trasformazioni.

Dagli anni '50 in poi si è assistito ad un crescente interesse verso l'applicazione dell'approccio sistemico e la nozione di sistema diventa un concetto chiave in tutti i campi della ricerca scientifica. Le radici di questo sviluppo sono da ricercare nell'aumento costante della complessità dei sistemi realizzati dall'uomo per i quali “la tecnologia è stata sospinta a pensare non tanto in termini di macchine singole, quanto in termini di sistemi”⁶.

Nel settore edilizio nel secondo dopoguerra si assiste ad una progressiva concretizzazione di tendenze che trovano la loro origine nell'epoca della Rivoluzione Industriale che segna la nascita della “teoria sistematica e razionale della produzione materiale”⁷. Questa applicazione porterà, in sintesi, ad una razionalizzazione dell'attività edilizia, all'impiego di manodopera sempre meno qualificata, al passaggio da un sistema prescrittivo ad un sistema normativo qualitativo, alla tipizzazione di modelli costruttivi, soprattutto per l'edilizia residenziale, e alla ricerca di innovazioni tecnologiche sempre più orientate alla prefabbricazione⁸.

Quest'ultimo aspetto determina, in particolare, una notevole riduzione della capacità di controllo della soluzione tecnica che non può essere più gestita sulla base sull'esperienza e rende necessaria l'adozione di nuovi strumenti per valutare l'attitudine all'uso del prodotto edilizio e per controllare il processo di produzione.

L'industrializzazione del processo edilizio induce ad affrontare il problema della costruzione come un qualsiasi problema industriale per il quale il dato di partenza è espresso in termini di prestazioni richieste e si ritengono valide tutte le soluzioni che rispondono alle esigenze manifestate dai soggetti destinatari del prodotto. È indicativa in tal senso la Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 4160 del 23/01/1968 relativa alla Coordinazione modulare nelle costruzioni per l'edilizia residenziale.

³ Quest'argomento sarà affrontato in modo più esaustivo nella seconda parte di questo lavoro ma ritengo utile anticipare alcune definizioni per rendere più agevole la lettura della trattazione che segue.

⁴ Per ulteriori approfondimenti suggerisco la lettura del testo di Edgar Morin, *La méthode. I. La nature de la nature*, Éditions du Seuil, Paris, 1977; la traduzione italiana, curata da Bocchi G., è stata pubblicata col titolo *Il metodo. Ordine disordine organizzazione*, da Feltrinelli, Milano, 1983

⁵ Bisogna distinguere tra *equilibrio statico* nel quale il sistema sospende ogni attività per una compensazione tra azioni e reazioni ed *equilibrio dinamico* per il quale il raggiungimento di questo stato non è l'invariabilità ma la dinamica della stabilità costante nel quale i flussi in entrata e in uscita si equivalgono.

⁶ Bertalanffy von Ludwig, *General Systems Theory*, New York 1968 edizione italiana, *Teoria Generale dei Sistemi*, ISEDI, Milano 1977. pag. 26. Consiglio la visione di questo testo per ulteriori approfondimenti in merito alla questione.

⁷ Baudrillard J., *Pour une critique de l'économie politique du signe*, Gallimard, Paris, 1972, traduzione italiana, *Per una critica dell'economia politica del segno*, Mazzotta, Milano 1974. pag. 202.

⁸ Cfr. Chemillier P., *Sciences et bâtiment, la démarche scientifique appliquée à la construction, cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées - CSTB, Paris 1986.



La disponibilità di prodotti diversificati e l'impiego di nuove tecnologie determina l'affermarsi della tecnologia normativa nella quale si tende alla definizione del risultato che si identifica con le prestazioni, vale a dire con l'insieme delle proprietà attraverso cui il manufatto edilizio svolge le funzioni richieste al fine di soddisfare determinate esigenze.

Il rapporto norma-esigenza-prestazione cominciò a delinearsi come possibilità di disporre di un approccio scientifico alla progettazione che andava a sostituire l'approccio empirico precedente. "La finalità della normativa è di assicurare la rispondenza degli spazi, dei prodotti, degli edifici ai bisogni dell'utenza. Questa corrispondenza è garantita dall'idea che i concetti di esigenza, requisito e prestazione, che costituiscono il nucleo centrale della teoria delle prestazioni, siano calcolabili e traducibili in norme. La normativa esigenziale-prestazionale richiede agli spazi e agli oggetti dei comportamenti nell'uso e nel tempo tali da soddisfare le esigenze dell'utenza espresse in termini di requisiti. Partendo dall'ipotesi di una rispondenza del trinomio esigenza-requisito-prestazione alla norma, viene misurato il grado di questa rispondenza come grado della qualità edilizia"⁹.

La prima normativa tecnica con l'istituzione di un repertorio di progetti tipo per l'edilizia residenziale fu predisposta dal Criap (Consorzio regionale tra gli istituti autonomi delle case popolari della Lombardia) nell'ambito del programma approntato dalla Regione Lombardia per il biennio 1977-78 in attuazione della legge dello Stato 513 dell'8 agosto 1977.

Con il mandato 2/579, il Consiglio regionale della Lombardia affida al Criap il compito di predisporre un bando di concorso per la qualificazione di progetti tipo per l'edilizia residenziale e una normativa riferita a¹⁰:

- Caratteristiche tipologiche, distributive, costruttive e dimensionali degli alloggi, degli edifici e loro pertinenze;
- Requisiti prestazionali ed economici delle opere in relazione:
 - alla durata dei materiali,
 - all'isolamento acustico e termico anche in funzione del risparmio energetico,
 - al contenimento dei costi di manutenzione;
- Modalità di appalto.

Tralasciando gli aspetti, pur rilevanti, relativi alle contraddizioni riscontrate nel bando, nel quale non è chiaro "se la scelta è quella di una progettazione per modelli o per componenti" e ai criteri di valutazione dei progetti tipo, che si riducono a parametri quantitativi dimensionali ed economici, in questa sede interessa soprattutto evidenziare le modalità e le finalità con cui e per cui nasce la scomposizione del sistema tecnologico che ancora oggi rappresenta un modello di riferimento in tutte le fasi del processo edilizio.

La normativa, al fine di dotare le stazioni appaltanti (Iacp) di uno strumento con cui confrontare i progetti e le offerte, fornisce una classificazione delle opere edili da impiegare obbligatoriamente nella descrizione, nella stima e nella rappresentazione grafica degli organismi edilizi. Suddividendo il sistema tecnologico in voci elementari, omogenee e uniformi, si offre alle stazioni appaltanti la possibilità di comparare le offerte anche nel caso siano adottate soluzioni tecniche differenti.

La classificazione adottata è basata su una proposta del gruppo di lavoro Aniacp che suddivide le opere edili, in base alla loro funzione all'intero edificio, in classi, sottoclassi e categorie che corrispondono agli attuali classi di unità tecnologica, unità tecnologica e classi di elementi tecnici della normativa UNI 8290 parte 1^a.

La classificazione indica otto classi di subsistemi individuate più sulla base delle possibili soluzioni tecniche da adottare che su un criterio che miri ad identificare in maniera univoca i vari componenti del

⁹ Per approfondimenti consultare Nardi G., Bianchi R., Luchi M., Turrini M., *Le norme tecniche e i progetti tipo della Regione Lombardia*, Clup, Milano, 1982. pag 25.

¹⁰ *ivi*, pag. 16.



sistema su base funzionale¹¹. Il criterio adottato è perfetto per mettere a confronto delle soluzioni costruttive, ma con altre finalità questa metodologia mostra diverse incongruenze. Di fronte a delle commistioni funzionali come accade, per esempio, per la funzione “portare i carichi” e “chiudere” o “separare” si evidenziano le difficoltà operative ad attribuire a ciascun componente un collocazione precisa.

La commissione edilizia dell'UNI rielabora la classificazione proposta dal gruppo di lavoro Aniacp e nel 1981 emana la norma 8290 parte 1^a sulla classificazione e terminologia del sistema tecnologico, tuttora in vigore. Per controllare il processo edilizio su base esigenziale e prestazionale, ossia su base qualitativa, la normativa esige che siano individuati con esattezza gli oggetti di cui le norme trattano. Il paragrafo 2.4 della norma, conferma la validità dell'osservazione fatta e tenta di risolvere l'ambiguità introducendo il concetto di funzione dominante che, tuttavia, non fornisce un adeguato sostegno da un punto di vista operativo¹².

La conflittualità nasce, a mio avviso, dalla commistione esistente tra modello fisico-strutturale e modello funzionale del sistema.

Nel processo finalizzato all'analisi dei sistemi, il modello fisico definisce i componenti che costituiscono la **struttura statica** del sistema e le relative interconnessioni. In questa fase l'analista stabilisce il grado di risoluzione della scomposizione rispetto agli obiettivi da raggiungere, detto in altri termini è il momento in cui il sistema viene smontato in pezzi¹³. La scomposizione funzionale descrive, invece, la funzione svolta dalle parti più significative del sistema, articolato secondo una logica *process-oriented* in base alla quale si esamina un determinato blocco funzionale isolandolo dalla struttura di cui fa parte e limitandosi ad evidenziare l'insieme di funzioni per le quali è stato progettato.

Il concetto di funzione è strettamente connesso a quello di attività e quindi a quello di processo come sequenza di attività finalizzate al raggiungimento di uno scopo.

Nel caso più generale in un processo è possibile identificare tre elementi caratterizzanti:



Nel processo di progettazione secondo l'approccio esigenziale l'input è rappresentato dall'insieme delle esigenze e degli agenti (**requisiti**) mentre l'output è costituito dalle caratteristiche tecniche del prodotto edilizio (**prestazioni**).

Le esigenze assumono carattere operativo attraverso i requisiti che costituiscono l'espressione di richiesta minima di comportamento. Le prestazioni rappresentano invece, la risposta ai requisiti e ne assumono la medesima espressione formale. I valori delle prestazioni sono quindi, rappresentativi del comportamento del sistema “nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione”.

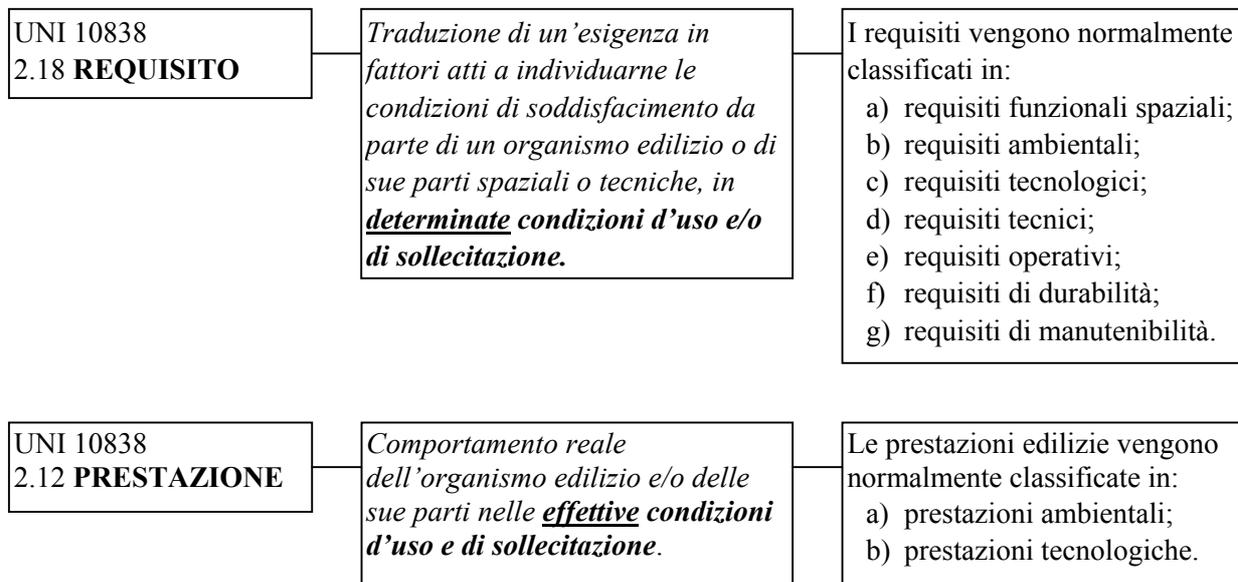
¹¹ L'individuazione dei componenti, materiali o immateriali, che costituiscono un sistema è tutt'altro che semplice e rappresenta un momento di fondamentale importanza per l'analisi e lo studio dei sistemi. Quest'operazione, come si vedrà meglio nella seconda parte, non può prescindere dalla definizione del motivo per cui si sta studiando il sistema.

¹² UNI 8290-1 paragrafo 2.4: “La presente norma si fonda su un criterio di definizione dei termini basato sulla definizione dominante convenzionalmente attribuita all'oggetto, considerato come parte del sistema edilizio; ciò non preclude, per scopi particolari, la possibile attribuzione agli oggetti stessi di altre funzioni complementari di volta in volta messe in evidenza”.

¹³ Le proprietà di un sistema si indagano attraverso l'analisi del livello immediatamente inferiore. Per cui se l'intento è di studiare il sistema nella sua globalità è necessario riferirsi al livello immediatamente superiore.



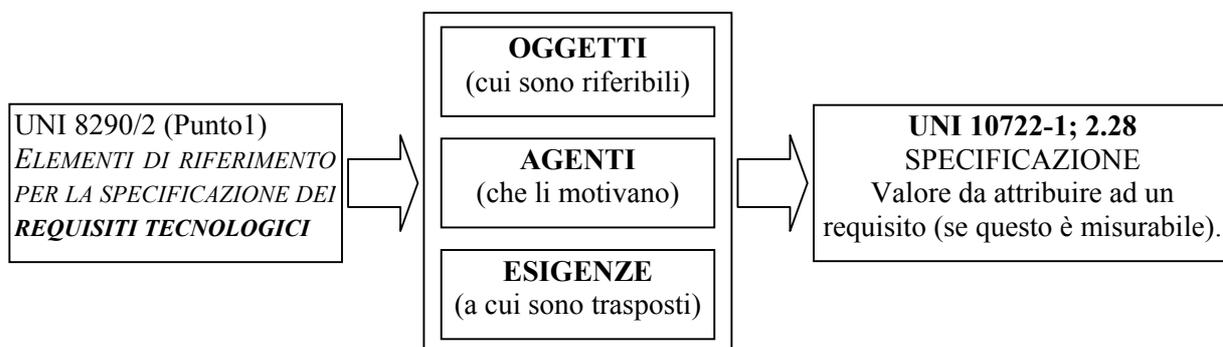
Definizione di requisiti/prestazioni



Nella normativa UNI la scomposizione tecnologica è funzionale alla definizione dei requisiti la cui espressione in forma normalizzata prevede la seguente cadenza formale¹⁴:

- *un determinato oggetto*
(assumere una o più voci classificate e definite nella UNI 8290 Parte 1^a o loro ulteriore disaggregazione);
- *sotto l'azione degli agenti*
(assumere una o più voci contenute nella lista degli agenti della UNI 8290 Parte 3^a);
- *nelle condizioni d'uso*
(specificare le condizioni d'uso);
- *deve soddisfare il requisito*
(assumere uno dei requisiti della UNI 8290 Parte 2^a accompagnato dalla relativa definizione);
- *al fine di rispondere alle esigenze*
(assumere una o più voci contenute nella UNI 8290).

La norma affida al progettista la definizione dei parametri e delle corrispondenti unità di misura da utilizzare per la quantificazione dei requisiti e delle relative prestazioni. Ai parametri scelti egli deve successivamente associare i livelli ammessi e deve indicare il metodo di verifica



¹⁴ UNI 8290 parte 2^a paragrafo 2.4.



Il tipo e l'intensità delle prestazioni tecnologiche fornite dall'organismo edilizio o dalle sue parti, sono definite attraverso il comportamento che queste devono assumere, ossia la risposta che devono fornire, rispetto al tipo e all'intensità del contesto sollecitante (agenti) al fine di realizzare le condizioni ambientali adeguate ad un uso chiaramente individuato. Riprendendo il concetto di qualità possiamo dire che questa esprime proprio il grado di adeguatezza del sistema e pertanto dipende direttamente dall'uso che se ne intende fare e dal modo secondo cui l'organismo edilizio o le sue parti sono usate.



UNI 8290-3 paragrafo 3.4 **Fattore:**

Campo disciplinare di riferimento, utilizzato per **conoscere ed interpretare la natura di azioni ed effetti**, nonché per strumentarne il controllo.

I fattori prevalentemente considerati nell'edilizia si articolano in:

- Acustici
- Atmosferici
- Biologici
- Chimici
- Elettrici ed elettromagnetici
- Idrici
- Ignei
- Luminosi
- Meccanici
- Termici

Fino a questo momento abbiamo analizzato il processo in funzione della risposta che il sistema fornisce rispetto a delle richieste di comportamento. Tuttavia questa capacità di risposta può variare nel tempo e quasi sempre diminuisce all'avanzare di questo.

Le azioni sviluppate nel tempo dagli agenti generano, infatti differenti tipi di effetti a carico dell'organismo edilizio inteso globalmente o nelle sue parti modificandone la proprietà caratteristiche e i valori dei parametri che li connotano. Quando gli effetti raggiungono livelli inaccettabili per cui gli elementi tecnici non sono più in grado di esplicitare le funzioni tecnologiche richieste, il sistema viene trovato in uno stato che è definito di "guasto".

Il livello di accettabilità delle prestazioni tecnologiche, è stabilito sulla base delle prestazioni ambientali ed è connesso con l'intensità degli agenti presenti nel contesto¹⁵.

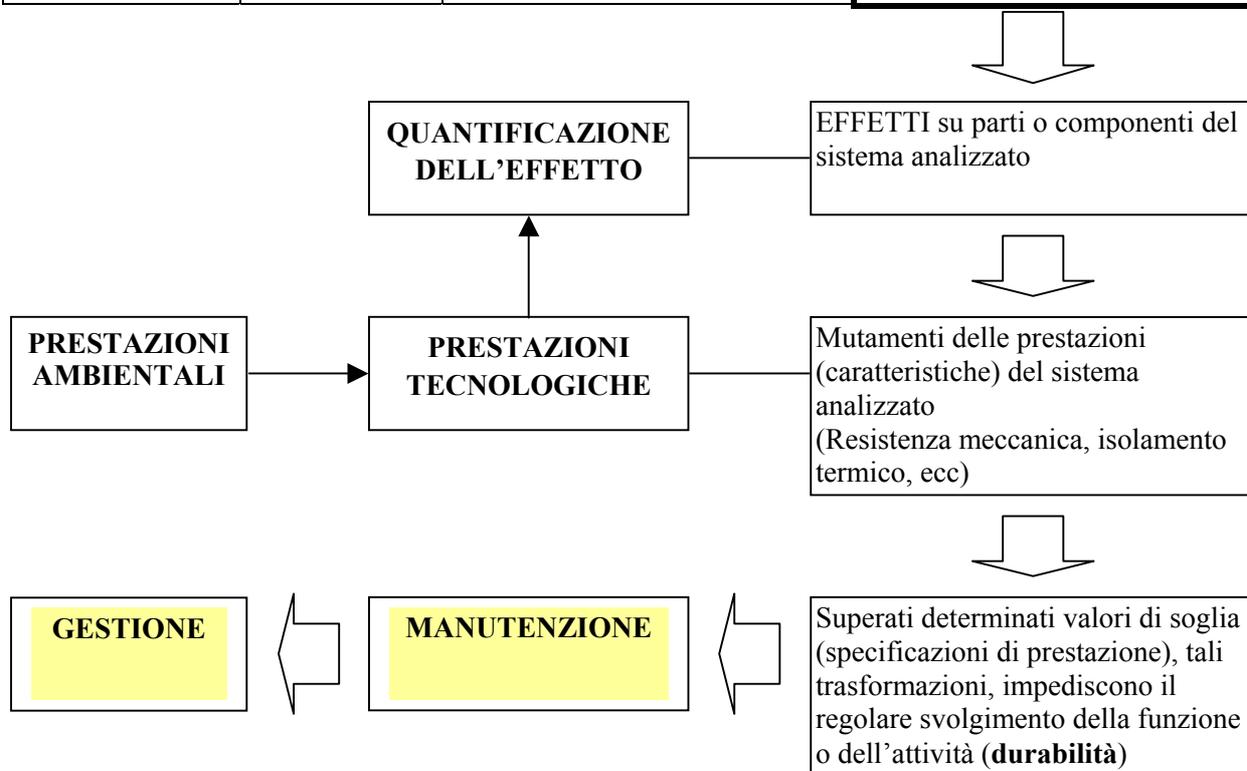
¹⁵ L'argomento sarà affrontato in modo più esaustivo del capitolo successivo.



Esempio di applicazione (Appendice B – UNI 8290-3)

B.1 Azione del vento su di una finestra

SISTEMA DI SOLLECITAZIONE			
AGENTE	FATTORI	AZIONI	EFFETTI
Vento	Meccanici	Carico statico	Deformazioni, tensioni
		carico dinamico	Deformazioni, tensioni
	Atmosferici	Pressioni differenziate tra interno ed esterno	Infiltrazione d'acqua
	Acustici	Rumore	Deformazioni, tensioni
		Vibrazioni	Disturbo acustico





1.2 Piano di Classificazione PC/SfB

L'SfB è un sistema informativo finalizzato alla razionalizzazione della comunicazione tra i vari soggetti coinvolti nel processo edilizio e all'unificazione del relativo linguaggio¹⁶.

La definizione ufficiale del sistema di classificazione è: “struttura standardizzata per le informazioni progettuali, intesa a favorire le comunicazioni e ad essere utilizzata come base per la razionalizzazione delle procedure e dei metodi manuali e computerizzati per l'accessibilità alle informazioni”

Gli studi in tal senso sono stati orientati verso un approccio sistematico ai servizi di informazione al fine di coprire l'intero arco del processo edilizio, dal **programma iniziale** alla **progettazione**, alla **realizzazione** e **all'uso del prodotto edilizio**.

Gli obiettivi sono sintetizzabili nei seguenti punti:

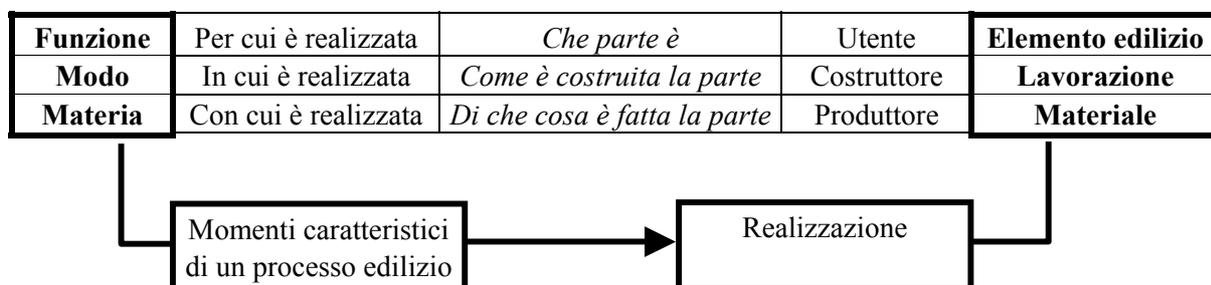
1. Approntare strumenti efficienti di comunicazione
2. Favorire la produzione, lo scambio e l'utilizzazione delle informazioni sull'edilizia rendendo più coerenti le categorie di classificazione e la terminologia usata in ogni paese e dai diversi operatori.
3. Fornire metodi per la raccolta, la catalogazione e il trattamento delle informazioni.
4. Dare indicazioni per la redazione coordinata dei documenti prodotti nel corso dei processi progettuale e realizzativi.

Il sistema SfB, sigla dell'organizzazione svedese Samarbetskommitten for Byggnadsfragor (Comitato di coordinamento per i problemi edilizi), è stato ideato dall'architetto Lars Magnus Giertz alla fine degli anni'40 per risolvere i problemi di classificazione relativi all'aspetto tecnico della progettazione e della costruzione dei fabbricati.

Il sistema SfB si basa su un principio elementare del processo edilizio e la sua caratteristica saliente è nel suo particolare approccio di scomposizione in quanto ogni edificio o progetto è considerato come somma delle sue parti:



PRINCIPI CLASSIFICATORI: una singola parte può poi essere considerata da tre diversi punti di vista:



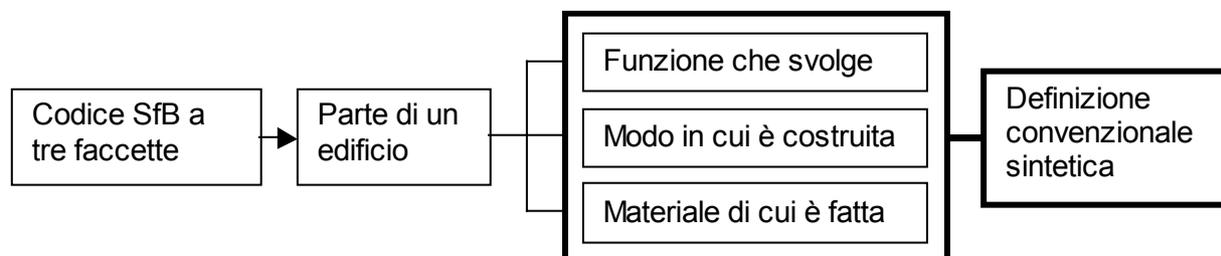
¹⁶ Le informazioni contenute in questo paragrafo sono state desunte dal testo di Vetriani G. e Marolda M.C., *Piano di classificazione PC/SfB*, ed. ITEC-Milano, 1983 nato dalla collaborazione tra il Dipartimento di Disegno Industriale e Produzione Edilizia dell'università di Roma “La Sapienza” e il Conseil International du Bâtiment (CIB)



Il sistema Sfb è una classificazione a faccette¹⁷ dove ciascuno dei tre punti di vista è una faccetta di classificazione e di identificazione. Ciascuna faccetta è rappresentata da una notazione in codice: i codici relativi a ciascun punto di vista sono elencati in tre tavole base, caratteristiche del sistema Sfb.

<i>Faccetta</i>	<i>Tavole</i>	<i>Classificazione</i>		<i>Codice</i>
Funzione	Tavola 1 (elementi edilizi)	Parti dell'edificio	In funzione e nell'ordine della loro realizzazione	Due cifre tra parentesi
Modo	Tavola 2 (attività edilizie)	Tipi di lavorazioni	In rapporto alla forma dei materiali necessari a compierle	Lettera maiuscola
Materia	Tavola 3 (risorse edilizie)	Tipi di materiali	In rapporto alla loro essenza	Lettera minuscola + numero da 1 a 9

L'Sfb è dunque un linguaggio che propone associazioni tra nozioni differenti mediante il gioco delle tre tavole. Attraverso le varie associazioni è possibile classificare a priori dati che ancora non esistono, ma che in futuro potrebbero essere di uso corrente. I codici disponibili assicurano la flessibilità del sistema e il loro impiego consente di formulare piani di classificazione in base a particolari necessità.



Il sistema CI/SfB

Tra le versioni nazionali del sistema Sfb, quella inglese è la più completa a livello operativo ed è usata fin dai primi anni '60 per la catalogazione delle pubblicazioni di informazione tecnica.

Il sistema CI/SfB (Construction Index/SfB) è il risultato degli studi condotti da un gruppo di esperti promossi dal Royal Institute of British Architects (RIBA), pubblicato nel 1968 e riveduto nel 1976.

Il CI/SfB deriva dall'integrazione di sistemi diversi e rileva alcuni limiti applicativi del sistema Sfb compensati dall'aggiunta di due tavole. Oltre ai principi classificatori dell'Sfb si avvale anche dei principi della CDU (Classificazione Decimale Universale) e delle CIB Master List (elenco di voci che individuano tutto l'insieme di notizie che un documento informativo relativo ad un prodotto edilizio deve contenere).

Il sistema CI/SfB è così strutturato secondo cinque tavole:

1. **Tavola 0 Ambiente fisico**, classifica argomenti di pianificazione territoriale e le tipologie edilizie
2. **Tavola 1 Elementi**; classifica gli elementi edilizi considerandoli come parti funzionali di un sistema edilizio
3. **Tavola 2 Lavori**
4. **Tavola 3 Materiali**, sono le tavole base Sfb; i codici delle tavole 2 e 3 sono utilizzati insieme
5. **Tavola 4 Attività e requisiti**, classifica le attività e i requisiti nel processo edilizio.

Un'informazione è classificata attribuendole codici ad essa relativi, considerandola di volta in volta sotto gli aspetti previsti dalle 5 tavole.

¹⁷ "raggruppamento di termini usati in un dato campo di categorie concettuali ognuna delle quali è stata differenziata sulla base di una caratteristica diversa". Stolk, H.A., *Glossario dei termini usati frequentemente nella documentazione*, Parigi, 1969, nel testo di Vetrini citato pag. 17

**CI/SfB Tavola 0: Ambiente naturale e costruito**

La Tavola 0 classifica le informazioni riguardanti i criteri di progettazione della pianificazione territoriale e delle tipologie edilizie, considerandole come risultati finali del processo progettuale ed edilizio: il codice di identificazione è un numero da 0 a 9.

La tavola presenta tre raggruppamenti principali:

Raggruppamenti principali	Classe generale	Classi	Suddivisioni ulteriori
Pianificazione territoriale (codice 0)	00	Ogni classe generale è articolata in 10 classi identificate da un numero da 0 a 9 aggiunto a quello della classe generale.	Ulteriore numerazione
Tipologie edilizie (codici da 1 a 8)	01		
	02		
	03		
	04		
	05		
	06		
	07		
	08		
Spazi funzionali degli edifici (codice 9)	09		

Nel caso sia necessario, per ottenere un elevato grado di dettaglio, è possibile usare contemporaneamente due codici della classe.

CI/SfB Tavola 1: Elementi

La Tavola 1 classifica gli elementi edilizi considerandoli come parti funzionali di un sistema edilizio; il codice di identificazione delle classi generali è un numero progressivo da 1 a 9 seguito da un trattino e posto tra parentesi.

La tavola presenta tre raggruppamenti principali:

Raggruppamenti principali	Classe generale	Classi	Suddivisioni ulteriori
Elementi propri del sistema edilizio [codici (1 –)/(4 –)]	1 –	Ogni classe generale è articolata in 10 classi identificate da un numero da 0 a 9 che sostituisce il trattino. Le classi (10), (20), (30), ecc. ordinano informazioni relative ad elementi esterni al sistema edilizio, secondo l'argomento delle classi generali corrispondenti. L'ultima classe "Riepilogo" riguarda la classificazione delle informazioni complessive relative all'insieme della classe. E viene usata per scopi di informazione progettuale (computi metrici, stime dei costi, ecc.)	Ulteriore numerazione
	2 –		
	3 –		
	4 –		
Impianti tecnici [codici (5 –)/(6 –)]	5 –		
	6 –		
Attrezzature [codici (7 –)/(8 –)]	7 –		
	8 –		
Disponibile [codice (9 –)]	9 –		

Il codice (– –) (Sistema tecnologico), al di fuori delle classi, identifica complessivamente e sommariamente tutte le informazioni pertinenti alla tavola.

**CI/SfB Tavola 2: Lavori**

La tavola 2 classifica i lavori edilizi secondo l'aspetto fisico dei materiali in essi impiegati; il codice di identificazione delle classi è una lettera alfabetica maiuscola.

La tavola presenta tre raggruppamenti principali:

Raggruppamenti principali	Classe generale	Classi	Suddivisioni ulteriori
Ulteriori tipi di lavori edilizi	A	lavori edilizi in generale	Ulteriore numerazione
	B	demolizioni e rimozioni	
	C	terre e materiali di scavo	
	D	disponibile	
	E	conglomerati	
Lavori relativi all'uso di materiali di forma generalmente parallelepipedica (codici F/G)	F	laterizi e blocchetti	
	G	componenti prefabbricati pesanti	
Lavori relativi all'uso di materiali caratterizzati dalla forma della loro sezione (codici H/J)	H	profilati e barre	
	I	tubi	
	J	cavi e reti	
Lavori relativi all'uso di materiali di sezione generalmente sottile (codici K/V)	K	feltri spessi e materassini	
	L	teli flessibili impermeabilizzanti	
	M	fogli malleabili	
	N	lastre a sovrapposizione e tegole	
	P	materiali densi	
	Q	disponibile	
	R	lastre piane e pannelli	
	S	piastrelle, mattonelle e lastre	
	T	teli flessibili	
	U	disponibile	
Ulteriori tipi di lavori edilizi	V	materiali fluidi	
	W	piante e semi	
	X	componenti prefabbricati complessi	
	Y	materiali informi	
	Z	giunti	

I codici della Tavola 2, usati insieme ai codici della successiva Tavola 3, permettono di definire lavori relativi a materiali completamente identificati nella loro forma e natura.

**CI/SfB Tavola 3: Materiali**

Classifica i materiali edilizi secondo la loro natura, codificandoli con una lettera alfabetica minuscola seguita da un numero da 1 a 9 per la suddivisione all'interno della classe; la tavola li suddivide in tre gruppi:

Raggruppamenti principali	Classe generale	Classi	Suddivisioni ulteriori
	a	Direzione, gestione, amministrazione.	Da 1 a 9
	b	Impianti e attrezzature di cantiere	
	c	Mano d'opera	
	d	Disponibile	
Materiali formati	e	Pietre naturali	
	f	Prodotti in conglomerati	
	g	Materiali argillosi e ceramici	
	h	Metalli	
	i	Legnami	
	j	Materiali organici	
	k	Disponibile	
	l	Disponibile	
	m	Fibre inorganiche	
	n	Gomme e materie plastiche	
Materiali informi	o	Vetri	
	p	Inerti	
	q	Calci, cementi, malte e calcestruzzi	
	r	Argilla, gesso, magnesio e leganti plastici	
Materiali funzionali	s	Materiali bituminosi	
	t	Materiali per fissaggio e giunzione	
	u	Protettivi ed additivi	
	v	Pitture e vernici	
	w	Materiali ausiliari	
	x	Disponibile	
	y	Materie	
z	Materiali edilizi in generale		

**CI/SfB Tavola 4: Attività e requisiti**

Classifica informazioni su tutta l'attività edilizia e su tutto ciò che determina e condiziona l'uso delle risorse disponibili e dei risultati dell'intero processo edilizio, codificando le classi generali con una lettera alfabetica maiuscola posta tra parentesi; la tavola le suddivide in due gruppi principali:

Raggruppamenti principali		Classe generale	Classi	Suddivisioni ulteriori
Attività e sussidi		(A)	Attività direzionali, amministrative, di gestione e sussidi	
		(B)	Impianti ed attrezzature di cantiere	
		(C)	disponibile	
		(D)	operazioni costruttive	
Requisiti, Procedure	Descrizioni	(E)	produzione	
		(F)	forme e dimensioni	
		(G)	aspetto	
		(H)	ambiente	
	Prestazioni	(I)	disponibile	
		(J)	meccanica	
		(K)	fuoco ed esplosione	
		(L)	fluidi e solidi	
		(M)	caldo e freddo	
		(N)	luce ed oscurità	
		(P)	suono e quiete	
		(Q)	elettricità, magnetismo e radiazioni	
		(R)	energia ed altri fattori fisici	
		(S)	disponibile	
		(T)	utilizzazione	
			(U)	utenti e risorse
	(V)	lavorabilità		
	(W)	esercizio e manutenzione		
	(X)	cambiamento, movimento e stabilità		
	(Y)	economia e commercio		
	(Z)	argomenti periferici, forma di presentazione, data e luogo		

**CI/SfB Il coordinamento dell'informazione.**

Esistono due tipi di informazione, non sempre strettamente determinati, definiti dallo studio “An Information System for the Construction”¹⁸ pubblicato dal United Kingdom Department of Environment:

1. *Informazione generale*: non riguarda un particolare progetto ma tutti i documenti, come libri, riviste, raccolte normative e schede tecniche di prodotti, che riportano informazioni generalizzate.
2. *Informazione progettuale*: concerne un progetto in particolare e comprende i documenti quali disegni, computi metrici, capitolati d'appalto, ecc. Essa è rivolta a tutti i soggetti coinvolti nel progetto.

	Procedure		
Informazione generale	Classificazione	Consiste nell'attribuire all'informazione il corretto codice PC/Sfb.	Quando l'informazione riguarda informazioni pertinenti due o più tavole, l'operatore deve stabilire un ordine di precedenza.
	Archiviazione	Consiste nel disporre i documenti secondo un ordine topografico stabilito.	Generalmente si utilizza l'ordine delle tavole da 0 a 4.
	Indicizzazione	Consiste nell'ordinare alfabeticamente i soggetti trattati nei documenti di una raccolta	
Informazione progettuale	Informazione disegnata	È data in qualsiasi forma grafica, disegno schizzo o illustrazione	<i>Serie L</i> – disegni di localizzazione (mostrano l'organizzazione generale del progetto e generalmente comprendono piante, prospetti, sezioni, ecc.)
			<i>Serie A</i> – disegni di assemblaggio (riguardano le modalità di costruzione per la realizzazione in opera degli elementi edilizi)
			<i>Serie C</i> – disegni di componenti (mostrano le modalità di costruzione e i materiali impiegati per la realizzazione fuori opera di componenti edilizi)
	Informazione tabulata	È data in forma di tabella o di elenco di voci come la tabella dei pilastri o l'abaco dei serramenti	
Informazione misurata	È un'informazione di quantità in relazione ad una pertinente unità di misura. (es. computo metrico estimativo)		
Informazione descritta	Riguarda la qualità sul complesso dei lavori da eseguirsi. Può riguardare un materiale, la sua posa in opera o il risultato finale dei lavori.		

¹⁸ Questo studio è menzionato nel testo di Vetriani et al. a pagina 125, ma non dispongo di ulteriori informazioni a riguardo.



1.3 UNI 9038:1987 Guida per la stesura di schede tecniche per prodotti e servizi

Le schede tecniche sono generalmente compilate dal produttore al fine di definire le caratteristiche qualitative e/o prestazionali di prodotti quali materiali, semilavorati, elementi, componenti e sistemi edilizi.

Le schede tecniche di prodotti devono essere per completezza di contenuto pari al terzo livello definito dalla UNI 8690, parte 2^a “caratterizzato da completezza ed attendibilità delle informazioni che, a fronte di precise responsabilità assunte da chi fornisce tali informazioni costituiscono uno strumento di riferimento affidabile per i confronti e le scelte dell'utilizzatore”.

La scheda tecnica di questo livello “è utilizzabile in sede di individuazione di prodotti o servizi che rispondono a caratteristiche, prestazioni o forniture, richieste per specifiche utilizzazioni nel processo edilizio. La completezza dei dati forniti è regolata dai limiti e dalle esigenze di chi richiede l'informazione, anche limitatamente a specifici blocchi di informazioni o a parti di essi. L'affidabilità dei contenuti è invece rigorosamente vincolata dall'assunzione di responsabilità da parte dell'estensore dell'informazione tecnica, il quale è tenuto, in proprio o attraverso terzi, ad offrire le opportune garanzie circa i dati forniti, in modo tale che “i suoi contenuti possano essere utilizzati direttamente nella formulazione dei documenti contrattuali o capitolari nell'ambito di precisi rapporti instauratisi tra domanda ed offerta”¹⁹.

La UNI 9038 definisce l'articolazione, l'ordine espositivo dei contenuti ed i criteri di compilazione delle schede tecniche di prodotti nei seguenti “blocchi”:

3.2.1 blocco 0 - intestazione, articolato in:

- intestazione descrittiva dell'oggetto riferita ad un sistema di classificazione dell'informazione tecnica,
- codifica di identificazione secondo per esempio il codice SfB (pubblicato dal CIB) o il codice CDU (Classifica Decimale Universale pubblicato dal CNR),
- informazioni sulla datazione e fonte dell'informazione.

3.2.2 blocco 1 - informazioni sull'origine del prodotto, articolato in:

- informazioni anagrafiche sulla ditta fornitrice/produttrice,
- informazioni di interesse generale sulla ditta fornitrice, (anno di costituzione della società, appartenenza a categorie di fabbricanti, ecc))
- informazioni accessorie su altri tipi di produzioni delle ditte.

3.2.3 blocco 2 – informazioni tecniche descrittive del prodotto, finalizzato a fornire indicazioni morfologico-descrittive e sulle sue caratteristiche. Il blocco è articolato in:

- identificazione fisica del prodotto (denominazione commerciale, modello, sigla e marchio, finalizzazione d'uso del prodotto, disegni quotati, dimensioni, tolleranze, ingombri e massa del prodotto, prospetto dei prodotti fabbricati, descrizione degli eventuali livelli di finiture fornibili, descrizione anche grafica di eventuali accessori forniti o prodotti),
- informazioni sul ciclo di produzione (descrizione delle fasi di trasformazione del prodotto e descrizione del numero e tipo di controlli effettuati durante tale processo)
- identificazione tecnologica del prodotto (materiali costituenti e specificazione delle caratteristiche con citazione della norma di riferimento, se esiste, e del metodo utilizzato per individuare i parametri relativi)
- informazioni sulle confezioni in cui è commercializzato il prodotto (tipo e caratteristiche e dati contenuti nelle etichette).

¹⁹ Paragrafo 2.3



3.2.4 blocco 3 - informazioni tecniche sulle prestazioni del prodotto, articolato in:

- identificazione funzionale del prodotto (elementi e parti costituenti, disposizione e quantità, prestazioni con citazione della norma di riferimento, se esiste, del metodo di verifica utilizzato e delle modalità del loro rilevamento: in laboratorio su assemblaggio simulato o reale, in opera, da calcolo)
- informazioni sulle fasi produttive e loro controlli (fasi di fabbricazione e/o assemblaggio in fabbrica, numero e tipo di controlli effettuati nelle fasi di fabbricazione e/o assemblaggio).

3.2.5 blocco 4 - informazioni per il corretto uso del prodotto, articolato in:

- indicazioni, relativamente alle caratteristiche tecniche del prodotto riportate nel blocco 2, di compatibilità per l'accoppiamento con altri materiali e di cautele e raccomandazioni per l'immagazzinamento (tempi e condizioni limite),
- indicazioni, relativamente alle prestazioni del prodotto riportate nel blocco 3, di compatibilità per l'assemblaggio di altri elementi (pezzi speciali), di cautele e raccomandazioni per lo stoccaggio, per l'uso nel tempo, per la manutenzione programmata,
- informazioni generali relative alle istruzioni per la posa e/o la messa in opera, ai materiali e strumenti essenziali a tale fine, alle modalità di realizzazione dei giunti con altri elementi e/o componenti limitrofi, alle cautele e raccomandazioni per il trasporto e la movimentazione, ai tipi di controllo in opera cui sottoporre il prodotto per verificare la corretta posa e/o messa in opera.

3.2.6 blocco 5 - informazioni descrittive su avvenuti impieghi del prodotto, articolato in:

- informazioni sul tipo di intervento e grandezza dell'applicazione, località ed indirizzo completo, anno di esecuzione, trattamento e soluzione di problemi particolari.

3.2.7 blocco 6 - informazioni sugli aspetti economico-commerciali del prodotto, articolato in:

- informazioni commerciali (condizioni generali di fornitura, tempi di consegna, eventuali garanzie della qualità del prodotto fornito)
- informazioni economiche in forma di parametri o classi di prezzo
- informazioni sulla organizzazione commerciale (reti di vendita, di assistenza e posa, di assistenza post-vendita).

Le schede tecniche di prodotto sono correlate, mediante il codice di identificazione di cui al blocco 1. con i disegni di localizzazione, di produzione e di assemblaggio, e soprattutto con le specifiche tecniche e con il computo metrico.

Circa le modalità di rappresentazione la norma, al paragrafo 3.1.4 consiglia l'adozione dei seguenti rapporti di scala:

Rapporto di scala	1:1	1:2	1:5	1:10	1:15	1:20	1:50	1:100
Insiemi di componenti					◆	◆	◆	◆
Componenti			◆	◆	◆	◆		
Particolari	◆	◆	◆					

2. Gestione del sistema tecnologico

L'attenzione rivolta alle problematiche connesse alla gestione del patrimonio edilizio sono relativamente recenti. A suscitare quest'interesse hanno contribuito sia le norme emanate dall'Unione Europea che spingono a conformare il settore edilizio alle esigenze di qualità, sia dalla deprecabile condizione in cui versa il patrimonio immobiliare frutto della speculazione cominciata nei decenni successivi alla seconda guerra mondiale.

Queste spinte iniziali, fondamentali per la nascita di una cultura orientata a progettare i tempi e le modalità del decadimento prestazionale degli edifici, insieme con le impostazioni metodologiche derivanti dalle problematiche proprie del settore industriale, hanno fatto in modo che il processo gestionale si identificasse con il processo manutentivo.

I processi che caratterizzano la fase di esercizio di un organismo edilizio sono invece numerosi e diversificati, come testimonia la norma UNI 10998:2002 *Archivi di gestione immobiliare - Criteri di costituzione e cura* che rappresenta un primo passo verso una corretta ed efficace gestione del bene edilizio inteso nel suo complesso e finalizzata alla "conservazione e/o valorizzazione di un sistema edilizio".

In generale, la gestione rappresenta l'attività di *organizzazione* di un processo, di qualsivoglia natura, al fine di ottimizzarne le fasi e di controllarne l'esito.

Dall'analisi della normativa UNI si evince che il processo gestionale è espressamente riferito al sistema tecnologico, i cui elementi tecnici, relativamente agli aspetti gestionali, devono soddisfare i requisiti di *manutenibilità* e di *durabilità*.

In questo lavoro l'attenzione è concentrata sul processo d'invecchiamento fisico dell'organismo edilizio ossia sul decadimento prestazionale del sistema tecnologico che si controlla attraverso la manutenzione, sottoprocesso del più esteso processo gestionale.

2.1 Fase di gestione e aspetti gestionali del sistema tecnologico

La norma UNI 10838/99 al paragrafo 2.13, relativo alla definizione di processo edilizio, indica la fase di gestione come quella "*necessaria alla conservazione della qualità del bene edilizio*" e successivamente, al punto 2.16, provvede a definire il processo gestionale come "*insieme strutturato delle fasi operative che, a partire dall'entrata in servizio dell'organismo edilizio, si susseguono, allo scopo di assicurarne il funzionamento, fino all'esaurimento del suo ciclo funzionale ed economico di vita*". Dal confronto delle due affermazioni, è possibile dedurre che la qualità è legata al funzionamento dell'organismo edilizio e che le sue variazioni nel tempo devono essere controllate nella fase gestionale del processo.

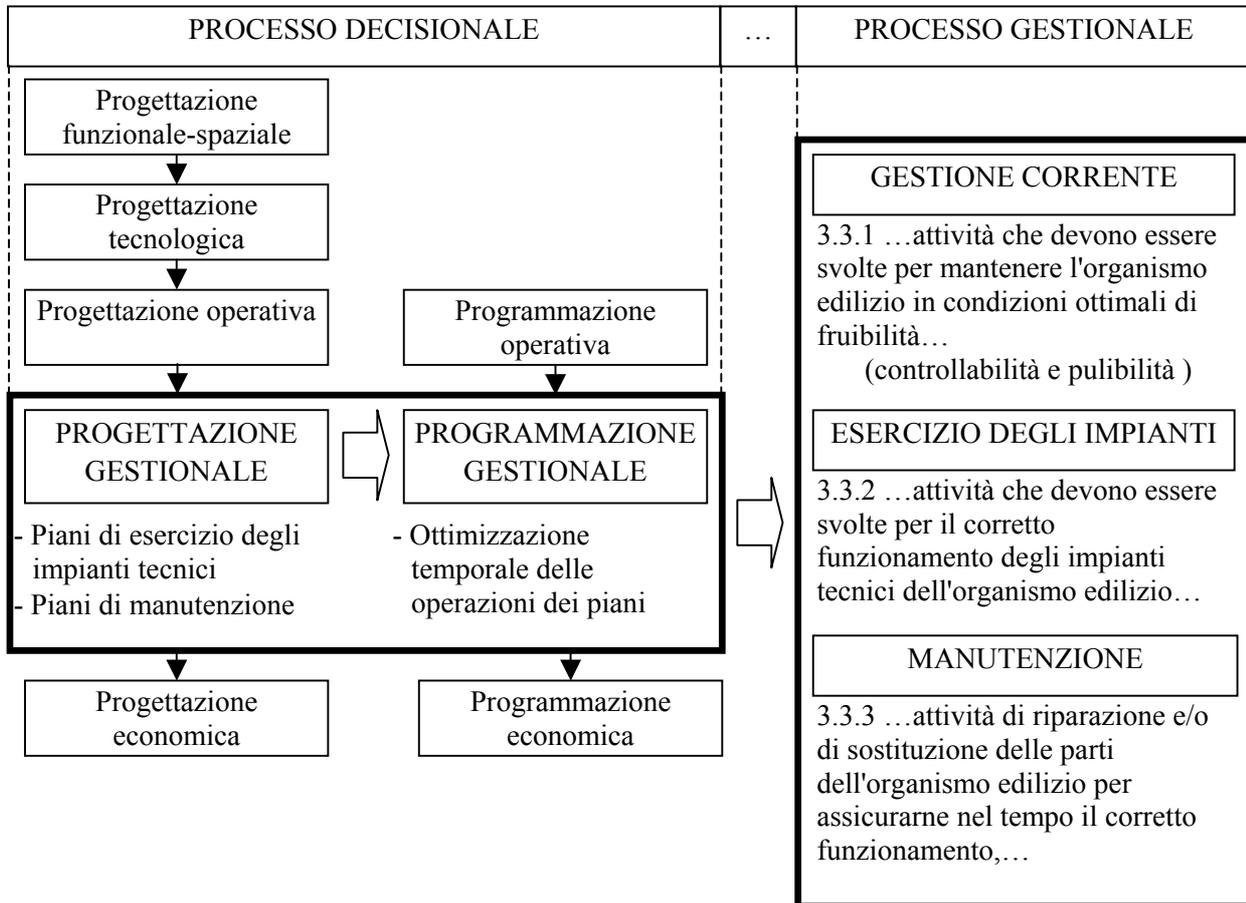
In generale all'interno del processo edilizio è possibile individuare tre fasi principali¹:

1. Processo decisionale che comprende le fasi di metaprogettazione e progettazione
2. Processo esecutivo
3. Processo gestionale che coincide con la fase di utilizzo dell'opera.

¹ Cfr. UNI 10723:1988 - Processo edilizio - Classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione



Le attività che contraddistinguono la fase gestionale sono definite nella fase della Progettazione gestionale dove sono redatti i *piani di esercizio degli impianti tecnici* e i *piani di manutenzione* sulla base di quanto è stato stabilito nella progettazione funzionale-spaziale, tecnologica e operativa.



Il processo decisionale include la programmazione gestionale che prevede l'ottimizzazione dei tempi in cui eseguire le operazioni previste dai piani redatti nella progettazione gestionale. Con la fine del processo esecutivo ha inizio il processo gestionale che comprende la gestione corrente, l'esercizio degli impianti e la manutenzione.

Ulteriori indicazioni sulla fase gestionale del processo edilizio provengono dalla normativa UNI 10722/98 *Qualificazione e controllo del progetto edilizio di nuove costruzioni* che nella seconda parte fornisce delle liste di riferimento per la definizione del programma di un intervento edilizio.

Il programma d'intervento è un "documento che definisce per ogni fase del processo i bisogni, le esigenze, le risorse disponibili, il contesto operativo e i requisiti, cui ogni eventuale programma successivo, nonché il progetto dell'intervento, devono conformarsi"².

² UNI 10722-1:1988 paragrafo 3.13



Il programma d'intervento prevede tre livelli ai quali corrispondono altrettante liste di riferimento che costituiscono la versione italiana della ISO 9699 cui sono state approntate alcune modifiche che riguardano essenzialmente l'organizzazione dei contenuti.

Livelli di definizione del programma di un intervento edilizio	Lista di riferimento per la definizione del programma di un intervento edilizio
1: Livello strategico	Lista di riferimento 1: "Identificazione dell'intervento"
2: Livello operativo	Lista di riferimento 2: "Contesto, obiettivi, risorse"
3: Livello descrittivo e livello consolidato	Lista di riferimento 3: "Requisiti, prestazioni, caratteristiche"

Le liste sono strutturate su due colonne, in cui quella di sinistra è dedicata ai contenuti, mentre quella di destra alle note, con commenti e chiarimenti.

La lista numero 3 descrive gli obiettivi di qualità in termini di requisiti, prestazioni, o caratteristiche fisiche relative all'area di intervento, all'organismo edilizio e ai suoi elementi spaziali e costruttivi.

Nei contenuti delle varie sezioni sono elencati i requisiti che occorre definire nel programma e tra questi sono precisati quelli di gestione. Per l'area di intervento, l'organismo edilizio e gli elementi spaziali i requisiti gestionali sono ripetuti identici per ciascun livello, mentre per il sistema tecnologico, la norma rimanda in bibliografia alle ISO 6240 *Performance standards in building - Contents and presentation* e ISO 6241 *Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered*.

Lista di riferimento 3: Requisiti, prestazioni, caratteristiche

Area d'intervento	Organismo edilizio	Aree o unità funzionali, elementi spaziali: tipi, qualità quantità	Sistema tecnologico
....	
	Requisiti di gestione: - <u>mantenimento integrità</u> - <u>manutenzione</u> : <ul style="list-style-type: none"> • pulibilità, • riparabilità, • sostituibilità - <u>esercizio</u> : <ul style="list-style-type: none"> • regolarità di funzionamento, • contenimento consumi 		3.4 Il sistema tecnologico utilizza le voci della UNI 8290-1 ma, se si ritiene opportuno, è possibile utilizzare altre liste di riferimento "Una volta individuati i tipi di elementi costruttivi, o di attrezzature, o di elementi impiantistici occorre specificare, per ciascuno di essi, i <i>requisiti connotanti e le relative specificazioni di prestazione</i> , o, ove si ritiene necessario, indicare una soluzione progettuale.
...	

Nella norma 10722-3:1999 *Qualificazione e controllo del progetto edilizio di nuove costruzioni - Pianificazione del progetto e pianificazione ed esecuzione dei controlli del progetto di un intervento edilizio* si evidenzia un aspetto interessante legato alle difficoltà esistenti per l'esecuzione dei controlli che manifesta l'opportunità di introdurre nuovi strumenti di analisi per la verifica della rispondenza del progetto ai requisiti del programma d'intervento.



Nell'appendice D, *Matrice per l'esecuzione dei controlli*, al paragrafo D.2 si sottolinea:

“I controlli di rispondenza del progetto ai requisiti espressi nel programma di intervento sono i più complessi e problematici.

Infatti, per alcuni di questi requisiti non sono ancora disponibili metodi di verifica del tutto sperimentati; inoltre si presentano in generale difficoltà legate:

- alla complessità delle parti funzionali dell'edificio e dei fenomeni coinvolti nel soddisfacimento del requisito;
- alla aleatorietà del confronto tra le caratteristiche delle scelte progettuali e le variabili del requisito.

Tali difficoltà possono inoltre aumentare in quanto la documentazione grafica del progetto non è in genere finalizzata all'esplicitazione delle variabili connotanti il requisito”.

La definizione dei requisiti del sistema tecnologico, riferiti agli aspetti gestionali del processo edilizio, è infine contenuta nella norma UNI 10838:1999 *Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia* dove al paragrafo 8 “Termini specifici: aspetti gestionali” sono indicati i requisiti di *durabilità e manutenibilità* entrambi espressamente riferiti agli elementi tecnici del sistema tecnologico.

Nella stessa norma la qualità è definita come “l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche dell'organismo edilizio o di sue parti che conferiscono ad essi la capacità di soddisfare, attraverso prestazioni, esigenze espresse o implicite”³ ossia di rispondere ai requisiti stabiliti in fase progettuale.

In particolare la qualità cresce o decresce, all'aumentare o al diminuire delle prestazioni e viceversa decresce o cresce, all'aumentare o al diminuire dei requisiti.

All'aspetto dinamico delle prestazioni si è già accennato nel primo capitolo, quello relativo ai requisiti può, invece, dipendere dalle mutate esigenze dell'utenza o dall'introduzione di particolari normative o più in generale, da trasformazioni sociali e/o innovazioni tecnologiche, che rendono inadeguati o obsoleti parti o l'intero organismo edilizio. Quest'aspetto del problema è di grande attualità e tutt'altro che trascurabile, tuttavia, ritengo opportuno tralasciarlo in questo momento, sia perché si tratta di fenomeni non direttamente dipendenti dalla variabile tempo, sia perché potrebbe costituire da solo un'interessante argomento di ricerca.

L'esemplificazione fatta, in base alla quale i requisiti si considerano delle costanti, implica che la qualità varia in funzione delle variazioni delle prestazioni del sistema.

Appare opportuno a questo punto, fare una distinzione tra caratteristica e prestazione.

La caratteristica comporta una capacità permanente dell'organismo edilizio o di una sua parte di soddisfare un requisito. Si consideri a titolo di esempio, la riparabilità: essa costituisce una proprietà intrinseca di un elemento e non varia se non in virtù di una sostituzione con un prodotto alternativo. Dal punto di vista prestazionale, viceversa, l'organismo edilizio o una sua parte possono perdere nel tempo la capacità di soddisfare il requisito come nel caso della tenuta agli aeriformi.

Questa distinzione è contenuta, anche se tra le righe all'interno della normativa UNI 10838:1999, che, benché non faccia un esplicito riferimento alla differenza tra caratteristica e prestazione, si presta ad assecondare questa interpretazione. Nell'evidenziare i diversi aspetti di un organismo edilizio le prestazioni sono, infatti, riferite agli aspetti ambientali, tecnologici e gestionali di durabilità mentre si parla di caratteristiche per gli aspetti funzionali-spaziali, tecnici, operativi e gestionali manutentivi.

³ UNI 10838: 1999 paragrafo 2.17



Con queste premesse si può affermare che le prestazioni e i relativi aspetti della qualità soggette a variazione nel tempo sono⁴:

(3.2) Prestazione ambientale	→	(3.3) Qualità ambientale
(5.2) Prestazione tecnologica	→	(5.3) Qualità tecnologica
(8.2) Prestazione di durabilità	→	(8.3) Qualità utile

Mentre risultano costanti (nell'ipotesi di stabilità dei requisiti):

(4.1) Caratteristica funzionale-spaziale	→	(4.3) Qualità funzionale-spaziale
(6.1) Caratteristica tecnica	→	(6.3) Qualità tecnica
(7.1) Caratteristica operativa	→	(7.3) Qualità operativa
(8.7) Caratteristica di manutenibilità	→	(8.9) Qualità manutentiva

In particolare le prestazioni ambientali, riferite agli elementi spaziali, si raggiungono attraverso le prestazioni tecnologiche fornite dagli elementi tecnici che costituiscono i subsistemi tecnologici⁵.

Il mantenimento nel tempo delle condizioni ambientali che soddisfano le esigenze dell'utenza, si ottiene, pertanto, attraverso il mantenimento nel tempo delle prestazioni tecnologiche subordinate allo svolgimento di funzioni tecnologiche dipendenti, a loro volta, dalle proprietà caratteristiche dei materiali, semilavorati ed elementi semplici che costituiscono gli elementi tecnici.

Il mantenimento nel tempo delle prestazioni ambientali dipende, quindi, dalla capacità degli elementi tecnici di conservare, con l'intensità prevista, le caratteristiche fisiche che gli consentono di svolgere le funzioni tecnologiche loro assegnate.

L'attitudine di un elemento tecnico a garantire nel tempo un livello prestazionale al disopra del minimo stabilito in sede progettuale è detta *durabilità*.

La stima della durabilità dei componenti edilizi costituisce il problema elementare la cui determinazione è alla base della soluzione di tutte le problematiche legate alla gestione nel tempo degli organismi edilizi.



La manutenibilità, altro requisito caratteristico della fase gestionale del sistema tecnologico, è invece importante per individuare le parti dell'organismo edilizio su cui concentrare gli studi sulla durabilità e per precisare le aree passibili di miglioramento nella gestione del sistema tecnologico.

⁴ Tra parentesi sono indicati i punti della norma citata che forniscono le relative definizioni

⁵ *ivi*, punto 3.2, *Prestazione ambientale*: Prestazione di un elemento spaziale relativa a un requisito ambientale. 3.4: *Requisito ambientale*: Traduzione di un'esigenza in fattori fisico-ambientali e in richieste di servizi tecnologici, atti a individuarne le condizioni di soddisfacimento da parte di una unità ambientale.



2.2 Requisito di manutenibilità

Il termine *manutenibilità* è utilizzato in due diverse accezioni: una relativa alla semplicità con cui è possibile intervenire su un oggetto, al fine di riportare i livelli prestazionali ai valori stabiliti in fase di progetto, e l'altra che fornisce il valore di questa attitudine in termini probabilistici.

Le definizioni specifiche sono⁶:

- “La manutenibilità è l'attitudine di una entità, in assegnate condizioni di utilizzazione, a essere mantenuta o riportata in uno stato nel quale essa può svolgere la funzione richiesta, quando la manutenzione è eseguita nelle condizioni date, con procedure e mezzi prescritti” (191-02-07).
- “La manutenibilità è la probabilità che una azione di manutenzione attiva, per una entità data, utilizzata in condizioni assegnate, possa essere eseguita durante un intervallo di tempo dato, quando la manutenzione è assicurata nelle condizioni date e mediante l'uso di procedure e mezzi prescritti” (191-13-01).

Le due definizioni scaturiscono dalle diverse esigenze che contraddistinguono la fase progettuale e la fase operativa della manutenzione. In sede di progettazione è necessario verificare “l'attitudine” dell'elemento tecnico ad essere mantenuto. In tal senso la manutenibilità è una caratteristica intrinseca di progetto, di costruzione e di installazione che si esplica come probabilità che un sistema sia conforme alle caratteristiche costruttive e funzionali quali, accessibilità, tempi di riparazione, ecc.

In sede di gestione della manutenzione è necessario procedere alla verifica della manutenibilità attraverso prove di conformità che permettano l'analisi delle prestazioni di manutenzione (*maintainability performance*) effettuate su un sistema. In altri termini, occorre verificare se i tempi standard di intervento previsti possono essere rispettati ed, in caso contrario, calcolare gli eventuali scostamenti.

Il requisito di manutenibilità, definito all'interno del processo edilizio conferma la duplice accezione attraverso le definizioni riportate nella norma UNI 10838⁷ e nella 8290⁸ dove la prima sembra privilegiare i fattori progettuali che influiscono sul requisito mentre la seconda pare insistere maggiormente su questioni tecnico-operative esplicabili attraverso l'utilizzo di parametri quantitativi.

“Un momento importante dell'azione manutentiva è quello denominato «analisi e previsione».

I principali soggetti di analisi sono:

- a) la descrizione degli obiettivi della manutenibilità;
- b) la scelta di una politica di conservazione del prodotto;
- c) la definizione del tempo di riparazione o di sostituzione di parti, di sub-sistemi o dell'intero sistema;
- d) lo sviluppo sperimentale delle procedure;
- e) l'elaborazione dei metodi per localizzare le disfunzioni (guasti, avarie);
- f) l'indicazione delle esigenze di accessibilità;
- g) la precisazione sperimentale della natura delle attrezzature necessarie;
- h) la precisazione delle caratteristiche degli addetti;
- i) la precisazione delle esigenze in materia di parti di ricambio.

⁶ UNI 9910: 1991 Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio, in Cervini R., Pone E., Riccio A, *Manutenibilità degli impianti*, in *Manutenzione, Tecnica e Management* - aprile 2004.

⁷ UNI 10838:1999 Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia. Paragrafo 8.10 Requisito di manutenibilità: *Traduzione di un requisito tecnico nelle caratteristiche di operabilità manutentiva che connotano un elemento tecnico per il soddisfacimento del requisito stesso.*

⁸ UNI 8290-2:1983 Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti. Paragrafo 3.41 Manutenibilità: *Possibilità di conformità a condizioni prestabilite entro un dato periodo di tempo in cui è compiuta l'azione di manutenzione.*



Obiettivo della previsione è invece quello di prefigurare, in sede di progetto, il *tempo medio di riparazione* (TMDR), cioè la media statistica della distribuzione dei tempi di riparazione per unità, sottosistemi, interi sistemi tecnici durante il loro funzionamento⁹.

Il requisito generale di manutenibilità si articola nei seguenti requisiti specifici¹⁰:

- 1) 3.32 *Facilità d'intervento*: possibilità di operare ispezioni, manutenzione e ripristini in modo agevole.
- 2) 3.42 *Pulibilità*: attitudine a consentire la rimozione di sporcizia e sostanze indesiderate.
- 3) 3.53 *Riparabilità*: attitudine a ripristinare l'integrità, la funzionalità e l'efficienza di parti o di oggetti guasti.
- 4) 3.55 *Sostituibilità*: attitudine a consentire la collocazione di elementi tecnici al posto di altri.

Qualunque sia il fattore considerato, tutti sono riconducibili, quantitativamente, ad una stima dei tempi e dei costi degli interventi che consentono di individuare i fattori su cui è opportuno agire al fine di ottimizzare la manutenibilità del sistema tecnologico.

2.2.1 Parametri per la stima della manutenibilità¹¹

Il tempo necessario ad eseguire una riparazione dipende da numerosi fattori di cui alcuni legati all'ubicazione, alla morfologia e alle caratteristiche fisiche dei componenti (accessibilità con o senza attrezzature, agibilità del punto di lavoro, attitudine alla manipolazione, standardizzazione, vulnerabilità, ecc.) altri ad aspetti tecnici e amministrativi degli interventi (disponibilità delle manodopera, dei ricambi, dei materiali e attrezzature, interferenza delle operazioni con le attività dell'utente, ecc.).

I parametri di manutenibilità possono essere determinati mediante l'utilizzo di variabili casuali discrete. Le variabili casuali, o aleatorie, vengono utilizzate mediante il seguente formalismo:

Denotiamo con lettere maiuscole le variabili aleatorie e con lettere minuscole i valori assunti da una variabile aleatoria.

Con la dizione $P(X=x)$ indichiamo la probabilità che la variabile aleatoria X assuma il valore x .

Una variabile aleatoria si dirà discreta se può assumere solo un numero finito o numerabile di valori.

In questo caso a ogni valore x sarà associato il numero $f(x) := P(X=x)$.

La funzione f si dice **funzione di probabilità** o funzione di densità di probabilità. Essa si estende a tutti i valori reali ed il suo valore è uguale a 0 al di fuori dei valori che può assumere X .

La funzione f soddisfa la condizione di P normalizzazione

$$\sum_x f(x) = 1$$

dove la somma è estesa a tutti i possibili valori assunti da X e ci dice che la probabilità che X assuma almeno uno dei valori possibili è 1.

Si definisce **funzione di distribuzione cumulativa**, o semplicemente funzione di distribuzione della variabile aleatoria X , la funzione definita da $F(x) := P(X \leq x)$.

F quindi rappresenta la probabilità che la variabile aleatoria X assuma un qualunque valore minore o uguale a x .

⁹ Ciribini, G., "Introduzione alla tecnologia del design. Metodi e strumenti logici per la progettazione dell'ambiente costruito", Franco Angeli, Milano 1979, pag. 170.

¹⁰ UNI 8290-2:1983. Tra parentesi sono indicati i paragrafi che corrispondono alle definizioni.

¹¹ La maggior parte delle informazioni trasmesse sono state desunte dal testo di Fedele, F., Furlanetto, L., Saccardi, D., (2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano



Come grandezza, la manutenibilità $M(t)$ rappresenta la probabilità che il componente guasto all'istante $t=0$ possa essere riparato all'istante t

Per essa vale la relazione

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = 1$$

che traduce in termini matematici una considerazione ovvia, ossia che al crescere indefinito del tempo la probabilità che l'elemento sia riparato è 1, valere a dire che è certo che l'elemento sarà riparato.

La densità di probabilità della manutenibilità è la funzione

$$g(t) = \frac{dM(t)}{dt}$$

da cui discende il *Mean Time To Repair* (MTTR)¹², che è il valore medio della distribuzione statistica della manutenibilità:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot g(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - M(t)) dt$$

Un'altra grandezza molto importante è il tasso di riparazione $\lambda_g(t)$ che è in relazione con la probabilità condizionale $\lambda_g(t) \cdot dt$ che un componente che non è stato riparato fino al tempo t sia riparato al tempo $t + dt$.

In base alla definizione data, vale la seguente relazione:

$$\lambda_g(t) \cdot dt = \frac{\text{probabilità di riparazione in } [t, t + dt]}{\text{probabilità di non riparazione in } [0, t]} =$$

$$\frac{\text{probabilità di riparazione in } [0, t + dt] - \text{probabilità di riparazione in } [0, t]}{1 - M(t)}$$

$$\lambda_g(t) \cdot dt = \frac{M(t + dt) - M(t)}{1 - M(t)} = \frac{dM(t)}{1 - M(t)}$$

Se il tasso di riparazione è costante, cioè non dipende dall'istante preso in considerazione, si può scrivere:

$$\lambda_g \cdot dt = \frac{dM(t)}{1 - M(t)}$$

e quindi la soluzione può essere scritta nella forma:

$$\ln(1 - M(t)) = -\lambda_g t + \text{cost}$$

$$(1 - M(t)) = e^{-\lambda_g t + \text{cost}}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\lambda_g t + \text{cost}}$$

essendo $M(0)=0$

$$M(t) = 1 - e^{-\lambda_g t}$$

Da cui:

$$MTTR = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_g t} dt = \frac{1}{\lambda_g}$$

¹² Nella versione italiana questo parametro è indicato con TMDR (*Tempo Medio di Riparazione*).



2.3 Requisito di durabilità

Con il termine *durabilità* si intende la propensione di un organismo edilizio o di una sua parte ad eseguire le funzioni richieste per un periodo di tempo determinato sotto l'azione degli agenti a cui si prevede sarà sottoposto durante l'uso¹³.

La vita di un edificio è assimilabile a quella di un vero e proprio organismo e in quanto tale è soggetto ad un naturale processo di invecchiamento dovuto all'azione concomitante di fattori ambientali, tecnologici e progettuali. In generale il decadimento prestazionale, inteso come progressiva perdita di capacità di svolgere le funzioni per le quali è stato realizzato, dipende dalle caratteristiche fisiche, morfologiche e ubicazionali del sistema, valere a dire dalla sua vulnerabilità, e dal tipo e intensità dei componenti del sistema sollecitante che agisce su di esso. Gli effetti delle azioni degli agenti, si traducono in cambiamenti più o meno rilevanti di aspetto e di comportamento dovuti a trasformazioni di natura chimico-fisica dei materiali e alla conseguente alterazione delle relazioni esistenti tra i componenti del sistema. Quando le trasformazioni sono tali da compromettere la capacità di eseguire le funzioni richieste, si dice che il sistema si trova in uno stato di *stato di guasto*¹⁴ e diventa necessario attivare adeguati interventi manutentivi al fine di ripristinare la funzionalità del sistema.

Gli effetti, tuttavia, non sono valutabili in senso assoluto ma in quanto capaci di compromettere le attività dell'utente il cui regolare svolgimento è subordinato al soddisfacimento di requisiti ambientali.

La conservazione nel tempo delle condizioni ambientali che soddisfano le esigenze dell'utenza, vale a dire il mantenimento delle prestazioni ambientali, si ottiene, attraverso il controllo nel tempo delle prestazioni tecnologiche fornite attraverso le proprietà caratteristiche dei materiali, semilavorati ed elementi semplici che costituiscono gli elementi tecnici.

“Le proprietà che consentono lo sviluppo di definite prestazioni tecnologiche degli elementi tecnici con intensità programmate sono dette caratteristiche funzionali e il loro insieme strutturato costituisce il modello di funzionamento dell'elemento tecnico. I valori, progettualmente definiti, dei parametri che connotano le caratteristiche tecniche oggettuali e di relazione sono dette specifiche tecniche.[...] Il modello di funzionamento dei singoli elementi tecnici e le relative specifiche tecniche devono conservarsi nel tempo coerenti con il modello di funzionamento e con le specifiche tecniche possedute al tempo iniziale. In altri termini si deve conservare nel tempo la conformità tecnica degli elementi tecnici”¹⁵.

La maggior parte degli elementi del sistema tecnologico si trasformano molto lentamente e i danni derivanti da uno stato di guasto non sono in genere ingenti. Fanno eccezione in tal senso alcuni componenti dell'involucro esterno dell'edificio, le parti difficilmente accessibili e gli impianti in genere.

Occorre precisare che gli elementi tecnici assumono due distinti comportamenti nella modalità d'ingresso nello stato di guasto che consente di classificarli in *bistabili* e *non bistabili*. Gli elementi bistabili sono caratterizzati da un subitaneo passaggio dallo stato di funzionamento a quello di non funzionamento e il guasto è univocamente definito. Per gli elementi non bistabili si assiste ad una perdita

¹³ Libera traduzione della Norma ISO 15686 Building. Service Life Planning. Parte 1^a – Termini e definizioni – punto 3.2.5. Durabilità: capability of a building or its parts to perform its required function over a specified period of time under the influence of the agents anticipated in service. In Battista C., *Analisi e proposte per un metodologia di realizzazione di banche dati sulla durabilità dei prodotti da costruzione*, tesi di dottorato in Tecnologia dell'Architettura XV° Ciclo, Glossario.

¹⁴ A fronte dell'uso comune del termine, mi sembra opportuno sottolineare la differenza tra *guasto* e *avaria* come indicato nella norma UNI 10147/93 Manutenzione. Terminologia. Con *guasto* si intende “la cessazione dell'attitudine di un'entità ad eseguire la funzione richiesta” mentre con *avaria* si indica lo “stato di un'entità caratterizzato dalla sua inabilità ad eseguire una funzione richiesta”. Il *guasto* è l'*evento* in seguito al quale il sistema entra in uno *stato* di avaria.

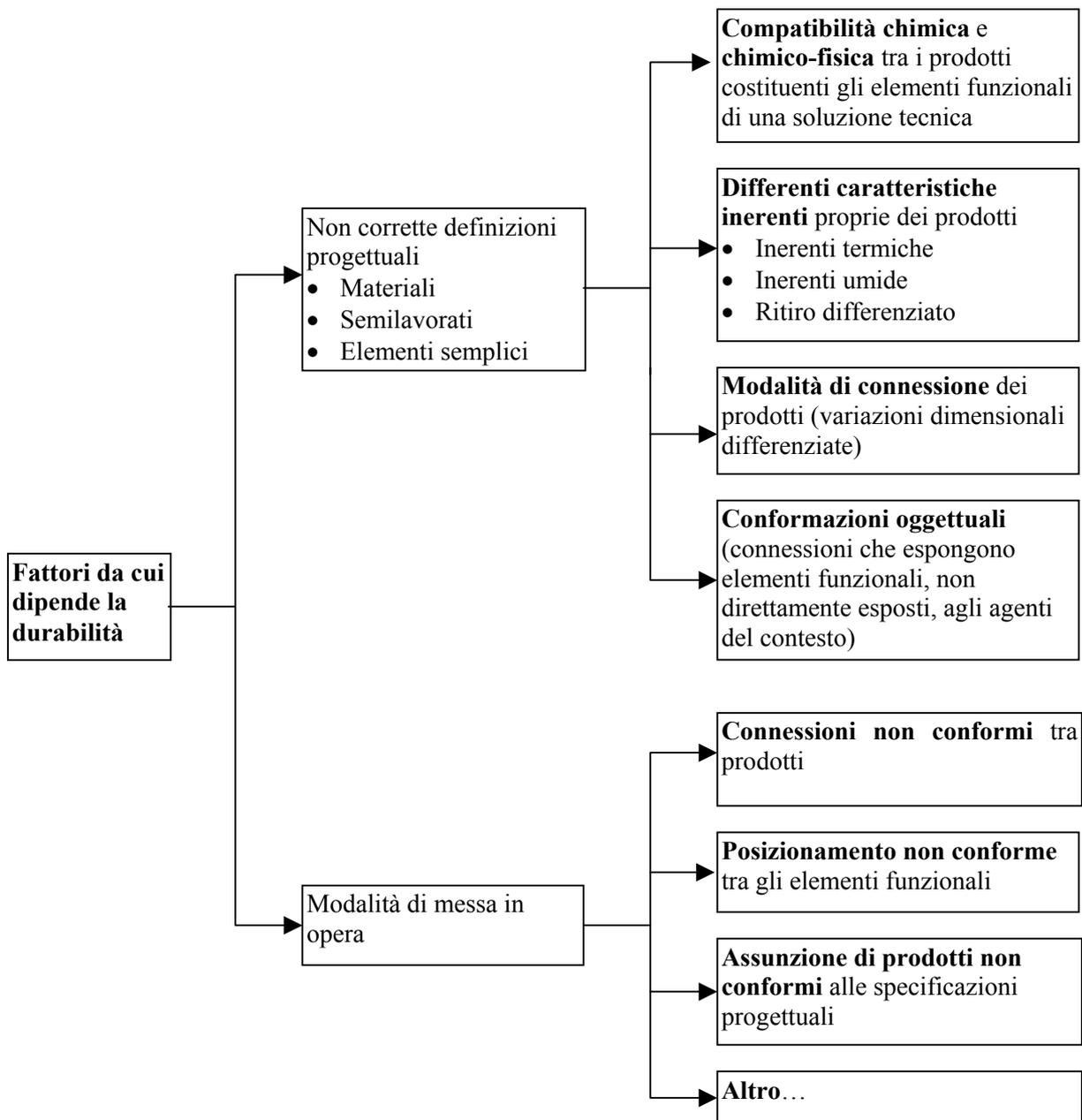
¹⁵ Rejna, M., “La qualità utile dei componenti edilizi” in Maggi P.N. a cura di, “La qualità tecnologica dei componenti edilizi. La valutazione della durabilità. Risultati della prima fase sperimentale”, Epteto, Milano, 2001. Pag. 21



graduale di corretto funzionamento e, in tal caso, è richiesta la stima della soglia ammissibile del decadimento prestazionale oltre la quale si parla di stato di guasto. In generale appartengono alla categoria degli elementi bistabili la maggior parte degli elementi tecnici impiantistici mentre la quasi totalità dei rimanenti elementi tecnici fa parte della categoria degli elementi non bistabili.

La definizione del limite di accettazione di una prestazione, dipende, come già detto, dal ruolo che tale prestazione riveste rispetto allo svolgimento delle attività dell'utente. Per tale motivo non è possibile stimare la durabilità in valore assoluto ma solo relativamente ad un particolare organismo edilizio in un determinato contesto d'uso e di sollecitazione.

Lo schema che rappresenta una sintesi sui principali fattori che incidono sulla durabilità¹⁶.



¹⁶ Lo schema è stato ricavato da Rejna, M, op. cit. pag. 29-31.



2.3.1 Principali grandezze affidabilistiche e loro calcolo

La normativa UNI 10838 al punto 8.4 definisce il requisito di durabilità come: *traduzione di un requisito tecnologico nelle caratteristiche funzionali alla durata e alla sua affidabilità che connotano un elemento tecnico per il soddisfacimento del requisito stesso.*

L'*affidabilità* è definita, nella normativa UNI 8290-2 al punto 3.1 come la “capacità di mantenere sensibilmente invariata nel tempo la propria qualità in condizioni d'uso determinate” definizione che sembra adattarsi perfettamente al significato della durabilità.

In base alle conoscenze acquisite nel campo delle teorie affidabilistiche credo che per chiarire il problema occorra partire dalle unità di misura caratteristiche di quest'ambito ossia la probabilità e il tempo. Nello specifico i termini che indicano l'attitudine di un sistema o di un componente, come affidabilità, disponibilità o manutenibilità, corrispondono a funzioni di probabilità mentre il valore medio della loro distribuzione statistica corrisponde ad un tempo che si assume come indicatore della propensione.

Forse, come per la manutenibilità, la durabilità e l'affidabilità sono le due chiavi di lettura dello stesso problema, una relativa all'attitudine e l'altra alla probabilità matematica.

Lungi dal voler risolvere una questione che va ben oltre la portata di questo lavoro, l'interesse ai fini della programmazione delle attività gestionali manutentive è di stimare il tempo in cui il componente edilizio mantiene livelli prestazionali accettabili.

Al di là delle precisazioni che potranno venire dalla pubblicazione ufficiale della norma, mi sembra utile ripercorrere la metodologia attraverso cui, in ambito industriale, si calcolano le principali grandezze affidabilistiche anche se la natura biofisica dell'organismo edilizio richiede particolari accorgimenti per il trasferimento di queste metodologie.

La Reliability (affidabilità) R si può definire come la probabilità che un componente o sistema funzioni senza guastarsi in un periodo di tempo assegnato e in predeterminate condizioni ambientali. Questa definizione presuppone che:

- sia stabilito il criterio per giudicare se l'elemento è funzionante (ovvero la soglia di accettabilità),
- le condizioni ambientali e di utilizzo siano definite e mantenute costanti,
- sia fissato l'intervallo di tempo durante il quale si desidera che il componente funzioni.

Questi punti di partenza, che in ambito industriale sono abbastanza semplici da definire, possono essere già sufficienti per comprendere le difficoltà nel trasferimento al settore edilizio dove:

- per la maggior parte dei componenti bisogna stabilire i limiti di accettabilità che dipendono già da numerosi fattori;
- le condizioni ambientali e di utilizzo sono estremamente varie anche all'interno di uno stesso edificio;
- l'interesse è maggiormente rivolto alla stima del tempo piuttosto che dell'affidabilità del componente nell'arco temporale,
- di solito più componenti concorrono allo svolgimento di un'unica funzione e oltre ad essere notevolmente interconnessi spesso sono caratterizzati da un invecchiamento differenziato,
- i tempi dell'edilizia sono di gran lunga superiori a quelli industriali dove il tempo si esprime in ore e non in anni.

Ciò non toglie che con una sistematica impostazione del problema attraverso le dovute sintesi e semplificazioni sia possibile attingere da queste metodologie di calcolo.



Da un punto di vista matematico, dato un campione N di componenti omogenei operanti nelle stesse condizioni, l'affidabilità R_i al tempo t_i è definita come il rapporto:

$$R_i = \frac{N - n_i}{N} = R(t)$$

dove n_i è il numero di elementi del campione che hanno subito avaria fino all'istante t_i compreso.

La funzione di distribuzione della probabilità F_i (o inaffidabilità) che si verifichi un'avaria tra i tempi t_0 e t_i compreso, risulta:

$$F_i = \frac{n_i}{N} = 1 - R_i = F(t)$$

Il differenziale della funzione F_i ossia la densità di probabilità della inaffidabilità, $f(t)$ è:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt}$$

Il prodotto $f(t) \cdot dt$ rappresenta la probabilità che il componente considerato si guasti nell'intervallo compreso fra t e $t+dt$

L'altra grandezza importante è il tasso di guasto (failure rate) λ che rappresenta il rischio di avaria di un componente che ha già vissuto per un determinato tempo.

Il tasso di guasto si calcola come rapporto tra il numero di guasti un intervallo di tempo e il numero dei componenti ancora funzionanti nel periodo considerato.

$$\lambda(t) \cdot dt = \frac{\text{probabilità di guasto in } [t, t + dt]}{\text{probabilità di non guasto in } [0, t]} = \frac{\text{probabilità di guasto in } [0, t + dt] - \text{probabilità di guasto in } [0, t]}{R(t)}$$

e quindi

$$\lambda(t) \cdot dt = \frac{-R(t + dt) - (-R(t))}{R(t)} = - \frac{dR(t)}{R(t)} = \frac{f(t) \cdot dt}{R(t)}$$

da cui discende l'espressione:

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Ragionando in termini finiti e non infinitesimi:

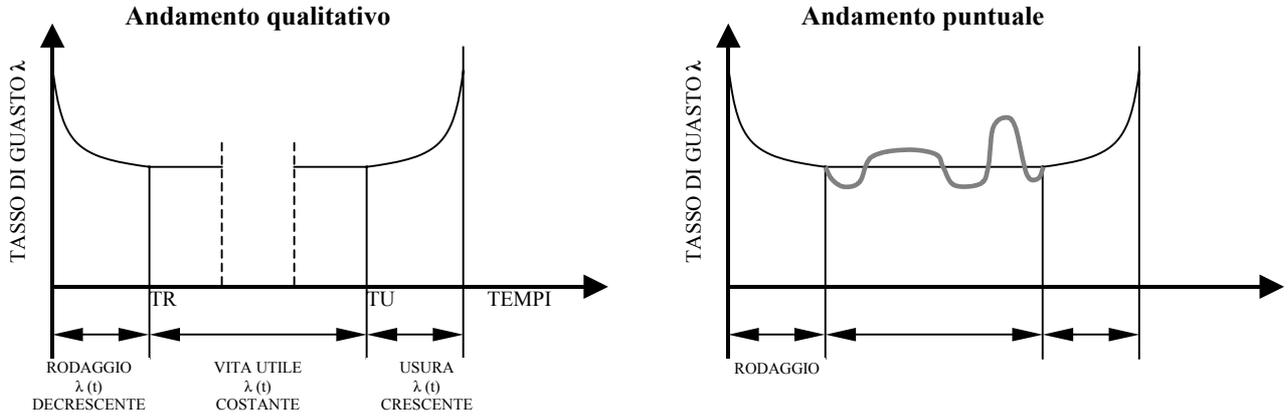
$$f(t) = \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{1}{\Delta t}$$

$$\lambda(t) = \frac{\Delta F(t)}{R(t) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n_i}{N - n_i} \cdot \frac{1}{\Delta t}$$



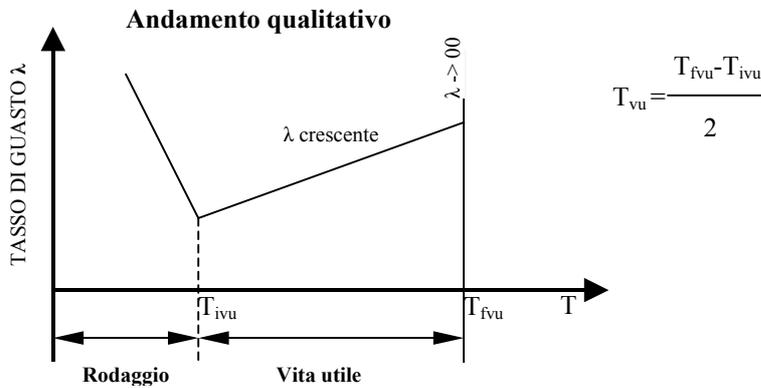
Per alcuni componenti il tasso di guasto si mantiene costante e non dipende dal particolare momento preso in considerazione. Se il tasso di guasto è costante, l'affidabilità $R(t)$ è caratterizzata da una funzione di distribuzione di tipo esponenziale. L'andamento del tasso di guasto, per i componenti non bistabili, è rappresentato dalla cosiddetta *bath tube curve*.

ANDAMENTO DEL TASSO DI GUASTO IN ELEMENTI NON BISTABILI



L'andamento nel tempo che va da 0 a TR (tempo di rodaggio) è caratteristico dei componenti mal progettati o difettosi per i quali si verifica il cosiddetto fenomeno della mortalità infantile; dal tempo TR al tempo TU (tempo di usura) l'andamento è tipico dei componenti a tasso costante, nei quali il guasto si manifesta in modo casuale; in fine dal tempo TU alla morte, l'andamento è proprio dei componenti caratterizzati da fenomeni di usura e d'invecchiamento.

ANDAMENTO DEL TASSO DI GUASTO IN ELEMENTI BISTABILI



I sistemi o componenti possono essere distinti in *non riparabili* e *riparabili*.

- a) I sistemi o componenti non riparabili sono quelli per i quali il guasto rappresenta una transizione irreversibile, che viene trattata nell'ambito degli studi affidabilistici in senso stretto
- b) I sistemi o componenti riparabili sono quelli per i quali l'avaria costituisce solo un momento tipico della loro vita al quale segue un intervallo di funzionamento. Essi sono oggetto degli studi relativi alla disponibilità.



Più in generale è maggiormente significativa l'affidabilità, quando prevale il costo del guasto in sé (sostituzione di componenti, danni diretti, ecc) mentre è preferibile fare riferimento alla disponibilità se è prevalente il costo connesso al guasto (mancata produzione, disservizio, ecc.).

Per i sistemi o componenti non riparabili il parametro *Mean Time To failure* (MTTF) esprime il tempo in cui si verifica il guasto a partire dall'inizio della vita del componente quando $t=0$.

L'MTTF rappresenta il valore medio della distribuzione di probabilità della inaffidabilità $F(t)$:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dR(t)}{dt} dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Nel caso di tasso di guasto λ costante l'equazione diventa

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

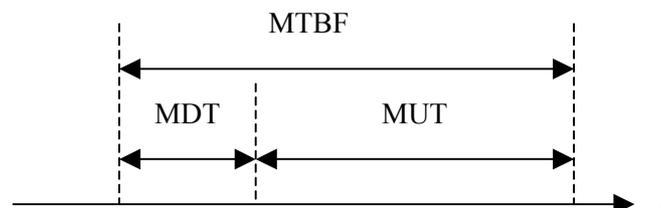
All'istante $t=MTTF$, $R(t) = R(MTTF) = e^{-1} \approx 0,37$ ossia la probabilità che un componente funzionante all'istante ($t=0$) non si guasti al tempo $t=MTTF$ è uguale a 0,37.

Nei sistemi riparabili, come già detto gli studi sono maggiormente concentrati sulla disponibilità (*availability*). Per la sua stima occorre definire altri importanti intervalli temporali.

Il periodo durante il quale un sistema viene riparato è detto *Mean Down Time* (MDT) che è la somma di altri tre intervalli:

- LDT (*Logistic Delay Time*), che rappresenta il tempo di arresto necessario all'approvvigionamento dei mezzi tecnici, delle parti di ricambio e della documentazione;
- ADT (*Administrative Delay Time*), tempo di arresto legato a questioni di natura gestionale e amministrativa;
- MAMT (*Mean Active Maintenance Time*), tempo medio richiesto per effettuare la manutenzione.

Effettuata la riparazione, il componente rimane in funzione per un altro periodo di tempo il *Mean Up Time* (MUT). La somma di MUT e MDT definisce il *Mean Time Between Failures* (MTBF), cioè il tempo in cui ci si attende il verificarsi dei guasti.



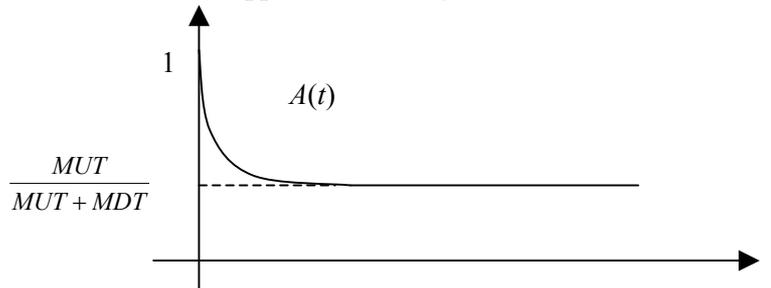


L' *availability* $A(t)$ di un sistema o di un componente riparabile, è definita come la probabilità che un componente funzionante all'istante $t=0$ non sia guasto all'istante t considerato. Essa può essere valutata come rapporto tra il tempo medio di funzionamento corretto e il tempo totale di attività.

La disponibilità si può considerare sotto tre forme diverse¹⁷:

1. *inherent availability (disponibilità intrinseca)*, A_i , che rappresenta la probabilità che un sistema utilizzato sotto particolari condizioni e in un ambiente ideale di supporto (piena disponibilità di attrezzature, ricambi, manuali di istruzione, personale qualificato, ecc.) operi in ogni istante in maniera soddisfacente;
2. *operational availability (disponibilità operativa)*, A_o , ovvero la probabilità che un sistema utilizzato sotto particolari condizioni e in un assegnato ambiente operativo reale, operi in maniera soddisfacente quando richiesto;
3. *achieved availability (disponibilità raggiunta)*, A_a , che rappresenta la disponibilità effettivamente raggiunta, tenendo conto anche dei ritardi logistici e amministrativi.

L'andamento della funzione $A(t)$ è rappresentato in figura.



$$A(t)=1 \quad \text{per } t=0$$

$$A(t) = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MUT}{MTBF} \quad \text{per } t \text{ che tende a infinito}$$

Da cui

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

È anche possibile definire la grandezza complementare della disponibilità, ovvero l'*indisponibilità* $Q(t)$ tale che $A(t) + Q(t) = 1$

¹⁷ Fedele et alt, op. cit. pag.24

3. Modello UNI per il processo manutentivo

Nell'ultimo decennio, l'apparato normativo per il settore edile è stato caratterizzato da una sostanziale evoluzione dei suoi principi ispiratori. Sono stati acquisiti, almeno concettualmente, i caratteri di una cultura orientata alla qualità più che alla quantità e indirizzata alla programmazione e al controllo di *tutte* le fasi del processo edilizio.

L'art. 15 comma 1 del D.P.R. 554/99¹ indica in modo esplicito i principi cui deve riferirsi la progettazione sovvertendo una prassi consolidata che trovava i propri fondamenti nell'applicazione di norme tecniche per il dimensionamento analitico di superfici, volumi, altezze e distanze.

Il progetto, che diventa l'elemento che regola e controlla l'intero processo edilizio, deve adottare come criterio fondamentale la *qualità*. Ad essa si perviene tramite l'individuazione preventiva delle esigenze, dei requisiti e delle prestazioni e attraverso la programmazione delle attività volte a garantire nel tempo, entro limiti stabiliti, dal progettista o dalla normativa, il soddisfacimento dei requisiti.

Quest'inversione di tendenza nasce certamente "da una esplicita domanda di trasparenza richiesta dall'utenza in ordine alle logiche produttive, sia sul versante della loro corrispondenza ad una convenienza economica complessiva, sia in rapporto alle tematiche della sicurezza individuale e della salute collettiva, dentro quindi un orizzonte di riferimento che pone al centro il concetto dello sviluppo sostenibile sul piano ambientale, sociale ed economico".²

Il nuovo contesto culturale, agevolato dalle direttive della Comunità Europea e da un accresciuto interesse dei proprietari ad incrementare il valore patrimoniale dei beni immobili, ha generato una serie di leggi e di norme nel settore della gestione e della manutenzione edilizia. Gli strumenti legislativi e normativi, tuttavia, non sono sempre confrontabili sia nelle forme che nei contenuti. In particolare nella UNI 10874:2000 "Manutenzione dei patrimoni immobiliari Criteri di stesura dei manuali d'uso e di manutenzione", gli strumenti da predisporre sono il *Manuale di conduzione tecnica*, il *Manuale di manutenzione* e il *Manuale d'uso e di manutenzione*, destinati ai diversi operatori del processo. Per essi sono definiti i contenuti delle schede di rilievo, delle istruzioni e delle procedure e il piano di manutenzione è una parte del manuale di manutenzione in disaccordo con quanto previsto dal Regolamento d'Attuazione DPR n.554/1999 della Legge Quadro n.109/1994 nel quale il *Piano di manutenzione* è costituito dal *Manuale d'uso*, *Manuale di manutenzione* e *Programma di manutenzione*³.

Tale condizione ostacola una visione unitaria della problematica manutentiva e obbliga a separare i due ambiti di riferimento. In linea generale credo di poter affermare che i dispositivi di legge sono maggiormente indirizzati a fornire indicazioni sugli strumenti operativi, anche se i contenuti sono scarsamente esplicitati, mentre la normativa UNI è più orientata alla modellazione globale del processo dando soprattutto indicazioni di ordine organizzativo e procedurale ed è per questo motivo che, in questa sede, sarà l'oggetto privilegiato dell'analisi.

¹ "La progettazione ha come fine fondamentale la realizzazione di un intervento di qualità e tecnicamente valido, nel rispetto del miglior rapporto fra i benefici e i costi globali di costruzione, manutenzione e gestione. La progettazione è informata, tra l'altro, a principi di minimizzazione dell'impegno di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate dall'intervento e di massima manutenibilità, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni dell'intervento nel tempo"

² Sciaffonati, F. in Baldi, C., Sanvito M., *La gestione della qualità nel processo edilizio*, UNI, Milano, 2001, pag.VI.

³ I contenuti saranno esaminati in dettaglio nei paragrafi che seguono.



3.1 Legislazione vigente

L'attuale corpo normativo in materia di lavori pubblici è costituito, essenzialmente, dalla Legge Quadro n.109/1994 (e successive modificazioni e integrazioni) detta "Legge Merloni" e dal Regolamento d'Attuazione della stessa DPR n.554/1999.

I nuovi dispositivi di legge prevedono che l'assegnazione di un appalto avvenga in base all'offerta che garantisce il minor costo globale comprensivo dell'aliquota relativa alla gestione e quindi alla manutenzione dell'opera da realizzare.

Per questo motivo il progettista è obbligato a redigere il Piano di manutenzione⁴ dell'immobile quale parte integrante del progetto esecutivo i cui elaborati sono elencati nell'art. 35 del Regolamento.

La prima parte del successivo articolo 40 definisce le **funzioni** del Piano di manutenzione che "prevede, pianifica e programma".

La "previsione" include tutte le operazioni finalizzate a "prevedere" il comportamento futuro del sistema progettato. In questa sfera rientrano le problematiche di durabilità e affidabilità e in generale la stima dei parametri che connotano l'aspetto operativo della manutenzione.

La fase di "pianificazione" riguarda il momento delle scelte strategiche sulla scorta delle informazioni provenienti dalla stima dei parametri. La scelta della strategia "ottima", nel caso più generale, tende a massimizzare le prestazioni e a minimizzare i tempi e i costi. Solo alla fine sarà possibile redigere il *programma* di manutenzione che specifica i cicli di controllo e di intervento da eseguire secondo cadenze temporali prestabilite.

Il secondo comma dell'art. 40 elenca i documenti operativi che costituiscono il piano di manutenzione articolato in tre elaborati principali da cui, per successive scomposizioni, hanno origine cinque documenti differenti:

- a) Manuale d'uso
- b) Manuale di manutenzione
- c) Programma di manutenzione, da sviluppare secondo tre sottoprogrammi:
 - sottoprogramma delle prestazioni
 - sottoprogramma dei controlli
 - sottoprogramma degli interventi

Il primo documento del piano di manutenzione è il **manuale d'uso** i cui contenuti e modalità di redazione sono illustrati nei commi terzo e quarto dell'art. 40. Si tratta di un documento destinato ai fruitori del bene che contiene le informazioni necessarie per un corretto utilizzo delle parti e le indicazioni utili a riconoscere eventuali anomalie da comunicare al personale specializzato.

Il comma terzo⁵, oltre a fissare le informazioni che questo elaborato deve contenere, introduce il concetto di "parti del bene" intese, soprattutto come unità tecnologiche⁶. La norma, però, va oltre aggiungendo al termine "parti" l'attributo "più importanti" lasciando quindi all'arbitrio del progettista la loro individuazione. Fanno eccezione gli impianti tecnologici che sono indicati espressamente e che costituiscono pertanto, l'oggetto privilegiato delle disposizioni.

⁴ "Il Piano di Manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico". D.P.R. 554/99 art. 40 comma 1

⁵ DPR 554/99 art. 40 comma 3: *Il manuale d'uso si riferisce all'uso delle parti più importanti del bene, ed in particolare degli impianti tecnologici. Il manuale contiene l'insieme delle informazioni atte a permettere all'utente di conoscere le modalità di fruizione del bene, nonché tutti gli elementi necessari per limitare quanto più possibile i danni derivanti da un'utilizzazione impropria, per consentire di eseguire tutte le operazioni atte alla sua conservazione che non richiedono conoscenze specialistiche e per riconoscere tempestivamente fenomeni di deterioramento anomalo al fine di sollecitare interventi specialistici.*

⁶ Cfr. comma 5 alla nota successiva.



L'individuazione delle parti è una fase fondamentale del processo, perché ad essa faranno riferimento tutti gli altri documenti inclusi nel Piano.

Il comma quattro, infine, elenca le informazioni da includere nel manuale d'uso:

- a) la collocazione nell'intervento delle parti menzionate
- b) la rappresentazione grafica
- c) la descrizione
- d) le modalità di uso corretto.

Il **manuale di manutenzione**⁷, contemplato dai commi 5 e 6, fornisce le indicazioni occorrenti per l'attività manutentiva ed è destinato agli utenti e ai fornitori del servizio. Le informazioni hanno un carattere maggiormente tecnico-operativo e il progettista dovrà fornirle, in relazione alle diverse unità tecnologiche, ai componenti o materiali impiegati. Nel manuale sono comprese le schede tecniche dei prodotti con le indicazioni delle anomalie riscontrabili e il di centro di assistenza specialistica a cui rivolgersi.

Il comma 6 dell'art. 40, nei punti a) e b) ripropone quanto già previsto per il manuale d'uso mentre nel successivo punto c) è richiesta la “descrizione delle risorse necessarie” che comprendono materiali, attrezzature e manodopera occorrenti alle varie lavorazioni e alle diverse attività di ispezione e controllo.

Al punto d) è richiesto di indicare “*il livello minimo delle prestazioni*” che rappresenta il valore limite inferiore accettabile per una determinata funzione della parte individuata.

I successivi punti del comma sesto dell'art. 40 (lettere e), f), e g)), richiedono al progettista di definire i segnali e le manifestazioni indicativi di eventuali anomalie e di distinguere le manutenzioni eseguibili dall'utente da quelle eseguibili da personale specializzato.

L'ultimo documento previsto dalla legge per il piano di manutenzione è il “**programma di manutenzione**”⁸ che da vita ai tre elaborati già visti. Questo documento rappresenta lo scadenziario dove sono riportati i controlli e gli interventi da eseguire sugli elementi manutenibili ad intervalli stabiliti o in occasione di particolari eventi (generalmente di tipo calamitoso).

Il **sottoprogramma delle prestazioni** individua, per “classe di requisito”, le prestazioni da considerare per ciascuna parte. Il **sottoprogramma dei controlli** definisce le cadenze temporali con cui eseguire la misura delle prestazioni attraverso cui è possibile definire la legge di riduzione nel tempo della prestazione oggetto del controllo. La conoscenza della dinamica della caduta prestazionale è fondamentale, per chi è chiamato a gestire il bene, per perfezionare il **sottoprogramma degli interventi**. Questo è il terzo ed ultimo elaborato e riporta le cadenze temporali con cui effettuare gli interventi di manutenzione al fine ovviamente di garantire nel tempo la qualità edilizia.

⁷ DPR 554/99 art. 40 comma 5: *Il manuale di manutenzione si riferisce alla manutenzione delle parti più importanti del bene ed in particolare degli impianti tecnologici. Esso fornisce, in relazione alle diverse unità tecnologiche, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione nonché per il ricorso ai centri di assistenza o di servizio.*

⁸ DPR 554/99 art. 40 comma 7: *Il programma di manutenzione prevede un sistema di controlli e di interventi da eseguire, a cadenze temporalmente o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. [omissis]*



3.2 Normativa tecnica

La normativa UNI, in generale, fornisce i criteri e le linee guida necessari per una corretta impostazione metodologica del problema e per la stesura dei documenti di riferimento a supporto delle varie fasi del processo manutentivo.

La Sottocommissione “Manutenzione dei patrimoni immobiliari”, è stata istituita nel 1995 nel contesto più ampio della Commissione “Manutenzione” con il duplice mandato di:

- “dare una risposta alla esigenza, maturata in campo industriale, di risolvere i problemi di interfaccia tra la componente edilizia e le componenti di provenienza industriale che stanno assumendo un peso quantitativo e qualitativo sempre più consistente nell'intero sistema-edificio e che risultano essere, al contrario, molto soggette a norme di carattere gestionale e manutentivo. Ma anche di chiarire e normare il rapporto, ancora abbastanza oscuro, tra le strategie e le attività di manutenzione e la dinamica dei valori della componente immobiliare;
- interpretare la transizione da una concezione della manutenzione come attività (caratterizzata quindi da contenuti operativi di ordine prevalentemente tecnico-esecutivo) a quella della manutenzione come servizio (caratterizzata da contenuti di ordine prevalentemente organizzativo e procedurale)”⁹.

La prima norma pubblicata è stata la 10604:1997 che ha fornito l'orientamento generale e le tematiche su cui sviluppare la successiva produzione normativa sulla manutenzione edilizia.

Ad essa hanno fatto seguito (al 01/03/05)

- | | |
|------------------|---|
| UNI 10685:1998 | “Criteri per la formulazione di un contratto basato sui risultati (global service)” |
| UNI 10831-1:1999 | “Documentazione ed informazioni di base per il servizio di manutenzione da produrre per i progetti dichiarati eseguibili ed eseguiti - Struttura, contenuti e livelli della documentazione” |
| UNI 10874:2000 | “Criteri di stesura dei manuali d'uso e di manutenzione”. |
| UNI 10831-2:2001 | “Documentazione ed informazioni di base per il servizio di manutenzione da produrre per i progetti dichiarati eseguibili ed eseguiti - Articolazione dei contenuti della documentazione tecnica e unificazione dei tipi di elaborato” |
| UNI 10951:2001 | “Sistemi informativi per la gestione della manutenzione dei patrimoni immobiliari - Linee guida” |
| UNI 11136:2004 | “Global service per la manutenzione dei patrimoni immobiliari - Linee guida” |

L'analisi che segue trascura gli aspetti relativi all'organizzazione amministrativa del servizio di manutenzione privilegiando gli elementi che riguardano le fasi del processo e i contenuti degli strumenti operativi.

⁹ Molinari, C. (2000), Que es mantener segun las normas?, Mantenimiento y gestion de los edificios. La tendencia Europea, Jornadas Internacionales, 15-17 de Junio 2000, Barcelona, in De Angelis E. a cura di (2003) *Un archivio aperto di casi di guasto a supporto del progetto e della gestione dei sistemi tecnologici edilizi*, Dipartimento di Scienza e Tecnologie dell'Ambiente Costruito - BEST (Building & Environment Science & Technology) e Laboratorio di Patologia Edilizia – BPLab del Politecnico di Milano, <http://www.oopp.regione.lombardia.it/>, pag 143.



3.2.1 Modello del processo tecnico-gestionale

La norma UNI 10604 costituisce un importante quadro di sintesi per comprendere l'insieme delle problematiche manutentive e le fasi salienti del processo strutturato in chiave decisionale ed operativa. Dall'analisi globale del testo è possibile stabilire l'insieme dei dati essenziali, le metodologie per assicurarsi e le procedure e gli strumenti per utilizzarli.

Tradotto in altri termini le azioni fondamentali del processo inteso globalmente riguardano la conoscenza, la previsione, la pianificazione, l'esecuzione e il controllo. La norma struttura la conoscenza in funzione delle successive fasi di previsione e pianificazione.

Dalle categorie di informazioni necessarie elencati al paragrafo 4.1 ho ritenuto opportuno trarre una matrice di riferimento per evidenziare i gruppi di dati relazionati al livello di scomposizione:

		Patrimoni immobiliari	Immobili	Sistema tecnologico	Componenti
Descrizione anagrafica	Individuazione	■	■	■	
	Localizzazione				
	Descrizione				
Elaborati grafici	Dimensioni				■
	Disclocazioni				
	Tracciati				
Verifica	dello stato di efficienza			■	■
	della funzionalità			■	■
	del rispetto delle regole e norme vigenti			■	■
Vita utile residua					■
Specifiche tecniche					■
Costi	costo di riparazione				■
	costo di sostituzione				■
	costo di indisponibilità				■

Ai fini della conoscenza e della previsione si sottolinea, più volte, l'importanza di ricorrere alla diagnostica per ottenere dati sullo stato del sistema da elaborare successivamente al fine di rendere la capacità di previsione più attendibile.

A tal scopo la norma suggerisce due livelli di campionamento dei dati: uno relativo agli elementi tecnici o componenti del sistema tecnologico, scomposto in funzione del livello ritenuto più appropriato, e l'altro riferito agli immobili, appartenenti a patrimoni di rilevante entità, raggruppati per classi omogenee.

Gli immobili devono essere suddivisi in funzione di:

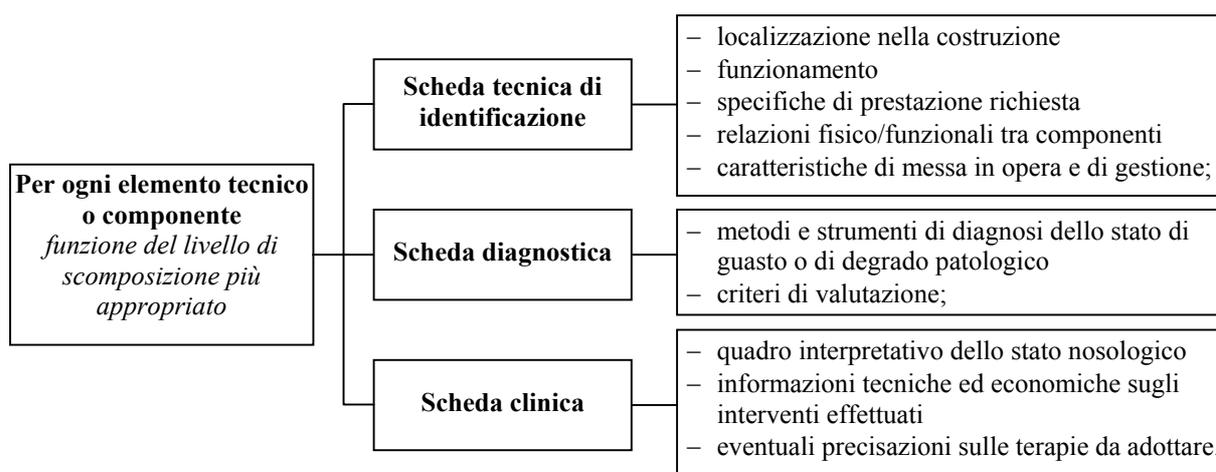




I dati indispensabili per una corretta pianificazione delle attività manutentive sono, infatti, per la maggior parte valutabili solo probabilisticamente e richiedono pertanto un continuo e costante aggiornamento, attraverso quelle che la normativa¹⁰ definisce “*informazioni di ritorno*”.

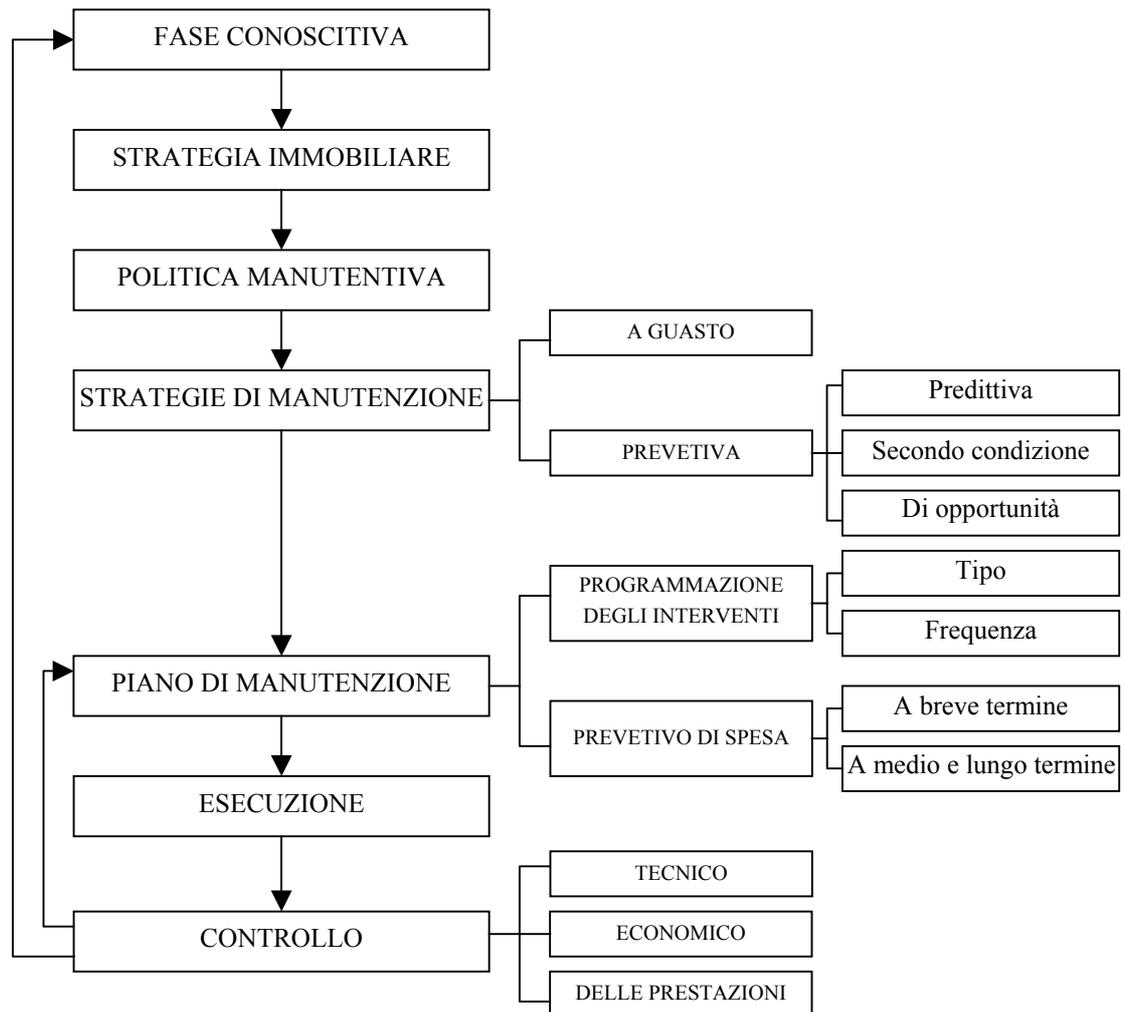
Queste sono contenute nelle schede diagnostiche e cliniche e riguardano essenzialmente:

- tipologia e frequenza dei guasti;
- tempi medi di riparazione;
- indici di manutenzione (di costo, di produttività, ecc.);
- fattori esterni ed interni che influenzano l'insorgere di patologie e le cadute prestazionali;
- verifica delle previsioni di durabilità e affidabilità dei componenti edilizi in opera;
- verifica della programmazione della manutenzione.



Alla fase conoscitiva seguono quella della pianificazione economica e operativa, che sarà analizzata nel paragrafo successivo, e quella esecutiva e di controllo secondo lo schema che segue:

¹⁰ Nota al paragrafo 6.1.6 della UNI 10874:2000



3.2.2 Sistemi informativi

Il sistema informativo di manutenzione (SIM) è uno strumento essenziale per la pianificazione, la gestione e il controllo dell'attività manutentiva, in quanto fornisce un valido supporto per gli aspetti operativi e decisionali. Esso è costituito da un complesso di banche dati, procedure e funzioni necessari per raccogliere ed elaborare le informazioni utili per l'organizzazione e il monitoraggio delle attività di gestione e manutenzione.

La normativa UNI 10604:97 individua i requisiti essenziali, le caratteristiche generali e le principali funzioni di un SIM.

I requisiti fondamentali sono rappresentati dalla capacità di contemplare e organizzare l'eterogeneità delle informazioni caratteristiche dei patrimoni immobiliari e dalla flessibilità, intesa come attitudine ad adeguarsi alle evoluzioni della normativa.



Tra le caratteristiche fondamentali del sistema sono contemplati:

- la possibilità di scomporre gerarchicamente l'edificio nei componenti oggetto di manutenzione,
- la definizione per ciascun componente del tipo di intervento e delle risorse economiche necessarie in termini di manodopera, materiali e attrezzature,
- la capacità di riaggregare le informazioni in piani a breve termine
- la capacità di garantire il ritorno delle informazioni per costruire serie storiche e statistiche.

Per quanto riguarda gli aspetti funzionali il SIM deve consentire necessariamente:

- l'aggiornamento e la modifica del piano di manutenzione,
- l'emissione dei documenti che danno luogo alle attività,
- la raccolta e l'analisi delle informazioni di ritorno.

La normativa individua tre aree principali di azione del SIM (pianificazione, gestione e controllo) e per ciascuna di esse definisce i principali moduli informativi:

Pianificazione	Gestione	Controllo
Anagrafica	Anagrafica	Archivio storico degli interventi effettuati
Programmazione delle risorse	Gestione delle risorse	Rapporti di spesa
Piano di manutenzione	Schedatura delle lavorazioni	Controllo dello stato di avanzamento dei lavori
Analisi di affidabilità e dei modi di guasto	Gestione magazzino	Controllo ricambi
	Richieste d'intervento	Ispezioni /monitoraggio
	Bolle/ordini di lavoro	

3.2.3 Tipologia e struttura dei manuali

La UNI 10874:2000 "Manutenzione dei patrimoni immobiliari - Criteri di stesura dei manuali d'uso e di manutenzione", fornisce indicazioni sugli strumenti operativi rappresentati dai manuali:

- di conduzione tecnica;
- di manutenzione;
- d'uso e di manutenzione.

Al loro interno, sono contenute informazioni anagrafiche, tecniche, normative e gestionali secondo diverse modalità di raggruppamento e gradi di approfondimento, in funzione dei diversi attori del processo: utente, gestore, fornitori del servizio.

Sono riportati inoltre, i modelli ed i contenuti dei dati, rappresentati dalle *schede* tecniche, diagnostiche, cliniche e normative, dalle *istruzioni* per l'uso, la manutenzione e la dismissione e smaltimento, dalle *procedure* di conduzione tecnica e di controllo. In particolare si perviene alla definizione del piano di manutenzione, facente parte del manuale di manutenzione, che, come già detto, contiene l'insieme delle relative attività, con indicazione delle frequenze ipotizzate per i diversi tipi di interventi, dei costi approssimativi e delle strategie a breve e nel medio e lungo termine.



Il programma di manutenzione contempla le attività previste dal piano ed inserite nel bilancio annuale di spesa. Si genera in tal modo una programmazione operativa nella quale sono definite le risorse da utilizzare (manodopera, materiali e mezzi), l'organizzazione tecnica, la logistica ed il preventivo di costo degli interventi.

La matrice che segue fornisce i contenuti di base associati ai diversi manuali previsti dalla norma:

Contenuti	Manuale di conduzione tecnica fornitori del servizio	Manuale di manutenzione fornitori del servizio	Manuale d'uso e di manutenzione utente
Scheda identificativa bene immobile	■	■	■
lista anagrafica degli elementi	■	■	■
elaborati grafici	■	■	■
schede tecniche	■	■	■
schede diagnostiche;		■	
schede cliniche;		■	
schede normative	■	■	
istruzioni per l'uso	■		■
istruzioni per la manutenzione;		■	
istruzioni per la dismissione e lo smaltimento;		■	
procedure di conduzione "tecnica"	■		
procedure di controllo	■		
piano di manutenzione (frequenze stabilite per l'esecuzione delle opere di manutenzione)		■	■
piano e procedure dei controlli periodici;		■	
principali riferimenti normativi e legislativi di cui si è tenuto conto nella formulazione del piano di manutenzione al fine di adeguarlo in caso di eventuali aggiornamenti normativi.		■	
indirizzario dei referenti tecnici da interpellare.			■



3.3 Conclusioni

Analizzando i due testi (legislazione e normativa tecnica), credo di poter affermare che nel complesso le differenze che contraddistinguono i relativi apparati sono più formali che sostanziali in quanto di fondo condividono la stessa filosofia. Rinunciando all'uso di entrambe le terminologie, ho tentato di cogliere per grosse linee l'essenza del processo di manutenzione che si configura quale strumento di regolazione e controllo del naturale e/o patologico processo di invecchiamento dell'opera di architettura. Esso rappresenta l'insieme delle attività che forniscono un servizio indispensabile per garantire nel tempo un prodotto di qualità, ossia capace di soddisfare le esigenze dell'utenza.

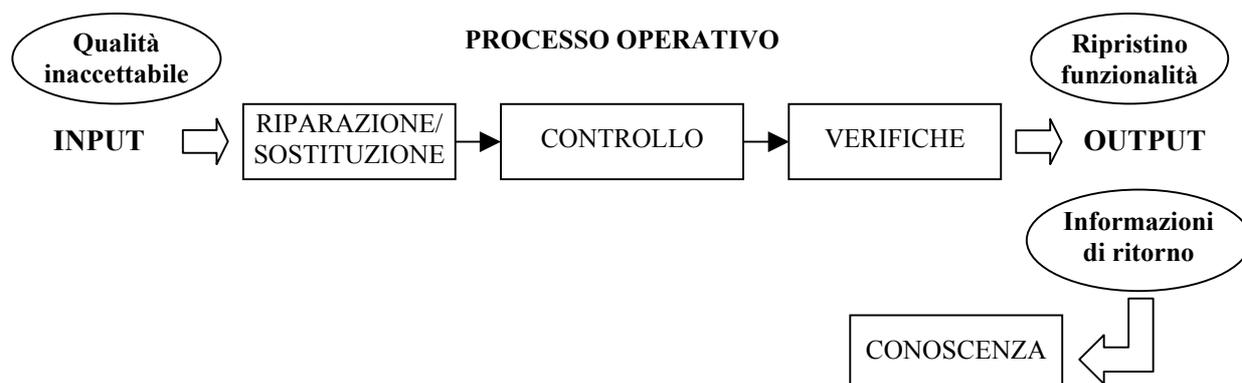
All'interno del processo manutentivo è possibile individuare tre fasi, o meglio tre sottoprocessi, fondamentali e fortemente interrelati:



Il processo operativo

Il processo operativo è costituito soprattutto dall'insieme degli interventi finalizzati a riportare il componente in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta. Esso comprende anche le attività di ispezione e controllo, attuate anche attraverso la diagnostica, che possono costituire a loro volta nuovi input per l'inizio del processo stesso.

Esso ha il compito fondamentale di controllare e regolare, nel senso cibernetico dei termini, il processo di trasformazione fisica degli edifici e può avere inizio o per attività pianificate nella fase organizzativa, o per richieste di intervento da parte dell'utenza. Alle due tipologie di input corrispondono rispettivamente le strategie di manutenzione a guasto e preventiva. In entrambi i casi si è in presenza di componenti che hanno raggiunto il livello prestazionale inferiore e pertanto richiedono un intervento che può essere di riparazione, di sostituzione o di semplice pulizia. Anche gli output sono di due tipi: uno che possiamo definire diretto e l'altro derivato. Il primo coincide con il ripristino della funzionalità fisica mentre il secondo è rappresentato dalle verifiche delle informazioni sulla cui base è stata eseguita la programmazione.





Il processo organizzativo

Il processo organizzativo, utilizza tecniche e strumenti di analisi in grado di fornire un supporto tecnico-gestionale alla pianificazione degli interventi con l'obiettivo di rendere sempre più efficiente il sistema manutentivo, ottimizzando le risorse e migliorando la sicurezza e la qualità.

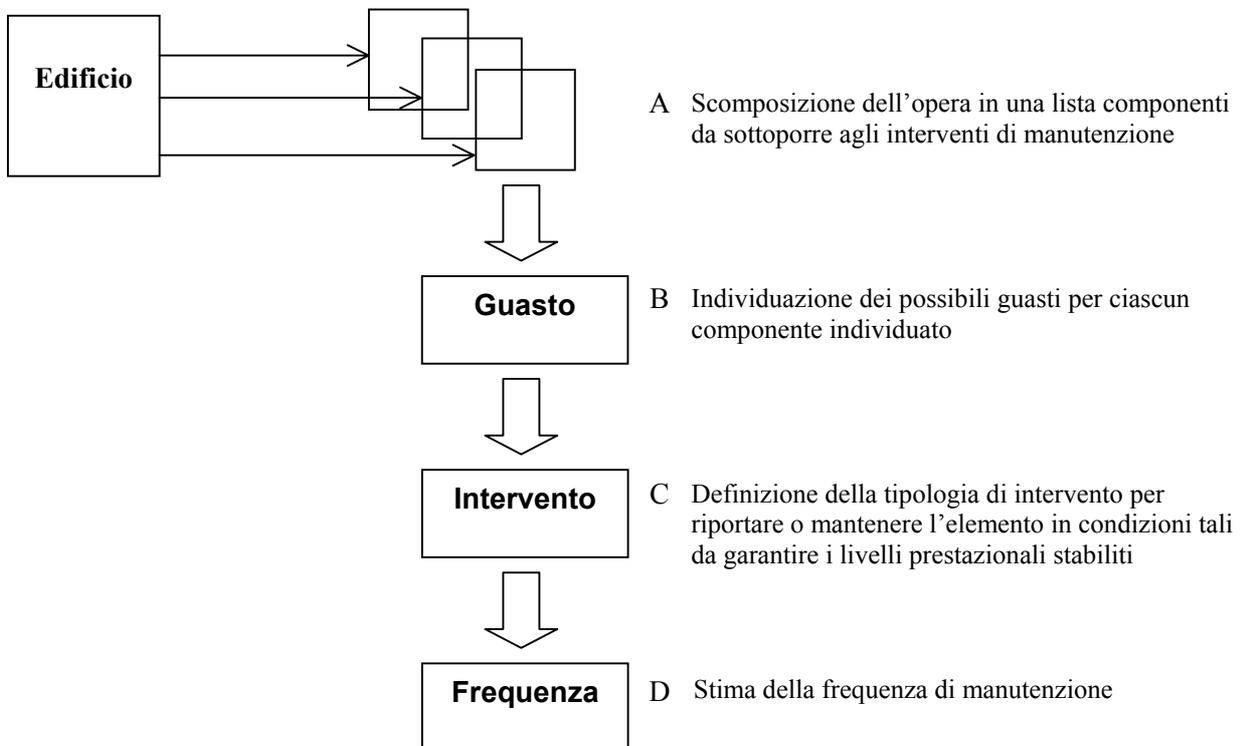
Val la pena di rilevare che la visione tecnicistica della manutenzione, caratteristica degli anni '80 espressamente legata alla variabile tempo ed indirizzata ad anticipare il guasto, è stata oggi sostituita da un approccio che mira a privilegiare gli aspetti organizzativi e si concentra soprattutto sulle conseguenze dei possibili guasti coinvolgendo nel processo tutti gli interessati.

Stabilite le conseguenze di ogni guasto, è possibile disporre le azioni preventive o accettare una manutenzione a guasto avvenuto, nell'ipotesi che gli effetti in termini di costi e di sicurezza non compensino i costi di manutenzione aggiuntivi.



Il processo conoscitivo

Il processo conoscitivo comprende molto sinteticamente le seguenti attività:

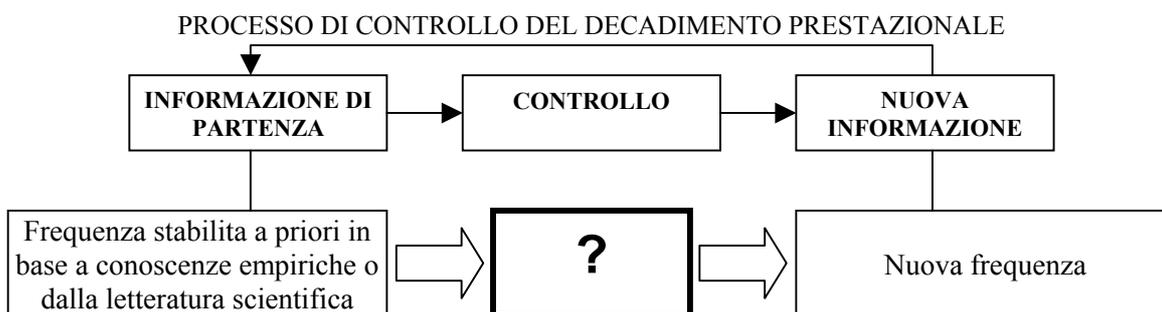


L'individuazione dei componenti è in genere stabilita attraverso una rigorosa scomposizione gerarchica su base funzionale secondo il modello UNI e spesso si spendono molte energie e risorse per riportare tutto ciò che è possibile conoscere dell'opera. Il rischio è di appesantire il processo con informazioni superflue



rispetto agli scopi, nel senso che molti dati possono avere uno scarso peso rispetto all'analisi delle prestazioni e al comportamento dei componenti nei confronti degli agenti sollecitanti. Molto interessante, per esempio, è il concetto di “insiemi manutentivi” espresso dalla UNI 1874:2000 nella quale si sottolinea l'importanza di considerare simultaneamente quei componenti “che possono essere oggetto di interventi manutentivi unitari”¹¹.

La fase D rappresenta certamente il segmento più complesso dell'intero processo ed anche il luogo d'incontro delle problematiche di manutenibilità e durabilità. La difficoltà a stabilire con esattezza il tempo durante il quale un componente conserva prestazioni accettabili è evidenziata dal fatto che il manuale di manutenzione non è inteso staticamente ma come strumento *in progress* che mediante “informazioni di ritorno”, regola la frequenza degli interventi secondo un approccio del tipo *black-box*¹².



Quest'impostazione presenta lo svantaggio di non fornire indicazioni sulla natura del processo e le informazioni acquisite restano valide per il singolo caso considerato. Lasciando ferma questa metodologia, che certamente rappresenta il modo migliore per ottenere dati certi da manipolare successivamente con tecniche proprie della statistica, resta da esplorare l'eventualità che esistano, in altri campi, metodi, modelli e strumenti utili per migliorare a priori questa stima e per comprendere più a fondo il processo. A questo punto credo sia utile chiudere il capitolo con un passo che costituisce la premessa alla parte II della ricerca.

“Ebbene, si può imparare a fare qualcosa, fondamentalmente, in due maniere (senza contare, ovviamente, le mille possibili sfumature intermedie): un modo che chiameremo “analitico” ed un modo che chiameremo, genericamente “empirico”. Il modo “analitico” è quello basato su un processo di ricerca e di studio sistematici di un problema, che si conclude con la definizione, sulla base dei risultati di un processo di analisi, di un modello di comportamento di una determinata realtà al variare delle condizioni al contorno. Questo modello si traduce in un insieme di regole da seguire per l'esecuzione di una specifica attività, sia che si tratti della produzione di un qualche prodotto, sia che si tratti della gestione o anche semplicemente del controllo di un sistema più o meno complesso, da cui trarre determinati vantaggi. Il modo “empirico”, invece, è quello basato su di un processo di apprendimento che deriva le regole in questione (o i suggerimenti per il miglioramento di regole esistenti) a partire da esperienze dirette – positive o negative. Il modo analitico procede, generalmente dall'alto verso il basso: definizione di obiettivi, successiva specializzazione in sotto obiettivi, strutturazione sempre più dettagliata di regole di comportamento. Quello empirico dal basso verso l'alto, con l'astrazione e la generalizzazione progressiva di regole operative e di comportamento sulla base di fatti ed eventi specifici.

È chiaro che, dette così le cose, non dovrebbero esserci dubbi: la strada più seguita e da seguire, viste le potenzialità cognitive che il genere umano ha sviluppato attraverso le scienze e l'ingegneria, non può essere che la prima. Oggi come oggi, il progresso, il progresso collettivo, di uno Stato o di una comunità più o meno estesa, ed il progresso individuale, di una persona o di una singola organizzazione aziendale, si basa su importanti programmi di ricerca sviluppati da reti di persone che si dedicano a pensare, programmare e sperimentare nuovi sistemi con un approccio analitico e sistematico.”¹³

¹¹ UNI 10874:200, paragrafo 3.7.

¹² cfr. 5.2.3 del presente testo.

¹³ De Angelis E. (2003), *Il controllo del progetto*, BPLab del Politecnico di Milano, <http://www.oopp.regione.lombardia.it/>

PARTE SECONDA. Analisi dei Sistemi Dinamici

4. Genesi della teoria dei sistemi dinamici. ¹

4.1 Origine e primi sviluppi della Teoria dei sistemi.

Le caratteristiche principali del pensiero sistemico cominciarono a delinearsi, nei primi decenni del ventesimo secolo, all'interno della biologia e si svilupparono grazie anche all'apporto di altre discipline come la fisica quantistica, la *Gestaltpsychologie* e l'ecologia.

Nella seconda metà del diciannovesimo secolo, il perfezionamento del microscopio aveva consentito enormi progressi nello studio e nell'identificazione di molti dei componenti della cellula ma la maggior parte delle attività svolte da essa come organismo unitario e i meccanismi alla base dello sviluppo e del differenziamento cellulare rimasero sconosciuti per diverso tempo. Fu l'embriologo statunitense Ross Harrison, uno dei fondatori della scuola organicistica, a comprendere l'importanza di sostituire il concetto di *funzione* con quello di *organizzazione*. Harrison individuò due aspetti fondamentali dell'organizzazione: la configurazione e la relazione che unificò nel concetto di "schema come configurazione di relazioni ordinate"². Poco più tardi, il biologo Joseph Woodger introdusse il concetto di *gerarchia* per indicare l'ordine a più livelli che caratterizza la natura degli organismi viventi.

Nei primi decenni del ventesimo secolo, anche i fisici furono costretti a riconoscere che i principi di base, il linguaggio e più in generale, il loro modo di pensare erano inadeguati a spiegare i fenomeni atomici. Le particelle subatomiche, infatti, non possono essere identificate come unità elementari, isolabili nello spazio e nel tempo, a causa della doppia identità di onda e corpuscolo. "In queste condizioni, non soltanto la spiegazione riduzionista non è più valida per l'atomo, nessun carattere o qualità del quale può essere dedotto partendo dai caratteri propri delle sue particelle, ma sono proprio i tratti e le caratteristiche delle particelle che, nell'atomo, possono essere compresi soltanto in riferimento all'organizzazione del sistema. "Le particelle hanno le proprietà del sistema molto più di quanto il sistema non abbia le proprietà delle particelle"³. L'essenza della nuova realtà si spostò, così, dagli elementi alle relazioni che nel linguaggio matematico si esprimono in termini di *probabilità* determinata dalla dinamica dell'intero sistema.

Un ulteriore e significativo contributo alla nascente teoria dei sistemi, arrivò dalla psicologia della forma o *Gestaltpsychologie* fondata sul principio della percezione come struttura integrata e non come sintesi di elementi isolati. I singoli elementi acquistano significati differenti a seconda delle unità che compongono. All'"associazionismo" si contrappone l'"organizzazione" che nelle strutture o forme (gestalt) deriva dalle relazioni interne degli elementi dell'insieme e dalle leggi del loro equilibrio.

Infine, l'ecologia, termine coniato nel 1866 dal biologo tedesco Ernst Haeckel, introdusse nel pensiero sistemico due nuovi e importanti concetti, quelli di "comunità" e "rete". Le comunità ecologiche furono considerate, applicando gli stessi principi ai vari livelli di sistema, come un unico organismo costituito da organismi connessi al primo attraverso relazioni reciproche. Il concetto di rete si sviluppò, invece, negli anni '20, partendo dallo studio delle catene e dei cicli alimentari che presto si trasformarono in reti alimentari. I sistemici cominciarono a servirsi del modello di rete per rappresentare ogni livello del sistema: gli organismi come reti di cellule, gli organi come reti di organismi individuali, e così via.

¹ Per la stesura del presente capitolo, ho utilizzato come guida, l'opera di Capra F., *The web of life*, New York, 1996; la traduzione italiana, curata da Capararo C., "La rete della vita", è stata pubblicata dalla Biblioteca Universale Rizzoli, Milano, 2001. Questo testo ha il pregio di delineare il nuovo pensiero indagando su più fronti e in campi diversi, fornendo una sintesi utile per un orientamento iniziale.

² *ivi*, p.38

³ Morin E., *La méthode. I. La nature de la nature*, Éditions du Seuil, Paris, 1977; la traduzione italiana, curata da G.Bocchi, è stata pubblicata da Giacomo Feltrinelli, Milano, 1983, p.125



Prima della fine degli anni '30, erano stati elaborati la maggior parte dei principi del pensiero sistemico, ma fu riconosciuto come movimento scientifico solo alla fine degli anni '40 e l'inizio dei '50 grazie al lavoro del biologo austriaco, Ludwig von Bertalanffy, autore del testo fondamentale: "*General Systems Theory. Essay*" (1968) e della formulazione del concetto di "sistema aperto".

"La *teoria generale dei sistemi* è pertanto una scienza generale di quella totalità che sino ad oggi è stata considerata alla stregua di un concetto vago, confuso e semi-metafisico. Essa, in forma elaborata, sarebbe una disciplina logico-matematica, di per se stessa puramente formale, ma applicabile alle varie scienze empiriche. Nei confronti delle scienze vertenti su complessi organizzati, essa avrebbe un significato analogo a quello assunto dalla teoria della probabilità nei confronti di quelle scienze che vertono su eventi casuali"⁴. Bertalanffy, tuttavia, non si preoccupò di elaborare un linguaggio matematico e preferì fondare la sua teoria su base biologica. In particolare si concentrò sulla differenza tra sistemi fisici e biologici attraverso cui giunse a mettere in crisi il secondo principio della termodinamica.

La legge sulla dissipazione dell'energia aveva introdotto nelle scienze "la freccia del tempo" ovvero una direzione irreversibile ai processi della natura che conduceva necessariamente verso il disordine. Questa visione era in netto contrasto con la tendenza verso l'ordine, verso stati di complessità sempre crescente, osservata dai biologi dell'ottocento. La termodinamica sostiene che un sistema tende verso lo stato del minor valore energetico (di equilibrio) che coincide con la morte termica e la probabilità di allontanarsi da questo stato è bassissima; i sistemi viventi, invece, non sono in equilibrio ma al contrario, si tengono lontano da questo attraverso trasformazioni continue che la termodinamica classica non è in grado di descrivere. Bertalanffy giunse alla conclusione che gli organismi viventi non sono sistemi chiusi, come quelli osservati dalla termodinamica, ma *aperti* dal punto di vista energetico e *chiusi* da quello organizzativo.

4.2 Cibernetica e feedback

La cibernetica, riferendosi all'attuale significato, nacque e si sviluppò all'inizio della seconda guerra mondiale, quando si pose il problema dei sistemi di puntamento automatico per i cannoni antiaerei: l'obiettivo consisteva nella creazione di un sistema che, oltre a rilevare la posizione dell'aereo, fosse in grado di simulare il comportamento del pilota e le sue reazioni per evitare il fuoco nemico. I primi cibernetici si proposero di capire i meccanismi neurali che regolano i processi mentali e di tradurli in un linguaggio matematico esplicito. Per risolvere la questione furono chiamati a collaborare esperti di diverse discipline: fisici, matematici, ingegneri, medici, fisiologi ed esperti di scienze sociali che tennero, dal 1946, una serie di riunioni a New York note come conferenze della Macy.

Il problema fu inizialmente preso in esame come studio della "teoria dell'informazione", ossia dei sistemi attraverso cui gli organismi viventi o le macchine trasmettono le informazioni indispensabili per lo svolgimento delle proprie attività. Tale teoria, sviluppata dai matematici americani Claude Shannon e Warren Weaver verso la fine degli anni '40, si basava sul principio che le informazioni o messaggi sono trasferiti attraverso segnali che assumono tante forme quante sono il numero delle possibili configurazioni. Un esempio è l'alfabeto che con le sue lettere consente di formare infinite combinazioni o quello limite dell'alfabeto Morse, che contiene solo due segnali, il punto e la linea, con i quali è possibile codificare qualsiasi messaggio.

Negli stessi anni, l'architetto svedese Lars Magnus Giertz⁵ ideò il sistema di classificazione e codifica (che si evolverà nel Sistema SfB) per l'industria edilizia.

Successivamente, l'interesse dei cibernetici si estese dalle informazioni agli effetti che esse potevano indurre sul comportamento della macchina, e si passò alla cibernetica come "scienza dell'autoregolazione". Le riflessioni sollecitate da questo nuovo aspetto del problema portarono il matematico statunitense, Norbert Wiener a pubblicare, nel 1948, una prima opera, *Cybernetics*, con il

⁴ Ludwig von Bertalanffy, in Capra F., op. cit, p.60

⁵ Ciatato in Vetriani G., e Marolda M.C., op. cit.



sottotitolo “Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina”⁶, che poneva le basi della nuova scienza. Lo sforzo maggiore risiedeva nel tentativo di superare le differenze strumentali e linguistiche delle diverse discipline e nell'introdurre una terminologia nuova che consentisse il dialogo tra i relativi specialisti. La cibernetica è, pertanto, innanzitutto una scienza logica, che analizza il significato del verbo governare e solo successivamente, le considerazioni teoriche sono tradotte in applicazioni pratiche che portano, tecnicamente, all'automazione, ossia alla capacità della macchina di autocontrollare e regolare il proprio lavoro.

La capacità di autocontrollo di una macchina è legata alla presenza di dispositivi capaci sia di rilevare informazioni sullo stato del sistema e sulla sua trasformazione nel tempo, sia di governare, in base alle informazioni ricevute, il funzionamento di alcuni suoi componenti in modo da raggiungere lo scopo prefissato.

Fondamentale per l'autoregolazione è il concetto di *feed back* o *retroazione* che consiste essenzialmente nel valutare le proprietà dell'effetto prodotto dalla macchina e, in base a esse, inviare un messaggio a ritroso, correggendo i singoli elementi o fattori, in modo che il risultato conseguito nel complesso rimanga quello voluto. Questo concetto è molto simile a un principio che si trova anche in natura in base al quale un organismo vivente è in grado di adattarsi autonomamente alle variazioni ambientali o al difetto di qualche elemento, eseguendo una elaborazione dell'errore e limitandone gli effetti attraverso un riadattamento dell'intero organismo. La differenza fondamentale, consiste nel fatto che mentre l'organismo naturale può ancora operare in modo più o meno soddisfacente, malgrado le disfunzioni interne, la macchina esige interventi sostitutivi.

Il contributo determinante dei cibernetici allo sviluppo del pensiero sistemico, è nel riconoscimento che i cicli di retroazione descrivono degli schemi di organizzazione, schemi astratti di relazioni insite nelle strutture fisiche e negli organismi viventi e per la prima volta fu fatta una distinzione chiara fra lo schema di organizzazione di un sistema e la sua struttura fisica.

Negli anni '50 e '60, il neurologo inglese Ross Ashby, nel suo libro *Design for a Brain* (Progetto per un cervello), stabilì i principi generali secondo cui potrebbero essere concepiti meccanismi con funzionamento analogo a quello del cervello, coadiuvanti così l'intelligenza. Con i suoi modelli cibernetici relativi ai processi neurali, contribuì a far nascere la scienza dei processi cognitivi e diede un apporto determinante all'invenzione del computer realizzato dal matematico ungherese, naturalizzato statunitense, John von Neumann. Il computer, come modello dell'attività mentale, dominò ogni ricerca sul cervello per i successivi 30 anni.

Attualmente la cibernetica è stata parzialmente offuscata dalle nuove e più generali teorie dell'informazione e dei sistemi mentre il concetto di *retroazione* ha assunto nel tempo un significato molto più ampio comprendendo qualsiasi processo nel quale l'informazione, relativa al risultato finale, ritorna all'origine dell'informazione stessa.

Negli anni '70 il concetto di retroazione fu recepito in architettura grazie al lavoro di alcuni studiosi (tra cui G.Ciribini) che lo applicarono soprattutto, alla fase progettuale del processo edilizio. Questo argomento sarà trattato in modo più approfondito nel paragrafo 4.6.

Mi sembra opportuno segnalare che questo concetto è ripreso esplicitamente nella norma UNI 10722-1 del 31/03/98 “Qualificazione e controllo del progetto edilizio di nuove costruzioni” al punto 7 dove nello schema del processo decisionale è previsto il controllo in retroazione. In dettaglio la norma dichiara: “Per le specificità del processo edilizio, la qualità del progetto non può essere considerata un risultato puntuale e definitivo, bensì è il frutto di una qualificazione progressiva ovvero di un processo teso a dimostrare la graduale e sempre più dettagliata rispondenza delle decisioni progettuali ai requisiti posti in sede di programma”.

⁶ Citato da Capra F., p.64



4.3 Pensiero sistemico applicato

Negli anni '50 e '60, i principi del pensiero sistemico esercitarono una notevole influenza sull'ingegneria e sulle scienze economiche dando origine alle nuove discipline dell'ingegneria dei sistemi, dell'analisi dei sistemi e del systemic management.

Il progresso tecnologico nell'industria e nelle comunicazioni, rendeva la produzione industriale sempre più complessa. Le attività includevano non solo un numero sempre crescente di parametri, ma prevedevano anche la valutazione degli effetti prodotti dalla loro interazione con notevoli ripercussioni sul piano soprattutto dell'organizzazione degli impianti. Molti ingegneri e progettisti cominciarono ad adottare strategie e metodologie che facevano esplicito riferimento a concetti sistemici. L'ingegneria dei sistemi si riferisce in particolare a impianti produttivi (di energia, o di manufatti) di notevole complessità al cui funzionamento concorrono vari settori dell'ingegneria: chimica, siderurgica, meccanica, elettronica, dei trasporti, elettromeccanica, ecc. L'ingegnere dei sistemi considera l'impianto in senso globale concentrandosi sulle quantità in "entrata" e in "uscita", sull'organizzazione interna, sulla programmazione e il controllo e sul grado di affidabilità.

Il metodo conosciuto come "analisi dei sistemi" si sviluppò in seno alla RAND Corporation, un istituto per la ricerca militare fondato negli anni '40 negli Stati Uniti. Esso ebbe origine dalla "operations-research" (ricerca operativa) il cui scopo era risolvere problemi di natura militare riguardanti, in modo particolare, l'impianto di radar di difesa antiaerea, la difesa contro i sommergibili e la determinazione delle dimensioni ottimali dei convogli marittimi. Senza ricorrere a risorse supplementari ma servendosi in modo più razionale dei mezzi esistenti, le perdite e i danni furono sensibilmente ridotti. Nello stesso periodo si dovette affrontare il problema della pianificazione di Portorico (1940) profondamente travagliata da una crisi socioeconomica. Il problema fu risolto con tecniche proprie della ricerca operativa che suggerirono tra tre soluzioni possibili, industrializzazione, controllo delle nascite ed emigrazione in massa, l'adozione della prima alternativa e la scelta si dimostrò efficace. Dopo il 1945 la ricerca operativa ha trovato ampia applicazione nei settori dell'industria, del commercio, dei trasporti e comunicazioni, della pubblica amministrazione, al fine di risolvere problemi di pianificazione, di acquisizione, sviluppo e impiego di risorse, di controllo delle scorte, di distribuzione dei prodotti, di pubblicità, ecc. Il compito fondamentale della ricerca operativa è di offrire agli organi di decisione sufficienti elementi di conoscenza su determinati problemi, proponendo soluzioni fondate su uno schema rigoroso di ragionamento.

Negli anni '60 e '70, sulla scia dell'analisi dei sistemi, alcuni dirigenti iniziarono ad avvalersi del nuovo approccio per risolvere problemi di organizzazione aziendale. Nella prima metà degli anni '70 furono elaborate, in modo sistematico, le prime tecniche per la costruzione di modelli per la risoluzione di tale tipo di problemi. Le più famose sono la "*dinamica dei sistemi*" (System Dynamics) dell'ingegnere elettronico americano Jay Wright Forrester, e la "*management cybernetics*" di Stafford Beer.

La Dinamica dei Sistemi, compare con il nome di Industrial Dynamics alla fine degli anni '50 grazie al lavoro, condotto da J.W. Forrester presso la "Sloan School of Management" del Massachusetts Institute of Technology (M.I.T) di Boston. Lo studio di Forrester, nato per la simulazione dei sistemi industriali, rappresenta oggi un approccio ed una metodologia per lo studio di sistemi complessi, generalmente di tipo economico-sociale, che per la loro natura destrutturata, non consentono di individuare precise regole di comportamento. L'analisi tradizionale esaminava separatamente ed indipendentemente gli elementi di un sistema, la Dinamica dei Sistemi, invece, si concentra sulle loro interazioni per comprenderne la struttura e quindi il comportamento. L'innovazione introdotta da questa nuova metodologia, consiste nel fatto che per realizzare un modello, non si procede raccogliendo prima i dati da cui trarre successivamente, una legge matematica capace di descrivere il fenomeno, ma si indaga sui processi che portano alle decisioni e sulla conseguenze che ne derivano, mettendo in evidenza anche quell'insieme di ipotesi nascoste che vengono date per scontate nel prendere le decisioni, e che spesso producono effetti indesiderati.



4.4 Concetto di auto-organizzazione degli anni '70 e '80.

Il concetto di auto-organizzazione, cominciò a delinarsi nei primi anni della cibernetica, quando il neurologo Warren McCulloch e il matematico Walter Pitts intrapresero lo studio delle reti nervose dando l'avvio al capitolo della matematica riguardante la teoria degli automi. Essi sostenevano la possibilità di poter convertire in regole la logica di ogni processo psicologico e a tale scopo, realizzarono un modello del sistema nervoso nel quale i neuroni idealizzati, erano elementi a commutazione binaria rappresentati da lampadine che si accendevano solo in determinate condizioni.

Negli anni '50 alcuni scienziati cominciarono a costruire modelli di reti binarie e osservarono che se anche lo stato iniziale era scelto a caso, dopo qualche tempo emergevano spontaneamente degli schemi ordinati. Al fenomeno della comparsa spontanea di ordine, venne dato il nome di “*self-organization*”. Questo concetto fu presto trasferito in vari contesti grazie all'opera del fisico Heinz von Foerster che per vent'anni sostenne un gruppo di ricerca interdisciplinare che si dedicò allo studio dei sistemi auto-organizzanti presso il Biological Computer Laboratory della University of Illinois.

Foerster si dedicò allo studio e alla misurazione dell'aumento dell'ordine, che scaturiva dalla riorganizzazione del sistema, attraverso il concetto di ridondanza della teoria dell'informazione che misura l'ordine relativo del sistema rispetto al sottofondo di massimo disordine. Anche se si è occupato degli stati termodinamici di non equilibrio e di meccanica statistica dei processi irreversibili, negli anni '70 tentò di tradurre in applicazioni alcune delle sue teorie con un trattato sulla teoria cinetica dello scorrimento del traffico (1971). La sua impostazione, migliorata dalla successiva teoria dei sistemi dinamici, consentì di elaborare un primo modello qualitativo secondo il quale, un sistema vivente che si auto-organizza, assorbe dall'ambiente materia ed energia che sono integrate nella sua struttura incrementando il suo ordine interno.

Negli anni '70 e '80, le sue idee furono perfezionate da ricercatori di vari paesi che studiarono il fenomeno dell'auto-organizzazione in numerosi ambiti disciplinari:

Ilya Prigogine in Belgio (Mosca 1917-Bruxelles 2003)

Fisico-chimico russo naturalizzato belga, si è occupato, aprendovi nuove interessanti prospettive teoriche, degli stati termodinamici di non equilibrio dimostrando che quando un sistema si allontana dall'equilibrio raggiunge un punto critico di instabilità in cui compaiono degli schemi ordinati descrivibili attraverso equazioni non lineari. Queste nuove configurazioni, cui diede il nome di strutture dissipative, dimostravano che nei sistemi aperti, la dissipazione dell'energia termica è fonte di nuovo ordine che si manifesta con strutture di maggiore complessità.

Herman Haken (Leipzig 1927) e Manfred Eigen (Bochum 1927) in Germania.

Il fisico tedesco Herman Haken si concentrò sul fenomeno del laser intuendo che l'emissione di luce da parte dei singoli atomi in un tutto coerente, è un processo di auto-organizzazione descrivibile attraverso una teoria non lineare. Haken coniò il termine *synergetics* (sinrgetica) per indicare un nuovo campo di studi, che doveva investigare sui fenomeni in cui le azioni combinate di molti elementi singoli, producono un comportamento unitario.

Il chimico tedesco Manfred Eigen sviluppò la teoria degli “*iper cicli*” in base alla quale dimostrò che l'origine della vita poteva essere il risultato di un processo di progressiva organizzazione in sistemi chimici lontani dall'equilibrio in cui sono coinvolti anelli di retroazione multipla (iper cicli).

James Lovelock (Letchworth Garden City 1919) in Inghilterra e Lynn Margulis (Chicago 1938) negli Stati Uniti.

Il chimico inglese J. Lovelock, formulò “L'ipotesi di Gaia” (dal nome della dea greca della Terra), che vede il nostro pianeta come singolo organismo vivente che autoregola il suo ambiente per sopperire ai propri bisogni vitali. Insieme con la microbiologa americana, Lynn Margulis, identificò una rete complessa di anelli di retroazione, attraverso cui il pianeta si autoregolerebbe. Essi connettono le parti viventi del pianeta (piante microrganismi e animali) con quelle non viventi (rocce, oceani e atmosfere).

Humberto Maturana (Santiago 1928) e Francisco Varela (Talcahuano 1946-Parigi 2001) in Cile.



Il neurologo Humberto Maturana adottò l'idea di cognizione come fenomeno biologico. Egli ipotizzò che il sistema nervoso funzionasse come una rete chiusa di interazioni, con un'organizzazione circolare che si poteva estendere all'organizzazione di base di tutti gli esseri viventi. Dal momento che tutti i cambiamenti avvengono all'interno della circolarità, gli elementi che determinano l'organizzazione circolare devono anche essere prodotti e mantenuti da essa (autopoiesi). Allo stesso modo “il sistema nervoso, non solo si auto-organizza ma fa continuamente riferimento a se stesso, così che [...] la percezione, e più in generale la cognizione non rappresentano una realtà esterna, ma piuttosto ne specificano una attraverso il processo di organizzazione circolare del sistema nervoso”.⁷

Dopo la pubblicazione di queste idee, Maturana intraprese un lungo rapporto di collaborazione con il suo allievo, Francisco Varela insieme al quale decise di elaborare una descrizione completa della sua ipotesi, su cui costruire successivamente un modello matematico.

I due studiosi fissarono in modo definitivo le nozioni di organizzazione e struttura: l'organizzazione del sistema è una descrizione astratta di relazioni e non identifica i componenti mentre la struttura è la manifestazione fisica della sua organizzazione. Il processo è, infine, l'attività necessaria alla materializzazione dello schema di organizzazione.

Organizzazione, struttura e processo costituiscono i tre criteri in base ai quali è possibile descrivere qualsivoglia sistema.

4.5 Teoria dei sistemi dinamici.

Una delle critiche più diffuse al pensiero sistemico, soprattutto alla metà degli anni '70, consisteva nella sua incapacità di essere utilizzato per ottenere soluzioni a problemi concreti.

La ragione principale di quest'atteggiamento risiedeva nella mancanza di tecniche matematiche con cui affrontare la complessità dei fenomeni che si manifestano nella realtà.

Gli anni '80 sono stati caratterizzati, invece, da uno sviluppo di modelli capaci di descrivere vari fenomeni della vita e insieme ad essi sta lentamente emergendo anche il linguaggio matematico appropriato per la loro descrizione. Questa nuova matematica è detta appunto “teoria dei sistemi dinamici” o “matematica della complessità” o “dinamica dei sistemi”.

La teoria dei sistemi dinamici è un ramo della matematica pura, il cui oggetto “è in primo luogo e soprattutto il comportamento dei sistemi di equazioni differenziali e in seconda istanza, qualunque cosa possa essere trasformata in tali sistemi”.⁸ “La modellazione dinamica è [invece] una branca della matematica applicata, utilizzata per comprendere i fenomeni naturali mediante l'impiego di modelli dinamici astratti”.⁹

Le origini della teoria dei sistemi dinamici risiedono nella fisica del XIX secolo, quando dominava una visione riduzionista del mondo, che si basava sulla causalità lineare. Nella meccanica classica tutti i fenomeni fisici erano descrivibili attraverso equazioni di primo grado. Gli scienziati sapevano dell'esistenza di equazioni non lineari, ma quando comparivano, erano immediatamente sostituite con approssimazioni lineari.

In realtà la meccanica classica aveva lasciato aperte alcune questioni come quella della stabilità del sistema solare, meglio conosciuta come il problema dei tre corpi legati esclusivamente alla reciproca attrazione di gravità. Tra il 1770 e il 1870, Laplace, Lagrange, Poisson e Dirichlet avevano tentato, senza successo, di risolvere il dilemma.

Nel 1877, James Clerk Maxwell ipotizzò, per la prima volta, l'esistenza di sistemi con traiettorie dinamicamente instabili e propose di utilizzare metodi statistici per formulare le leggi del moto dei gas.

⁷ Capra F., op. cit, pp.112-113

⁸ Bettelli O., *Modelli per sistemi complessi*, <http://newk.alma.unibo.it/oscar/cmplx/complx01.htm>

⁹ van Gelder T., *L'ipotesi dinamica nelle scienze cognitive*, 1997, Traduzione italiana di Borrelli E. L'articolo è apparso nell'ottobre 1998 sulla rivista *Behavioral and brain Science*, volume 21, n. 5, pp. 615-628. www.rescottans.it/ita/scenari/neuroscienze/scenari14.htm



Nel 1889 il matematico francese Henri Poincaré dimostrò che era impossibile risolvere il quesito dei tre corpi in quanto il sistema non era integrabile. Un sistema integrabile, concetto fondamentale per il Formalismo di Hamilton-Jacobi della meccanica classica, implica l'esistenza di un numero sufficiente di costanti di moto, per cui per ogni variabile del sistema esiste una costante ed è possibile, in tal modo, isolare le variabili linearizzando il problema. La distinzione fondamentale era tra sistemi che possono essere linearizzati e quelli che non possono esserlo, ossia tra sistemi integrabili e non integrabili. Alla fine del XIX secolo, si riteneva che i sistemi non integrabili fossero un'eccezione, oggi sappiamo che costituiscono la quasi totalità dei sistemi esistenti in natura.

Poincaré trovò casi espliciti di instabilità dinamica e scoprì che differenze minime nelle condizioni iniziali del moto, possono portare alla stabilità o alla instabilità, cioè il comportamento dinamico dipende dalle condizioni iniziali. Egli ebbe il merito di reintrodurre le immagini nella matematica creando una nuova geometria, detta "topologia" che si occupa delle proprietà delle figure geometriche che non variano quando le figure sono deformate, sono cioè trasformate in altre figure senza operare dei tagli. La topologia è quindi una matematica delle relazioni, degli schemi non modificabili, e Poincaré se ne servì per analizzare gli aspetti qualitativi di problemi dinamici complessi nel contesto della meccanica classica. Alla morte di Poincaré, nel 1912, il matematico americano Gorge David Birkoff continuò il suo lavoro, trasferendo l'oggetto della sua ricerca dalla fisica alla matematica pura.

Negli anni '60, infine, il matematico e meteorologo americano Edward Norton Lorenz, utilizzò uno dei primi sistemi computerizzati per simulare la dinamica atmosferica e scoprì che un sistema di simulazione, basato su tre sole variabili, dipende in modo determinante dalle condizioni iniziali. Il fenomeno della estrema dipendenza dalle condizioni iniziali fu chiamato "Effetto Farfalla", per un esempio fatto da Lorenz in una conferenza: nei sistemi estremamente instabili di dinamica atmosferica, una farfalla che batte le ali in Brasile potrebbe provocare un Tornado in Texas.

Nel 1975 si verificarono numerosi eventi determinanti per la nascita del nuovo paradigma: il matematico, di origine francese naturalizzato americano, Benoit Mandelbrot pubblicò il volume *Gli oggetti frattali: forma, caso e dimensione*, nel quale chiariva il significato di frattali, "strutture geometriche con dimensioni non intere e auto-similarità annidate all'infinito. Tien-Yien Li e James Allen Yorke applicarono l'espressione "Caos" al comportamento irregolare e instabile di sistemi matematici semplici. Il nuovo campo di indagine prese forma e divenne visibile alle diverse comunità e discipline all'interno delle scienze empiriche".¹⁰

Tra il 1970 e il 1975, le diverse linee di sviluppo conversero nel fenomeno interdisciplinare noto come "scienze della complessità" e nei cinque anni successivi si consolidò grazie al moltiplicarsi delle conferenze su questo tema. "I matematici, i fisici, i chimici i biologi e persino i sociologi, si interessarono al nuovo campo di ricerca. Con l'aiuto di questi concetti, scoprirono il terreno comune alle loro discipline. Questo terreno comune aveva soprattutto il carattere di modello teorico e ora poteva essere identificato almeno parzialmente con alcuni concetti della complessità, dell'irregolarità e del caos che furono riscoperti nella dinamica dei sistemi più diversi. [...]. Dal 1980 si assiste ad una continua espansione interdisciplinare e a una costante divulgazione. Si sono tenute moltissime conferenze. Sono stati pubblicati i primi libri di testo, le prime antologie e i primi testi di divulgazione. Sono nate anche nuove riviste. Contemporaneamente, dall'interno della comunità scientifica sono emersi i primi dubbi su un'eccessiva espansione dei concetti di complessità nel panorama interdisciplinare"¹¹.

Il nuovo paradigma ha assunto, in molte discipline, connotati filosofici, sorretti da intuizioni semplicistiche espresse con un linguaggio informale. Il matematico René "Thom riconosce come ciò sia facile, specialmente se il campo è già invaso da un linguaggio precedente che, a causa della facilità di adozione di concetti intuitivi legati ai fenomeni d'impatto quotidiano, è assai radicato. L'imperativo è dunque, soprattutto in questi casi, sottrarre il linguaggio al quotidiano e introdurre un rigoroso senso formale dei concetti. Per sua fortuna - egli ironizza - ha appreso il determinismo dalla teoria dei sistemi

¹⁰ Bettelli O., op. cit.

¹¹ *ibidem*



dinamici e non dalla prosa dei suoi critici, e non ha dovuto attendere le loro nebulose spiegazioni per sapere che cosa fosse una biforcazione. In un caso e nell'altro, la frecciata sottolinea il fatto che la "nuova" epistemologia del dubbio e dell'indeterminismo è vecchia rispetto a discipline che avevano già spiegato sufficientemente i fenomeni, senza che vi fosse la necessità di complicarsi la vita con indebite intrusioni della filosofia anche quando quest'ultima è mascherata proprio con quella scientificità che si vorrebbe superare".¹² Infine un'ulteriore critica, sollevata al nuovo paradigma, è l'eccessivo, diffuso entusiasmo che deriva dall'illusione di riuscire a prevedere il comportamento futuro di un sistema, mentre tra i capisaldi della teoria "c'è il fatto che i sistemi dinamici (cioè quelli che evolvono nel tempo e nello spazio) hanno dei comportamenti e dei tipi di sviluppo che sono intrinsecamente imprevedibili. Anche se disponessimo di strumenti ultra precisi di osservazione, la conoscenza precisa di un sistema fisico in un determinato momento non ci permette di predire come sarà il sistema stesso dopo un certo lasso di tempo. Questo è particolarmente sentito nelle discipline biologiche e mediche".¹³

4.6 Il progetto come sistema dinamico adattivo: le ipotesi di Ciribini

Giuseppe Ciribini è stato tra i primi studiosi ad avvertire l'esigenza di trasferire, nel nostro ambito disciplinare alcuni dei concetti, come quelli di complessità e organizzazione, che alla fine degli anni '70 rivoluzionarono il pensiero scientifico contemporaneo. Il suo testo "*Introduzione alla tecnologia del design. Metodi e strumenti logici per la progettazione dell'ambiente costruito*" del 1979, offre una sintesi dei concetti fondamentali inerenti la logica dei sistemi e fornisce una chiave di lettura per interpretare "i fatti architettonici" sulla base della nuova logica. In particolare egli sottolinea l'opportunità di avvalersi di nuovi modelli e strumenti capaci di guidare l'attività del progettista alla luce delle profonde innovazioni, legate soprattutto all'introduzione della variabile *tempo*, che contraddistinguono la cultura e la tecnologia contemporanee.

L'obiettivo di Ciribini era di riuscire a tradurre il processo progettuale in un linguaggio matematico capace di simulare al computer l'attività del progettista. La materializzazione di questa aspirazione, avrebbe portato, al limite, una macchina a concepire il miglior progetto possibile, date le condizioni iniziali e i vincoli da cui parte un progettista umano. Servendosi degli strumenti propri della Ricerca Operativa, capaci di simulare e ottimizzare qualsiasi processo, e utilizzando le nuove tecnologie informatiche, che offrivano possibilità di calcolo fino a quel momento inimmaginabili, la concretizzazione di quell'idea apparve, almeno in teoria, possibile.

Gli anni '80 furono caratterizzati da un grande entusiasmo intorno a queste tematiche che credo abbiano avuto come conseguenza solo la realizzazione di software per la progettazione assistita, sempre più potenti e sofisticati, ma il cui scopo si limita ad ottenere una rappresentazione, quanto più realistica è possibile, dell'opera da realizzare. La capacità di questi nuovi strumenti di incidere sul progetto, malgrado le enormi potenzialità intuite da Ciribini, mi sembra, alla luce delle conoscenze attuali, praticamente nulla.

Ciribini considera il processo progettuale alla stregua di un qualsiasi altro processo la cui definizione richiede l'individuazione di *input*, *regole di trasformazione* e *output*. Egli affida al progettista il compito di *regolare* e *controllare* il processo che, in termini estremamente sintetici, trasforma i bisogni dell'utenza in un'opera di architettura.

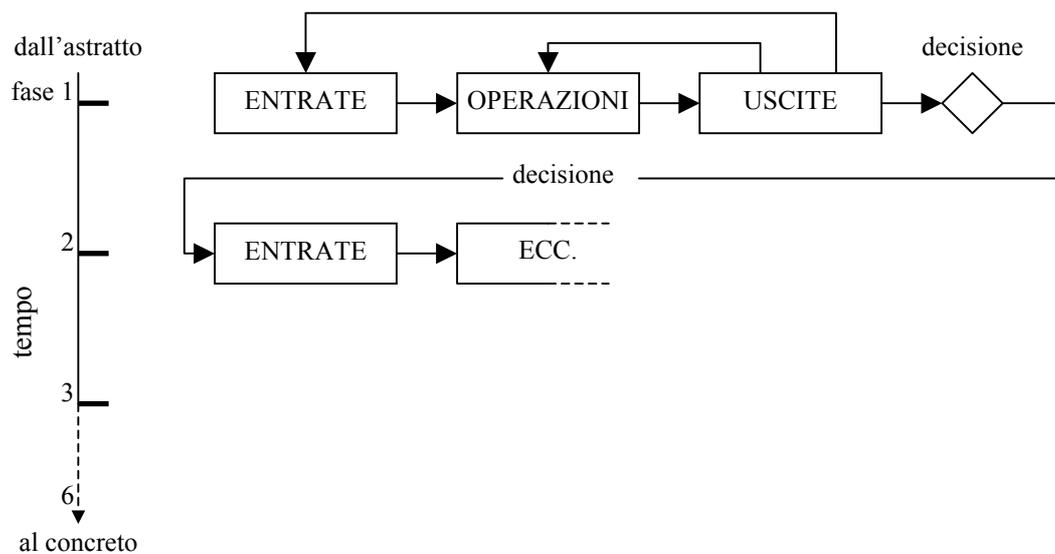
Una proposta progettuale è un processo costituito da una sequenza di stati successivi prevedibili in forma aleatoria e non determinata che le consentono di adattarsi alle diverse possibilità definite dalle esigenze dell'utenza. Il processo richiede continui adattamenti, da cui nasce il problema della regolazione, frutto di altrettante decisioni, al fine di approssimarsi sempre più all'obiettivo finale. Per questo motivo

¹² Recensione a cura di Krzysztof Pomian, AAVV, *Sul determinismo*, Il Saggiatore, 1991, (Raccolta di articoli) www.ica-net.it/quinterna/2000_todayrivista/00/suldeterminismo.htm

¹³ Bellavite P., *Scienza e mistero*, ed. La Scuola, Brescia, 1998, chimclin.univr.it/omc/SCIENZA.html

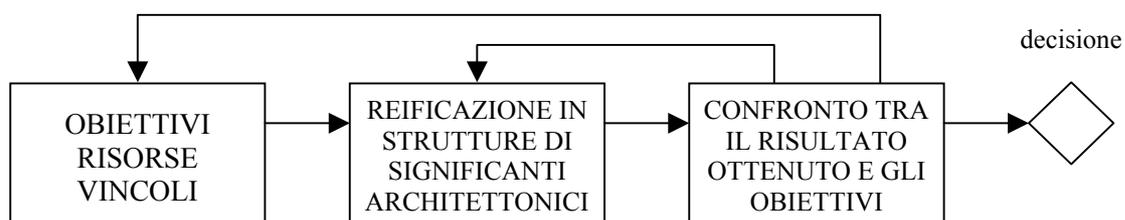
egli vede la cibernetica, in quanto scienza della *regolazione* e del *controllo*, come l'ambito da cui attingere per rendere il processo progettuale, tipicamente euristico, più scientifico e quindi rigorosamente verificabile¹⁴.

“L'azione progettuale può definirsi quale processo iterativo o ripetitivo di informazione-decisione; processo in cui l'iteratività consegue alla materiale impossibilità di centrare immediatamente, con sufficiente approssimazione, l'obiettivo posto all'azione progettuale, obbligando a procedere per tentativi secondo il metodo detto “prova ed errore””¹⁵



Schema grafico del processo iterativo proposto dalla “Building Performance Research Unit” dell'università dello Strathclyde¹⁶

Analizzando il diagramma a blocchi della singola fase, è possibile esplicitarne il contenuto:



¹⁴ Ciribini, G., “Il fatto architettonico è risultato e causa di un processo articolato che ha inizio con la formulazione del modello informazionale o archetipo e che attraverso l'attualizzazione di quello nel modello progettuale, continua nel momento produttivo e ha termine con la fine della fase fruitiva. Ma tanto l'archetipo quanto il progetto, non sono altro che sequenze processuali di decisioni scelte tra le migliori possibili e devono partire più spesso da conoscenze aleatorie, piuttosto che certe della realtà. Di qui, l'esigenza che pure lo stadio decisionale della progettazione poggi sugli stessi fondamenti scientifici degli stati informazionali e di guida concernenti i sistemi architettonici”. Ivi pag. 133.

¹⁵ Ciribini, G., *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino, 1984, pag. 112.

¹⁶ ibidem, pag. 113



Blocco delle entrate:

- a) Gli **obiettivi** devono essere espressi come richieste prestazionali qualificate e quantificate;
- b) Le **risorse** consistono in conoscenze scientifiche, energie umane intellettuali e fisiche, energie naturali e artificiali, materiali e tecnologie e disponibilità economiche;
- c) I **vincoli** possono essere di carattere ambientale, normativo, tecnico, tecnologico e finanziario.

Un requisito e la relativa prestazione possono essere espressi mediante una o più funzioni del tipo

$$f(a,b,c,\dots) \quad \text{dove } a, b, \text{ e } c \text{ rappresentano le variabili caratterizzanti.}$$

I requisiti devono rispondere ad una logica sistemica correlandoli attraverso una matrice nella quale si annotano le corrispondenze tra requisiti che hanno in comune una variabile caratteristica.

Così se r_1 è rappresentato dalla funzione:

$$r_1 = f(a_1, b_1, c_1, \dots, \mu)$$

e il requisito r_2 dalla funzione:

$$r_2 = f(a_2, b_2, c_2, \dots, \mu)$$

μ risulta la variabile comune da assumere quale variabile indipendente.

Blocco delle operazioni:

Questo blocco rappresenta la fase di trasformazione delle informazioni in ingresso in scelte progettuali e punta ad ottimizzare la qualità globale delle alternative possibili.

Blocco delle uscite:

Il blocco delle uscite confronta i valori dei requisiti in ingresso e le risposte in uscita, assicurandosi che siano rispettati i vincoli e sia garantito un utilizzo ottimale delle risorse.

Gli elementi della decisione

Chi prende delle decisioni deve conoscere i valori che associa alle diverse conseguenze che possono risultare dalle sue scelte di azione: affinché queste scelte possano essere comparate è necessario disporre di una scala di valori comuni.

All'interno del processo decisionale sono sempre presenti tre elementi:

1. Le **Indicazioni** che rappresentano le informazioni e che servono da dati nel problema di scelta
2. Le **azioni** che possono essere oggetto della scelta
3. Le **evenienze o alternative** che rappresentano i risultati.

Lo scopo della teoria della decisione è quello di offrire regole al decisore, affinché questo possa trarre il migliore risultato.

Il futuro dipende e si fa attraverso scelte che avvengono nel presente per cui si può dire che le decisioni sono da considerare variabili che dipendono dal futuro.

Ciribini fa poi esplicito riferimento alla Ricerca Operativa come disciplina da cui attingere per tutto ciò che attiene al processo decisionale.

“La ricerca operativa è la disciplina costituita dall'insieme dei modelli e dei metodi quantitativi utilizzabili per lo sviluppo ed il supporto dei processi decisionali nella gestione di risorse limitate su impieghi alternativi¹⁷”.

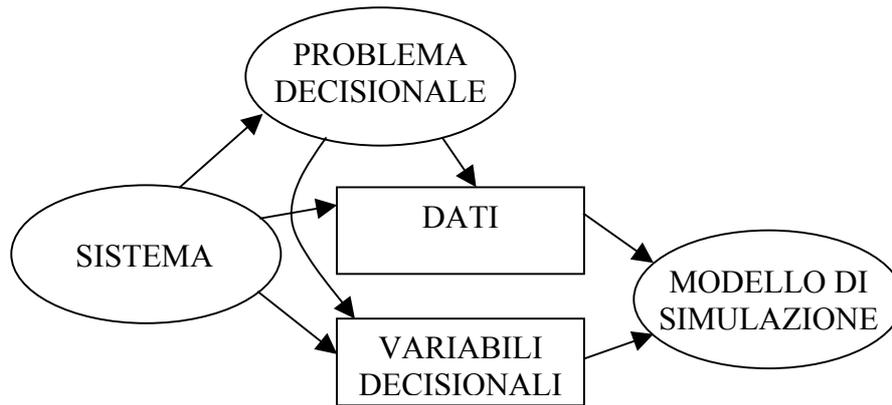
In sostanza, il compito fondamentale della ricerca operativa è di offrire agli organi di decisione sufficienti elementi di conoscenza su determinati problemi, proponendo soluzioni fondate su uno schema rigoroso di ragionamento. Essa implica, pertanto, la raccolta di tutte le informazioni relative al problema, il trasferimento del problema stesso in un “modello” (i cui parametri sono desunti dall'analisi dell'esperienza passata o mediante esperienze di funzionamento), l'indicazione, in termini di probabilità, delle soluzioni più favorevoli e meno favorevoli e la stima delle possibili conseguenze.

Il problema è affrontato globalmente, da tutti i punti di vista e pertanto risulta essenziale il lavoro di gruppo, cioè la collaborazione fra gli specialisti dei diversi settori interessati alla decisione (ingegneri, statistici, matematici, economisti e, talvolta, anche fisici e psicologi).

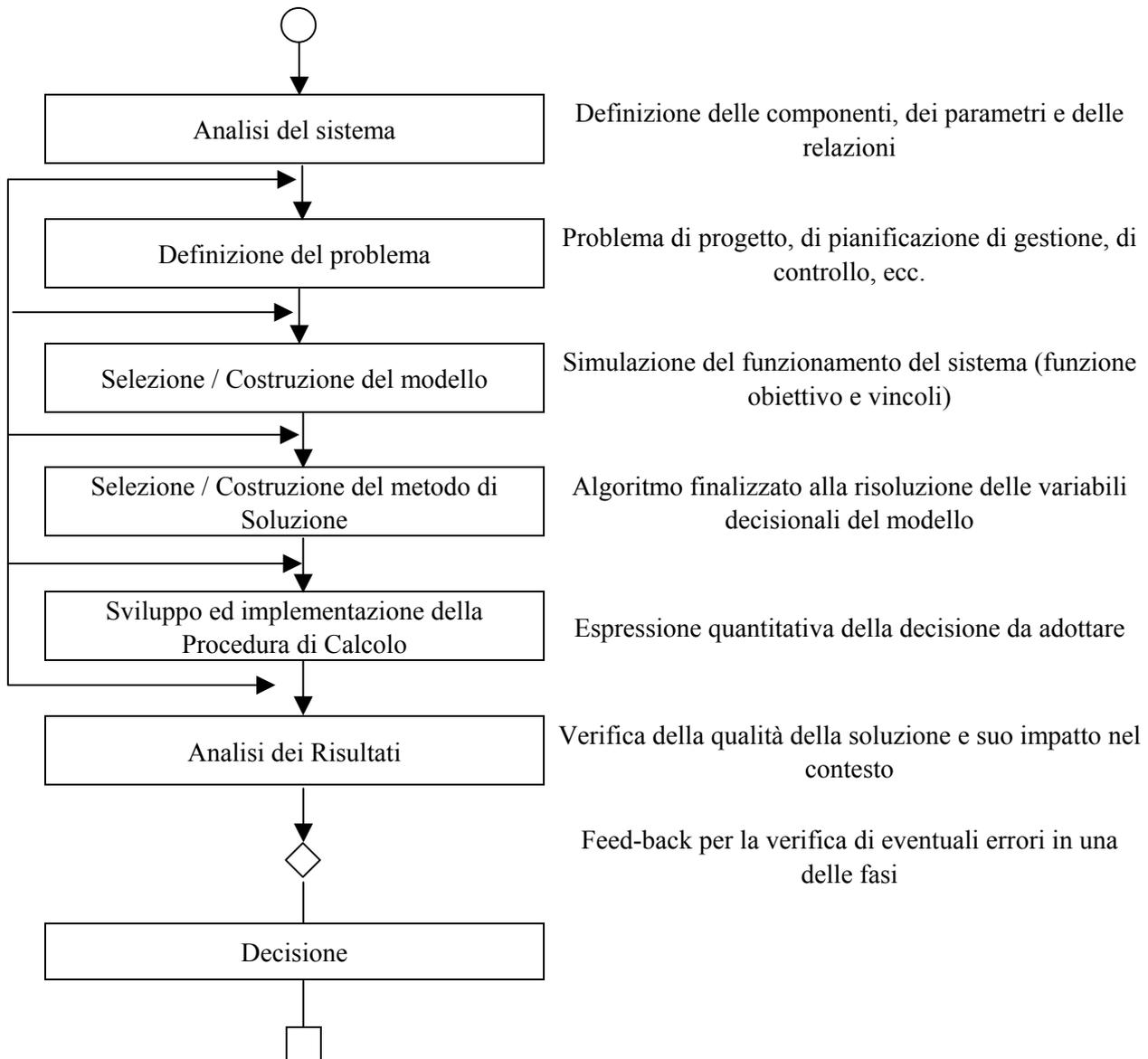
¹⁷ Sforza A., *Modelli e metodi della ricerca operativa*, ed.ESI, Napoli, 2002, pag. 16



Costruzione di un modello di simulazione



Schema di processo decisionale¹⁸



¹⁸ ivi, pag. 17



Nel testo “Introduzione alla tecnologia del design”, Ciribini si sofferma sulla prima fase del processo progettuale, ossia sul momento della *modellizzazione preliminare* o formazione dei cosiddetti “*archetipi*”.

*“L’archetipo è un’analisi di tipo simbolico, generalmente un modello logico-matematico che consente di studiare compiutamente e correttamente una proposta progettuale in condizioni di lavoro o di funzionamento cioè nel suo svolgersi temporale o processuale”*¹⁹.

Fasi di costruzione dell’archetipo:

1. **Costruzione del modello** (dati alcuni fatti: obiettivi, risorse e vincoli)
2. **Verifiche di sensibilità** (quali parametri influiscono in modo critico nella definizione della validità dell’archetipo)
3. **Verifiche di compatibilità fra le parti**
4. **Verifiche di stabilità** (capacità di opporsi ad eventuali perturbazioni)
5. **Verifiche di comportamento ottimale** (miglior conseguimento degli obiettivi posti all’azione progettuale)
6. **Proiezione nel futuro** (capacità di reagire alle variazioni esterne affinché il bene non divenga obsoleto nell’arco di tempo previsto per l’intera durata della sua vita fisica, economica, fruitiva)

*Il carattere processuale dei fenomeni relativi all’ambiente costruito è nelle azioni degli uomini individualmente e più spesso in gruppo. Ed essendo frutto di comportamenti intenzionali, cioè rivolti ad un obiettivo, il gruppo (dalla famiglia alle istituzioni) può farsi equivalere ad una struttura fisiologica, l’organismo, e si denomina perciò **organizzazione**”*²⁰.

I sistemi architettonici fungono, pertanto, da contenitori di attività umane organizzate (organizzazioni). Un’organizzazione può essere dunque considerata come unità sociale dotata di comportamento intenzionale. Come espressione ed insieme di essere umani, l’organizzazione può farsi equivalere, in senso lato, all’organismo ossia “ogni struttura fisiologica, caratterizzata da una forma e da una costituzione, capace di conservare (e di reintegrare) la propria forma e la propria costituzione, nonché di riprodurle. “Fine” degli organismi (e delle organizzazioni) è la sopravvivenza, cioè, la conservazione dell’integrità degli stessi e la loro continuità. Gli obiettivi sono invece, le ragioni funzionali per le quali l’organismo o l’organizzazione sono stati costituiti.

Le organizzazioni umane si comportano in modo unitario rispetto al soddisfacimento di bisogni, che rappresentano l’obiettivo essenziale dell’attività progettuale. Questi possono essere suddivisi in:

1. **Fisiologici**: si identificano con gli “stimoli fisiologici”
2. **Di sicurezza**: si riferiscono ad esigenze:
 - di stabilità,
 - di subordinazione;
 - di protezione;
 - di libertà dalla paura, dall’ansia e dal caos;
 - di strutturazione
 - di ordine
 - di regola
 - di limite
3. **Di appartenenza e di amore**: rappresenta il bisogno di contatto, di intimità, di appartenenza per evitare l’alienazione e la solitudine caratteristici della società attuale.
4. **Di stima**: rappresenta il bisogno di auto-rispetto e della stima altrui; l’assenza produce senso di inferiorità, di debolezza, di abbandono.
5. **Di auto-attualizzazione**: consiste nell’essere ciò che si vuole essere ossia conformi alla propria natura
6. **Impulsi conoscitivi**: di conoscenza e di comprensione
7. **Estetici**.

¹⁹ Ciribini, G., *Introduzione alla tecnologia del design*, p.12

²⁰ *ivi*, p.13

5. Discipline, metodi e strumenti per la modellazione dei sistemi dinamici

Dall'indagine condotta negli ambiti disciplinari attinenti all'analisi dei sistemi dinamici, ho rilevato un atteggiamento che, in generale, tende a comprendere le dinamiche evolutive dei sistemi attraverso notevoli sforzi di astrazione e di sintesi. Questo modo di porsi rispetto al problema è di fondamentale importanza perché consente di ridurre notevolmente il numero delle variabili rappresentative dei fenomeni.

L'astrazione e la sintesi permettono, infatti, di considerare trascurabili alcune variabili, o di ritenere costanti grandezze che nella realtà variano. Altrettanto importante è l'opportunità di esprimere il maggior numero di variabili, in funzione di altre. In particolare, quest'ultima operazione può essere compiuta o attraverso indagini empiriche (dati misurati) o per analogia con sistemi noti di cui si conoscono i legami tra le variabili (isomorfismo) o infine attraverso delle semplici considerazioni basate sulla conoscenza (logiche fuzzy). Lo sforzo di astrazione e di sintesi, viene generalmente premiato con la possibilità di disporre di strumenti molto potenti capaci di restituire la dinamica comportamentale dei sistemi.

La *teoria dei sistemi*, che è alla base di tutti gli strumenti matematici applicativi utilizzati per i sistemi dinamici, si propone di conoscere e rappresentare un qualsiasi sistema, al fine di intervenire su di esso prevedendo l'effetto di determinate azioni. Per raggiungere quest'obiettivo è necessaria la costruzione di un modello matematico del sistema e la stima dei suoi parametri. Il vantaggio dei modelli matematici consiste nella possibilità di descrivere e ottenere risultati di tipo quantitativo.

Per quanto possa essere complesso, è sempre possibile schematizzare un sistema dinamico, da un punto di vista logico, attraverso una "scatola" su cui agiscono uno o più agenti che costituiscono le "cause" (sistema sollecitante, input o ingressi) che hanno come "effetti" la trasformazione della scatola (sistema risultante, output o uscite).



Ad ogni elemento di questo insieme è possibile associare un tipo di problema¹.

1. Se si conoscono le cause e il sistema, ci ritrova di fronte a problemi di analisi.



2. Qualora siano date le cause e gli effetti il problema si configura come di progetto.



3. Nel caso siano noti il sistema e gli effetti, il problema è di diagnosi.



Nei problemi di analisi rientra la conoscenza del comportamento del sistema nel tempo. A tale scopo si rilevano i parametri caratterizzanti il sistema osservato, e si controllano gli effetti per valori arbitrari degli agenti (tipo e intensità). In questo modo le cause costituiscono le variabili indipendenti, mentre le grandezze del sistema che si sono modificate (effetti) rappresentano le variabili dipendenti (variabili di stato).

¹ Il modello proposto rappresenta una reinterpretazione di uno schema contenuto in Ciribini, G., "Introduzione alla tecnologia del design", pag 65.



Viceversa se il fine è di progettare il sistema, si assegnano i valori agli effetti, rappresentativi del comportamento desiderato, e si ricavano i valori dei parametri che il sistema deve possedere.

5.1 Concetti e definizioni di base

Questo paragrafo è dedicato alla definizione di alcuni termini fondamentali².

La logica dei sistemi (p. 17): La “teoria generale dei sistemi è una disciplina logico-matematica il cui contenuto consiste nella formulazione di principi e di deduzioni che possono ritenersi validi per i sistemi in genere, qualunque sia la natura degli elementi e delle relazioni; tale teoria è in se stessa puramente formale ed è applicabile in tutti i casi in cui è presente la nozione di sistema”.

Sistema (p.18): *Insieme strutturato di parti solidali (correlate ed interdipendenti), comportantisi come un tutto. I sistemi si suddividono in **elementari e complessi**: questi ultimi hanno la proprietà di essere analizzabili secondo insiemi strutturati successivi di ordine inferiore.*

In ogni sistema è possibile identificare unità che svolgono una funzione definita e distinta ed unità che sono semplicemente sistemi discreti e distinti: le prime prendono il nome di “sistemi parziali”, le seconde di “sottoinsiemi”.

Stato del sistema (p. 22): *descrizione delle entità costituenti (parti del sistema), degli attributi (proprietà degli enti) e delle attività in un dato momento. L'evoluzione di un sistema si studia seguendone le variazioni di stato.*

Si definisce *stato del sistema*, l'insieme delle variabili, numeriche o logiche, necessarie per descrivere il sistema in un certo istante. Tali variabili sono scelte a seconda del motivo per cui il sistema è studiato.

Lo stato di un sistema può essere riferito all'insieme delle proprietà caratteristiche in un dato istante, le quali assumendo un valore definito, rappresentano una situazione statica. Se si inserisce la variabile tempo, lo stato del sistema sarà sottoposto da istante a istante e per cause diverse a delle trasformazioni. Si introduce così il concetto di dinamica del processo inteso come successione di stati.

Per esempio nell'accezione originaria, un sistema dinamico è un sistema meccanico dotato di un numero finito di gradi di libertà. Lo stato di un tale sistema è normalmente caratterizzato dalla sua posizione e dalla misura della velocità con cui tale posizione cambia. I cambiamenti di stato sono descritti, in questo caso, attraverso la seconda equazione di Newton o legge del moto la quale afferma che il prodotto della massa m del corpo per la sua accelerazione a uguaglia la forza totale F agente sull'elemento stesso.

Considerata una relazione matematica tra variabili, si può decidere arbitrariamente quale variabile sia l'ingresso (la causa) e quale sia l'uscita (l'effetto). Tale operazione si chiama *orientazione*.

Dal punto di vista operativo un sistema è orientato in modo che la conseguente relazione di causa ed effetto abbia un significato fisico immediato. Per esempio nel caso del sistema meccanico può aver senso assumere la forza come variabile d'ingresso e la posizione come variabile d'uscita.

Nel caso più elementare, lo stato di un sistema è descritto dalle grandezze x_1, x_2, \dots, x_n che possono assumere valori reali e la legge del moto si può esprimere nella forma di un sistema di equazioni differenziali ordinarie del tipo $x_i = f(x_1, \dots, x_n)$ scritto spesso anche nella forma abbreviata $\dot{x} = f(x)$.

Attività (p. 22): *ogni processo causante variazioni nel sistema. Le attività possono essere “endogene” (occorrenti all'interno del sistema) o “esogene” (avvenenti nel suo ambiente immediato). L'attività si dirà “determinata” se gli effetti possono essere completamente descritti, “stocastica” o “aleatoria” se gli effetti variano a caso secondo diverse uscite.*

² Per la stesura dei paragrafi 2.1 e 2.2 ho ripreso alcune definizioni contenute nel testo di Ciribini prima citato. Le definizioni trascritte sono in corsivo e sono precedute dal numero della pagina compreso tra parentesi.



Nelle organizzazioni umane, le attività umane e le loro interazioni col sovrasisistema possono essere considerate secondo tre aspetti:

- **Interazioni sociali** (attività di trasformazione (assimilazione ed elaborazione) attività di distribuzione (compiti, poteri, responsabilità) attività di input-output (cicli di controllo))
- **Attività tecno-ecologiche** (risorse ecologiche e tecnologiche a disposizione del gruppo; struttura del sistema operativo (trasformazione e distribuzione); meccanismo di controllo dei processi di trasformazione e di distribuzione; flusso d'ingresso e di uscita di materiali, di mezzi e di disponibilità ecologiche)
- **Attività economiche** (valutazione degli input, degli output, delle operazioni interne verificatisi sia sul piano sociale che quello tecnologico).

Ambiente di un sistema (p. 33): *per la comprensione globale dei comportamenti o relazioni processuali si richiede la conoscenza dell'insieme delle relazioni R. Se si indica con L una qualsiasi relazione consentita e con gli indici 1 e 2, rispettivamente, il sistema ed il campo in cui esso è compreso si avrà:*

$$R = (L_{11}, L_{12}, L_{21}, L_{22})$$

Nell'insieme R, L_{11} rappresenta l'area delle dipendenze strutturali o sistemiche; L_{12} e L_{21} costituiscono gli scambi bidirezionali tra sistema e campo; L_{22} configura l'area delle dipendenze fra le parti del campo o contesto o "trama relazionale causale" che può essere:

- **in quiete** (non vi sono relazioni sensibili. La strategia ottimale di adattamento processuale alle condizioni di campo (strumenti previsionali) è la semplice **tattica** (massima efficacia dell'azione sistemica su base locale));
- **a gruppi** (le parti del campo non si distribuiscono casualmente ma, sempre in stato di quiete si riuniscono in gruppi e determinate parti fungono da segno per le altre. Nasce l'esigenza della **strategia** dove all'interno del campo si individuano posizioni potenzialmente più interessanti di altre.);
- **reagente disturbato** (a differenza del precedente comprende parti caratterizzate dalla stessa natura del sistema considerato; inoltre si conduce dinamicamente anziché essere in quiete; la proprietà dinamica è conferita al campo dalle potenziali conoscenze comuni alle parti sorelle. In questo caso è necessario introdurre un nuovo strumento intermedio: "l'**operazione**" attraverso cui si operano scelte tattiche sequenziali d'azione che distanzino, alla lunga, nella competizione, le parti del campo possedenti natura simile a quella del sistema);
- **turbolento** (le proprietà dinamiche non dipendono dalle semplici interazioni tra parti del campo ma è il campo intero che si muove. In questo caso il grosso margine di incertezza nelle previsioni e le notevoli difficoltà di adattamento vanificano ogni soluzione tattica, operativa o strategica, postulando invece la formulazione di "valori", aventi significazione uniforme per tutti gli elementi del campo ed annullanti ogni valore particolare (come il passaggio da forme di interesse individuale a forme di interesse collettivo. Le relazioni tra le parti avverranno sotto l'influenza di codici morali.)

Classificazione dei sistemi

I sistemi possono essere classificati rispetto:

- allo stato
- al tempo
- ai rapporti con l'ambiente che li ospita.

Rispetto allo stato, possono essere classificati in: discreti e continui.

Un sistema discreto, può assumere un numero definito di stati, univocamente distinti gli uni dagli altri. È il caso per esempio, dei processi di guasto, per i quali il sistema può assumere solo due stati: "funzionante" o "guasto".



Un sistema continuo, viceversa, non possiede stati precisati, ma si muove incessantemente da uno stato all'altro.

Rispetto al tempo i sistemi sono distinti in tempo discreti e tempo continui.

Un sistema è tempo discreto se le variabili di stato osservate cambiano istantaneamente in un arco temporale definito. Un sistema continuo, al contrario, cambia le sue variabili con continuità nel tempo.

Nella realtà un qualunque sistema reale non ricade mai perfettamente in una di queste due categorie, ma presenta aspetti di entrambi o, meglio ancora, si comporta alternativamente nei due modi.

Rispetto all'ambiente i sistemi sono classificati in chiusi e aperti a seconda se interagiscono o meno con il loro sovrasisistema.

I sistemi chiusi osservano la seconda legge della termodinamica secondo la quale il grado di disorganizzazione del sistema (entropia) tende ad aumentare verso un massimo che coincide con il livellamento delle differenze interne.

I sistemi aperti interagiscono con il sovrasisistema, scambiando con esso sostanze (materia ed energia) e informazioni. In essi l'entropia tende ad aumentare ma ad essa si contrappone la riorganizzazione (o entropia negativa) attraverso la quale il sistema raggiunge livelli più alti di regolarità ed eterogeneità. Quando un sistema aperto raggiunge l'equilibrio la conseguenza non è l'invariabilità ma la dinamica della stabilità costante (o equilibrio dinamico) nel quale i flussi in entrata e in uscita si equivalgono.

Caratteri dei sistemi aperti (tratto dalle pagine 30-32)

Flusso	I sistemi introducono in se stessi forme di sostanza dall'ambiente immediato (flusso entrante) in particolare le organizzazioni importano sostanza da altre istituzioni, da persone o dall'ambiente immediato; nessuna organizzazione è autocomprendente e autosufficiente. I sistemi aperti trasformano la sostanza e l'informazione il che si dice "attività" di detti sistemi; essi esportano il prodotto del loro funzionamento
Ciclicità	Il modello di attività di scambio ha carattere ciclico. Il prodotto esportato dall'ambiente immediato fornisce la sostanza necessaria alla ripetizione del ciclo
Entropia negativa	Per sopravvivere i sistemi aperti devono arrestare il proprio processo antropico, acquistando entropia negativa
Stato di controllo e dinamica omeostatica	L'introduzione di sostanza da parte dei sistemi aperti porta a mantenere una certa costanza negli scambi così da poter riconoscere uno stato di controllo
Adattività	I sistemi aperti sono adattivi nel senso di possedere la qualità di assimilarsi naturalmente a realtà diverse
Differenziazione	I sistemi aperti tendono alla differenziazione e all'elaborazione (i sottoinsiemi tendono a sviluppare particolari attributi in relazione all'intorno immediato del sistema)
Equifinalità	Un sistema può conseguire lo stato finale partendo da condizioni iniziali diverse e attraverso una varietà di percorsi. Ne discende che i sistemi aperti sono non casuali nella loro dinamica e nelle caratteristiche di funzionamento
Meccanismo di codificazione	Il meccanismo di codificazione è determinato dalla natura stessa delle funzioni sistemiche e capace di estrarre solo segnali significativi dal fondo di rumore rappresentato da ogni possibilità contenuta nei flussi di entrata

**Visione statica e dinamica dei sistemi** (Schema tratto dal testo alle pagine 27-28)

Tipo di visione	Condizioni di relazione tra le parti	
Statica Vede i sistemi indipendentemente dal sovrasisistema	Transitività	Se due parti di un sistema sono riferite ad una parte mediana questa pone in relazione tra loro le estreme
	Connessività	Rapporto di due parti senza mediazione di una terza
	Simmetria	Condizione per cui lo scambio di parti non importa variazioni di relazioni
	Serialità	Relazione transitiva, connessa e asimmetrica
	Correlazione	Condizione di relazione tra due sistema per la quale per ogni parte di un sistema esiste una parte corrispondente nell'altro e viceversa
	Additività	Relazione per aggiunta di parti ad un sistema per aumentarne il numero
	Moltiplicazione	Relazione di connessione tra parti tale che queste si implicino reciprocamente
	Commutazione	Rapporto per il quale l'additività e/o la moltiplicazione siano simmetriche
	Associazione	Condizione di relazione connessa e commutativa
	Distribuzione	Condizione di relazione intransitiva e commutativa
	Dipendenza	Rapporto per cui l'esistenza di una parte è condizionata da quella di altre parti
Dinamica Vede il sistema come entità interagente con sistemi afferenti esterni	Sistema/ ambiente immediato	Ogni sistema in atto è costantemente in movimento, variando nelle direzioni: ambiente immediato-sistema e viceversa
	Disponibilità/ indifferenza virtuale	La disponibilità è caratteristica di una parte limitata dello spazio di un sistema (ambiente immediato); l'indifferenza lo è della restante parte (ambiente)
	Equilibrio (stato di controllo) / disequilibrio	L'equilibrio è la condizione per la quale le influenze esercitate dal sistema sull'ambiente immediato e quelle esercitate da questo sul sistema si equivalgono
	Saturazione/ insufficienza/ superfluità	Saturazione è la condizione di soddisfazione dei sistemi: le parti sono tutte connesse nella struttura e le reazioni sistemiche con l'ambiente immediato stentano a verificarsi
		Insufficienza è la condizione di insoddisfazione dei sistemi: la condizione di soddisfazione può essere avvicinata da parte degli stessi assumendo sostanza dall'ambiente
		Superfluità è la condizione di sovrassaturazione dei sistemi: questi possono avvicinarsi allo stato di soddisfazione cedendo sostanza all'ambiente
Flessibilità/ rigidità	Capacità di un sistema di subire limitate variazioni senza soffrire di una forte disorganizzazione; la rigidità è l'assenza di tale capacità	
Stabilità/instabilità	Capacità di un sistema di rimanere in stato di controllo; l'instabilità è l'assenza di tale capacità	



Regole statiche di ordinamento sistemico (p. 28)

1. *Ogni sistema è di un ordine superiore ai propri sottosistemi;*
2. *In qualsivoglia sistema deve sempre esistere una relazione seriale;*
3. *Tutti gli enti che, in un sistema, sono riferiti alle parti dello stesso sono parti del sistema;*
4. *Il numero delle parti e delle loro relazioni in un sistema costituisce la "complessità" del medesimo*

Regole dinamiche di ordinamento sistemico (p.29)

1. *Ogni sistema esercita attività elettiva nei confronti di altri sistemi (un'entità strutturata nella sua propensione o elezione verso altre unità strutturate, funge da ordine strutturante)*
2. *Ogni azione sistemica (funzionamento) importa relazione e scambio*
3. *Ogni azione sistemica è causata dall'ambiente*
4. *L'ambiente immediato è limitabile a quella parte dell'ambiente che interagisce dinamicamente col sistema*
5. *Tutti i sistemi tendono alla condizione denominata stato di controllo*
6. *I sistemi saturi rimangono invariati*
7. *I sistemi insufficienti e superflui tendono a variare*
8. *La flessibilità è condizione di sviluppo*
9. *La rigidità è condizione di conservazione*

Trasformazioni dei sistemi nel tempo

Le trasformazioni di un sistema vengono studiate seguendo i cambiamenti del suo stato. Tutte le variazioni avvengono nel tempo e quasi sempre con continuità ma per semplificare il problema, da punto di vista matematico, spesso, si assume che le variazioni si verificano in modo finito in un intervallo di tempo determinato. Il successivo passaggio dal discreto al continuo può poi aver luogo in modi abbastanza consolidati e di semplice intuizione.

Quando qualcosa varia sotto l'azione di un fattore (o legge di variazione), il fattore si chiamerà "operatore", ciò su cui esso agisce "operando" e ciò che l'operando è divenuto dopo l'applicazione del fattore "transizione".

Se l'operatore agisce su più operandi inducendo in ciascuno una trasformazione caratteristica, l'insieme di transizioni relative a un dato insieme di operandi sarà detto trasformazione.

Se i sistemi sono noti nella loro struttura, il modello matematico che li simula è relativamente semplice ma nella pratica corrente accade spesso che la struttura interna non è accessibile e che devono perciò essere trattati come se fossero scatole chiuse (black box). In questo caso il sistema è considerato globalmente e si denominano, di conseguenza, "operatore globale" o semplicemente "operatore".

Comportamento di un sistema.

L'evento di un sistema rappresenta la condizione in cui si verificano i cambiamenti di una o più variabili di stato in un periodo di tempo determinato. In questo caso il sistema si può considerare dinamico, viceversa, se non da luogo ad eventi e ammette un unico stato, si considera statico.

Tuttavia è bene chiarire che questa caratteristica non è intrinseca ma dipende dal punto di vista assunto da chi osserva il sistema.

I tipi di comportamenti che un sistema può assumere, si distinguono in: Reazioni, Risposte e Atti³.

La *reazione* è un evento del sistema o del suo sovrasisistema determinato in modo certo da un altro evento. Tale stato, tuttavia, potrebbe essere assunto dal sistema, indipendentemente dal verificarsi di una specifica sollecitazione.

La *risposta* è un evento che si verifica in conseguenza di una particolare sollecitazione. Il sistema può assumere tale stato solo se si verifica quel determinato evento.

³ Per ulteriori approfondimenti cfr. Fedele, L., Furlanetto, L., Saccaridi, D., *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano, sett. 2004, Capitolo 1.



L'atto, infine, è un evento per il quale non occorre che si verifichino modifiche nel sovrasisistema; esso pertanto è un evento autonomamente determinato dal sistema.

In base al comportamento è possibile classificare i sistemi in:

Tipo di sistema	Comportamento	Esito del comportamento	Descrizione del comportamento
A uno stato	Variabile ma determinato	Prefissato (reattivo)	Il sistema reagisce in un unico modo a qualsiasi sollecitazione. Esso può solo reagire e non rispondere
A obiettivo	Variabile a scelta	Prefissato (risponditore)	Il sistema è in grado di rispondere diversamente a diverse sollecitazioni fino a quando non raggiunge lo stato desiderato.
Multiobiettivo	Variabile a scelta	Variabile ma predeterminato	Il sistema è in grado di perseguire più obiettivi contemporaneamente
A scopo	Variabile a scelta	Variabile ma predeterminato	Il sistema è in grado di perseguire contemporaneamente più obiettivi che hanno una o più proprietà in comune
Autodeterminista	Variabile a scelta	Variabile a scelta	Un sistema autodeterminista può modificare i suoi obiettivi selezionando i modi per raggiungerli. Un tale sistema mostra volontà e quindi l'esempio più rappresentativo è l'uomo.

Classi di processi:

1. **Processi causali** (teorie deterministe: meccanica classica): è un processo nel quale, conosciuto esattamente lo stato del sistema in un dato momento t_0 , è possibile determinare esattamente lo stato del sistema in un momento successivo t_i , essendo $S_{t_i}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ lo stato, funzione di un certo numero di variabili, all'istante generico t_i . I problemi di previsione in questi processi, si svolgono in condizioni di certezza o di determinazione, ossia con dati di partenza (parametri) determinati, ad un certo istante pure determinato.
2. **Processi indeterminati** (teorie indeterministe: termodinamica statistica): è un processo in cui sono note solo le condizioni di media e l'andamento stocastico dell'evoluzione del sistema: in questo caso il calcolo previsionale da risultati probabili facendo intervenire coefficienti di probabilità.
3. **Processi informativi** (relazioni fisico-matematiche di "dipendenza funzionale"): è un processo che può assumere le caratteristiche dei due precedenti e in più possono intervenire, in aggiunta, sistemi estranei dalle cui scelte dipendono i valori di una o più variabili. In tale circostanza il sistema appare orientato in una data direzione, in qualche modo preferenziale, nel senso che si eliminano probabilità sfavorevoli per accettare solo quelle favorevoli.



Nozione di struttura (p.23): *modo secondo cui gli elementi e i loro attributi ineriscono l'un l'altro per dar luogo ad un sistema che rimanga unito nella sua forma.*

La struttura comprende tre caratteri:

Caratteri della struttura	Totalità	Le parti o elementi del sistema sono subordinate a leggi (dette di composizione) che conferiscono al tutto proprietà d'insieme distinte da quelle degli elementi
	Trasformazione	Le leggi compositive sono strutturanti e quindi consistono di trasformazioni
	Regolazione	Le strutture sono capaci di regolare se stesse ed è l'auto-regolazione che determina la loro conservazione ed una certa chiusura

Linee del pensiero strutturale. Struttura come:	Modello (formalizzazione strutturale)	In questa prospettiva la struttura è una "potenza" dell'oggetto una sorta di "superoggetto", ossia un sistema di relazioni. Detto sistema, latente nell'oggetto, è sufficientemente staccato da esso così da poterlo trovare in oggetti molto diversi, trascendendo in tal modo, le barriere stabilite fra le diverse discipline scientifiche (Levi-Strauss). La nozione di struttura non deve essere confusa con quella di immagine concreta dei fenomeni né con quella di essenza astratta dalla realtà ma deve essere accettata in senso matematico: come insieme di enti definiti da relazioni che si stabiliscono fra essi e che sono operabili secondo possibilità e secondo leggi determinate
	Significato	Alla matematica si sostituisce la spontaneità della percezione
	Dialettica	Complesso dinamico e significativo fra diversi aspetti di una stessa realtà

Il principio strutturale, indipendentemente se considerato come realtà possessiva ed originale o come metalinguaggio, è allora modo di percezione, di conoscenza, di descrizione dell'intreccio di sistemi che gli organismi animati e non rappresentano.

Nozione di funzione

Per funzione si intende la capacità di un sistema di raggiungere un determinato risultato attraverso i diversi comportamenti possibili.

La nozione di funzione può equivalere (p.118):

1. Al "**ruolo**" di un elemento del sistema nel sistema di cui è parte (funzione di un organo nel corpo umano)
2. Al "**risultato**" o conseguenza operativa di un elemento del sistema (es. funzione vitale)
3. Al "**funzionamento**" di un elemento del sistema (funzione polmonare).



Complessità (p.35): *ente sistemico costituito di elementi appartenenti ad un numero molto limitato di classi o, al limite ad una sola classe, e connessi nell'identico modo.*

Qualunque sistema organizzato può essere suddiviso in insiemi strutturati di ordine inferiore in modo che gli enti che intervengono in una suddivisione possano essere considerati parte dell'ambiente immediato di un'altra suddivisione. Per sistema gerarchico si intende un tipo generico analizzabile secondo sistemi successivi di ordine più basso.

La complessità può essere considerata secondo quattro aspetti come:

Gerarchia	La nozione così espressa si ritrova in biologia (dalla cellula ai sistemi di organi), in fisica (dalle particelle elementari alle galassie), ecc.
Rapporto tra struttura e tempo nei processi evolutivi	I sistemi evolvono dalle loro forme elementari molto più rapidamente ogniqualvolta ci si trovi in presenza di forme complesse ultime di tipo gerarchico.
Scomponibilità dei sistemi	Per sistemi scomponibili si intendono quelli le cui interazioni tra le loro suddivisioni di ordine immediatamente inferiore sono nulle o trascurabili.
Relazione tra sistemi e descrizione degli stessi	La struttura gerarchica è elemento facilitante la comprensione dei sistemi descrivibili mediante un'appropriata "ricodificazione" che preveda l'eliminazione della ridondanza,

Proprietà dei sistemi

- **Scomponibilità:** (p. 19): Il sistema è scomponibile se le sue parti sono completamente indipendenti e le variazioni globali del sistema sono determinate dalla somma delle variazioni delle parti. Viceversa se ciascuna parte del sistema è interrelata alle altre in modo che la sua variazione determina cambiamenti nelle altre e nel sistema globale, il sistema è "quasi-scomponibile".
- **Stabilità:** è una proprietà caratteristica dei sistemi dinamici. Il sistema è instabile se le entità che lo caratterizzano tendono a crescere illimitatamente in presenza di cause esterne limitate o nulle (cfr. equazione logistica). È stabile in caso contrario.
- **Controllabilità:** è una proprietà che si riferisce alla possibilità di raggiungere in istanti desiderati, determinati valori delle uscite agendo sulle variabili in ingresso.
- **Osservabilità:** è una proprietà che riguarda la possibilità di ottenere la misura delle variabili di stato in un certo istante senza misurarle direttamente ma deducendole dalle misure su ingressi e uscite e dalla conoscenza delle leggi che ne regolano il rapporto (modello).



5.2 Analisi e studio dei sistemi

(p. 40) *L'analisi dei sistemi consiste nello studio della struttura e del comportamento di insiemi di elementi interagenti. Gli elementi e le loro interazioni possono essere essenzialmente astratti, come nelle rappresentazioni matematiche, o concreti, come in astronomia o nei sistemi di comunicazione.* Il carattere distintivo dell'analisi dei sistemi è quello di trattare i problemi considerando tutte le principali variabili e le loro relazioni. Attualmente, le applicazioni più avanzate appartengono ai campi della fisica, dell'economia, della scienza delle finanze che in quanto più strutturate si prestano meglio a questo tipo di ricerche che non le scienze comportamentistiche e sociali.

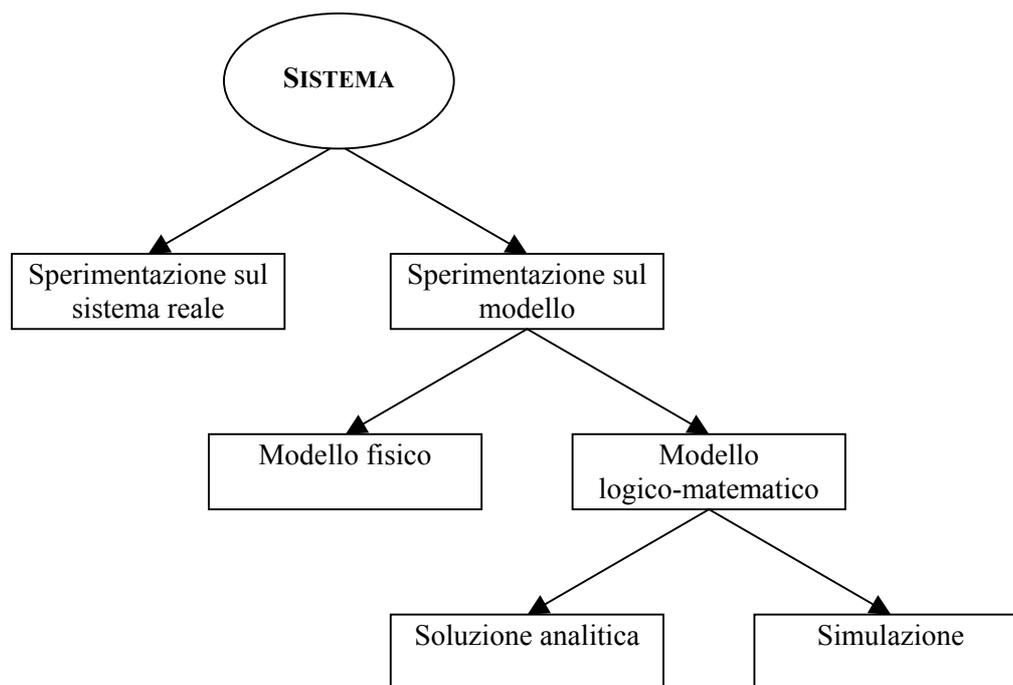
Lo studio di un sistema reale, qualunque esso sia, è frutto di un processo logico, che al di là delle tecniche di analisi e del tipo di rappresentazione adottati, può avvenire con diverse modalità che dipendono dalle proprietà del sistema e dal fenomeno che si intende analizzare.

Individuato il sistema e gli obiettivi da raggiungere, è possibile eseguire gli esperimenti sul sistema reale o sul modello. La sperimentazione sul sistema reale ha l'indiscutibile vantaggio di fornire risultati molto precisi e certamente affidabili ma può richiedere un ingente dispendio di risorse. Viceversa la sperimentazione sul modello garantisce una riduzione dei tempi e dei costi anche se i rischi connessi ad eccessive esemplificazioni, che non corrispondono a comportamenti reali, sono elevati e richiedono una particolare attenzione nella fase di validazione del modello.

La scelta di sperimentare il comportamento del sistema attraverso l'utilizzo di un modello, apre la strada a due alternative: quella del modello fisico e quella del modello matematico.

I modelli fisici si distinguono in: modelli icastici, perfette riproduzioni in scala del sistema, e modelli analogici, basati su principi diversi da quelli del sistema, ma regolati dalle stesse leggi matematiche come nel caso delle analogie elettriche o idrauliche.

I modelli matematici, che saranno analizzati nel corso della trattazione che segue, rappresentano il sistema in termini di relazioni logiche e matematiche, che a seconda del grado di conoscenza, possono fornire soluzioni ottenute analiticamente o tramite simulazione. La figura che segue mostra i possibili approcci per la sperimentazione⁴:



⁴ Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco"
<http://www-impind.de.unifi.it/Impind/pacini/cap1.pdf>



L'analisi sistemica privilegia l'uso di modelli matematici e l'approccio ormai classico procede lungo le seguenti tappe:

1. Scelta degli obiettivi e formulazione del problema
2. Identificazione dei componenti del sistema e delle loro relazioni
3. Sviluppo di modelli logico-matematici
4. Analisi del comportamento sistemico e soluzione del problema per il conseguimento degli obiettivi stabiliti.

5.2.1 Definizione del problema

Col termine problema o situazione problematica si definisce una condizione in cui sono poste delle domande a cui bisogna dare delle risposte.

Nel caso della gestione dei sistemi nel dominio del tempo i problemi possono riguardare sia questioni di ordine tecnico come la stima dell'affidabilità, della durabilità o del costo del ciclo di vita di un sistema, sia problematiche di tipo gestionale ossia di regolazione, di controllo e di ottimizzazione del processo in base ai quali sono prese delle decisioni.

La *regolazione* è un controllo fondato sulla valutazione continua dei valori che l'insieme delle variabili essenziali assume. Se con il termine *molteplicità* si indica la grandezza che esprime il numero di stati possibili, la regolazione è finalizzata a ridurre questa grandezza attraverso l'introduzione di vincoli.

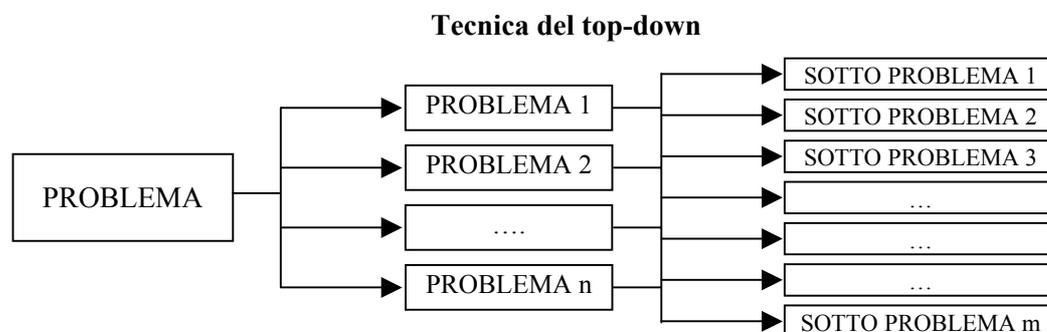
Il *controllo*, è il complesso delle operazioni mediante le quali l'insieme delle variabili essenziali che definiscono gli stati di un sistema vengono mantenute entro limiti assegnati. In questo caso alla regolazione si aggiunge la volontà di portare il sistema, in un arco di tempo stabilito, nello stato desiderato.

L'*ottimizzazione* è l'insieme delle operazioni finalizzate ad ottenere il valore ottimo (massimo o minimo) di una grandezza detta obiettivo, attraverso la definizione di alcune variabili, in presenza di determinati vincoli. L'obiettivo rappresenta un criterio di scelta che permette di valutare i diversi stati possibili che si vogliono ottimizzare. Esempi classici sono le decisioni basate su criteri che massimizzano la sicurezza e minimizzano i costi.

Nella fase di analisi viene definito il problema da risolvere e sono individuate ed analizzate, in un'ottica integrata, tutte le informazioni ritenute utili. Generalmente, si utilizzano tecniche di rappresentazione grafica che forniscono informazioni di tipo qualitativo.

L'obiettivo può essere raggiunto attraverso tecniche di tipo induttivo, mediante processi di affinamento sempre più dettagliati, o di tipo deduttivo nel quale il processo è completamente invertito.

Nel primo caso, si tratta di scomporre un problema in sottoproblemi più semplici, utilizzando la tecnica del top-down: il problema viene esaminato nelle direttrici generali e scomposto in sottoproblemi fino a raggiungere le operazioni ritenute elementari.



Viceversa nelle tecniche di tipo deduttivo "*bottom-up*" si parte dai dettagli del problema e si procede per aggregazioni successive fino ad arrivare al problema di base.



5.2.2 Identificazione dei componenti e delle loro relazioni

Qualunque sistema è riconducibile all'intero universo e può comprendere al suo interno infiniti altri sistemi. Per individuare un sistema occorre, quindi, prima di tutto stabilire quanto gli sta sopra e quanto gli sta sotto.

La selezione del particolare gruppo di elementi che configura il sistema è soggettiva e dipende dal problema che si intende risolvere, dal grado di conoscenza del sistema stesso e dagli strumenti disponibili.

La scelta del livello inferiore dipende dalla scala di dettaglio con cui si intende affrontare l'analisi. Quest'aspetto è molto significativo perché maggiore è il livello di dettaglio, tanto più precise sono le informazioni che si otterranno, ma le corrispondenti forme di rappresentazione sono spesso molto meno maneggevoli. A fini pratici, è opportuno individuare il livello di scomposizione che rappresenta un giusto compromesso fra precisione e semplicità.

La struttura gerarchica è uno degli elementi di maggiore interesse ai fini della comprensione e descrizione dei sistemi nelle loro componenti o parti. Il processo attraverso cui si identifica l'insieme dei sottosistemi o parti che saranno oggetto dell'analisi, avviene attraverso la selezione delle entità significative (SI – *Significant Item*).

Per rendere operativo il processo, è necessario definire dei criteri con cui identificare gli elementi. La scelta dipende ovviamente dal motivo per il quale si applicano le tecniche di analisi e dalle caratteristiche intrinseche del processo o del sistema.

Nel caso della manutenzione edilizia, per esempio, dei possibili criteri potrebbero essere dettati dalla sicurezza degli utenti, dal grado di accessibilità dei componenti, dal grado di dipendenza funzionale, dal peso che hanno rispetto allo svolgimento delle attività, ecc.

I componenti che non rientrano nella classificazione di significatività sono considerati poco importanti e quindi eliminati dal processo di valutazione.

Prima di realizzare il modello è opportuno sviluppare un modello concettuale attraverso cui definire le relazioni tra i componenti.

I modelli concettuali possono essere, per esempio, esplicitati attraverso *diagrammi relazionali* che riassumono le relazioni e gli elementi più importanti del modello. In essi sono sintetizzate le informazioni raccolte sui legami di causa-effetto tra le variabili, mettendo in evidenza i circuiti di retroazione presenti nel sistema. Una volta individuate, le variabili di interesse sono collegate con delle frecce: la variabile sulla coda della freccia modifica quella sulla punta, ma la seconda può retroagire sulla prima, modificandola a sua volta. Un segno “+” sulla punta della freccia indica che la variabile “dipendente” varia allo stesso modo di quella “indipendente”, un segno “-” significa una variazione di segno opposto.

Un sommario di convenzioni comunemente utilizzate nel costruire questi diagrammi è stato proposto da Forrester nel 1961 per rappresentare modelli di impianti industriali ed è riportato sotto.

Simboli convenzionali per diagrammi relazionali⁵

	variabile di stato, o integrale del flusso; risultato finale di quanto è accaduto
	flusso e direzione di un'azione attraverso la quale una variabile di stato cambia; possono essere utilizzati diversi tipi di linee, purché continue
	flusso e direzione di un'informazione
	valvola nel flusso (tasso) che indica come una decisione è presa in questo punto; le linee che afferiscono indicano in base a quali fattori la decisione è presa
	sorgente o destinazione la cui consistenza non è d'interesse
	parametro o costante

⁵ Donatelli, M. (1995), *Sistemi nella gestione integrata delle colture - Appunti dalle lezioni*, Pubblicazione speciale dell'ISA-Sezione di Modena, Modena. Pag. 15



I diagrammi relazionali sono superflui per modelli semplici, ma sono indispensabili nei sistemi più complessi. Essi sono nella loro essenza qualitativi, e rappresentano solo un passo intermedio verso la quantificazione delle variabili rappresentative del sistema.

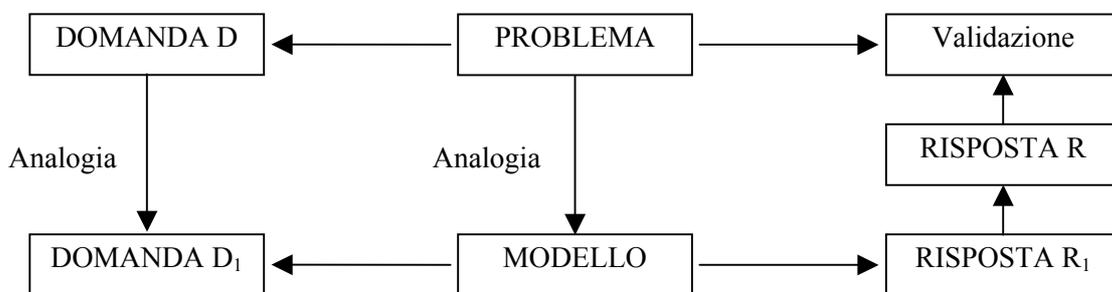
Una volta individuati i componenti, le interazioni sono descritte in termini matematici, grafici o verbali. Si costruisce in tal modo il modello del sistema che richiede una complessa opera di valutazione da cui dedurre le caratteristiche e le variabili significative senza introdurre inutili complicazioni.

5.2.3 Sviluppo di modelli logico-matematici

“Il modello è da ritenersi la costruzione strutturale analoga al (o simulante il) meccanismo del sistema corrispondente per tutti gli argomenti che interessano un dato problema di ricerca. La simulazione pertanto non è nelle cose quanto nelle relazioni fra gli elementi sistemici. Ciò che è fondamentale nel modello, per grossolana che sia la semplificazione adottata nel costruirlo, è che esso sia legittimo ossia che, per il particolare problema di ricerca che si considera, rappresenti il problema nella sua globalità”⁶.

Il modello è quindi, un insieme di nozioni tradotte in uno strumento (rappresentazione in scala, schemi o equazioni matematiche) che, nel caso dei sistemi dinamici, consente di prevedere gli effetti di determinate azioni.

In generale da un *problema* che pone una *domanda* D, si ricava per *analogia*, un *modello*, a cui rivolgere la domanda D₁, trasformata dalla D attraverso la stessa analogia; il modello fornirà la risposta R₁, che sarà trasformata nella risposta R. Per validare il modello, si confronta il comportamento risultante con quello che il sistema oggetto di studio mostra in condizioni note⁷.



La costruzione e la scelta del modello dipendono dagli scopi della modellizzazione e dall'informazione disponibile.

In base allo scopo i modelli sono classificati in:

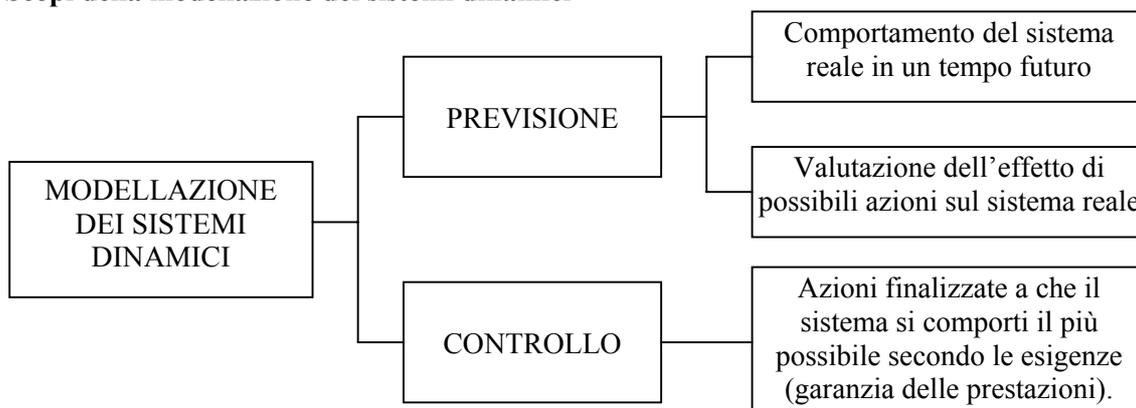
- **modelli descrittivi o statici:** riproducono con eventuali semplificazioni la realtà, senza alcuna implicazione dinamica. Generalmente si riferiscono al modello fisico del sistema;
- **modelli predittivi:** forniscono gli elementi di una determinata realtà necessari per prevederne l'evoluzione che può essere frutto, eventualmente, anche di scelte volontarie;
- **modelli prescrittivi:** impongono un particolare comportamento in previsione di un obiettivo da raggiungere

⁶ Ciribini, G., op. cit. pag. 71.

⁷ Dolci, P., Dinamica dei sistemi – modelli per le applicazioni economiche, Workshop a Treviso, 21 giugno 2002



Scopi della modellazione dei sistemi dinamici



Come anticipato, i modelli maggiormente utilizzati, per l'analisi di sistemi dinamici, sono di tipo matematico, per i quali si impone un set di valori e condizioni iniziali, per variabili e parametri, da cui si ricava lo stato del sistema al variare del tempo.

Nel caso più generale, un "sistema dinamico" è caratterizzato da due parti fondamentali: le *caratteristiche del suo stato*, cioè le informazioni essenziali sul sistema (dati preferibilmente quantificabili in qualsiasi momento), e la *dinamica*, una regola che descrive la variazione del suo stato nel tempo.

Nel seguito sono descritti i principali elementi presenti in un modello dinamico.

Variabili di stato

Le variabili di stato sono le variabili importanti per la descrizione del funzionamento e definiscono lo stato del sistema in un determinato istante. Esempi di variabili di stato sono la temperatura in un ambiente, la quantità di acqua presente in un intonaco, la resistenza a compressione di una muratura o il numero guasti dell'ascensore che si verificano in un anno in un condominio. Il valore di queste variabili dovrebbe essere teoricamente misurabile in qualsiasi momento per facilitare la calibrazione e la validazione del modello.

Talvolta nel modello sono presenti le **variabili ausiliarie**. Anch'esse cambiano nel tempo ma non sono necessariamente rappresentative del comportamento del sistema. Vengono introdotte perché sono capaci di rappresentare una grandezza da comparare con dati rilevati sul sistema oppure perché costituiscono un passo intermedio nei calcoli. Questo accade normalmente nelle indagini diagnostiche non distruttive dove, per esempio, si determina la resistenza a compressione misurando il tempo che un segnale acustico impiega ad attraversare una muratura oppure quando si esprime la permeabilità in funzione della porosità di un materiale.

Nei sistemi tempo discreti sono presenti le cosiddette **variabili di flusso** associate alle variabili di stato per determinare il loro tasso di variazione in funzione del tempo e come risultato di un processo. Esse rappresentano il flusso di materia o energia tra le variabili di stato. Queste variabili non possono essere misurate istantaneamente ma solo su un incremento di tempo.

Per esempio supponiamo che la variabile di stato si rappresenti dall'ammontare di un conto in banca x_t in un certo istante. Questo sarà pari alla quantità di denaro x_{t-1} presente in un istante precedente più la stessa grandezza moltiplicata per il tasso di interesse relativo al tempo trascorso $f x_{t-1}$. Questa seconda espressione rappresenta la variabile di tasso.



Variabili di ingresso

Sono le variabili che agiscono sul sistema influenzandone il comportamento. Esempi tipici sono i fattori ambientali come velocità del vento, temperatura, quantità di pioggia, ecc oppure i carichi di esercizio, il numero di volte che si utilizza un elemento tecnico, ecc..

A seconda che si possa o meno fissarne l'andamento temporale le variabili d'ingresso sono divise in:

- comandi
- disturbi

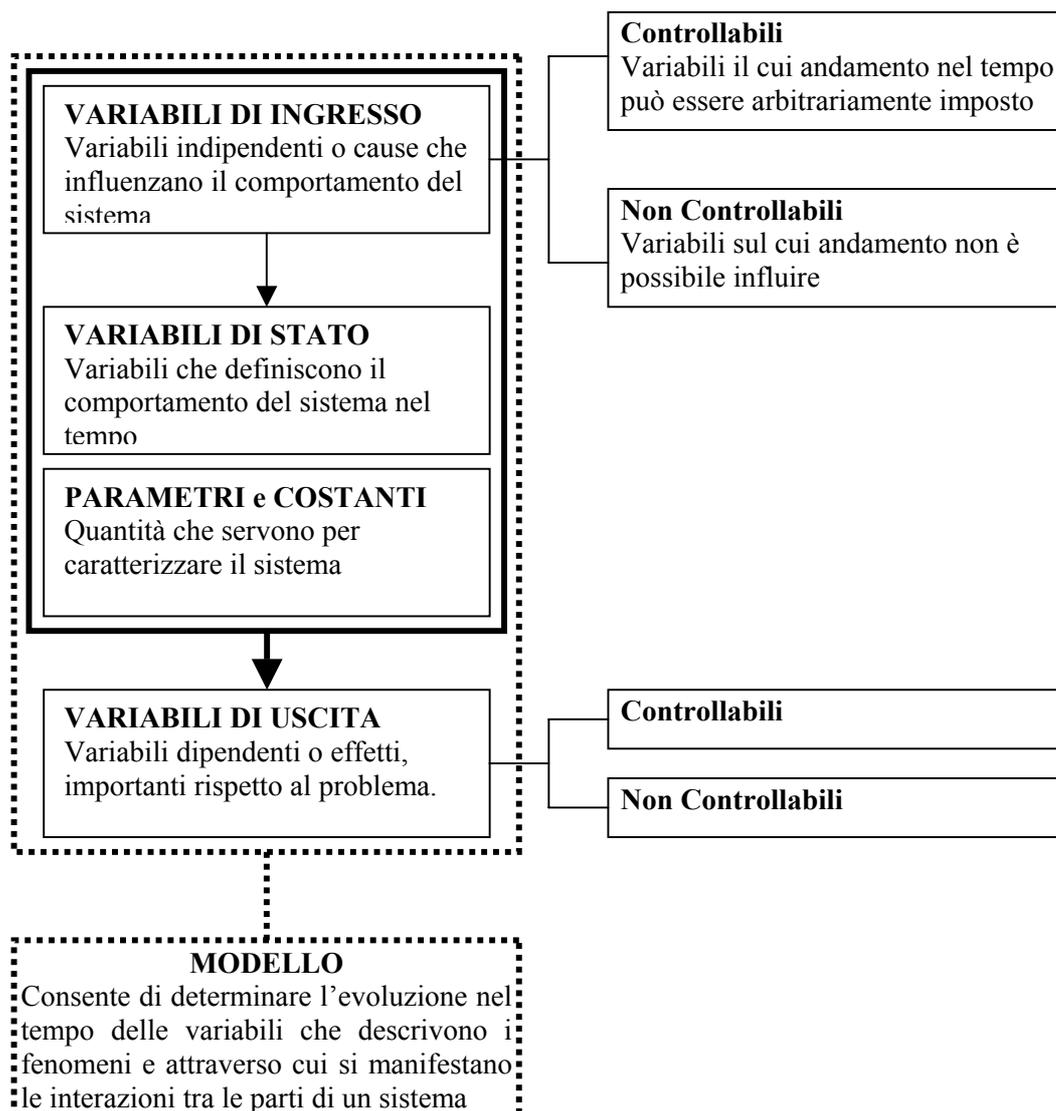
Variabili di uscita

Possono coincidere con le variabili di stato di cui si vuole determinare il comportamento o essere legate ad esse attraverso relazioni note.

Parametri e costanti

Sono quantità che non cambiano nel tempo e si differenziano rispetto all'effetto che hanno sul modello. Le costanti sono quantità determinate che si ritiene non debbano cambiare qualunque siano le condizioni in cui opera il sistema. Esempio classico è la costante gravitazionale. I parametri sono quantità mantenute costanti durante la simulazione, ma possono cambiare, in una simulazione successiva. Un esempio di parametro è rappresentato dal momento d'inerzia di una trave, funzione delle dimensioni della sezione trasversale.

Schema generale del modello di un sistema dinamico





Per analizzare la dinamica di un fenomeno occorre:

1. Individuare la causa o le cause del fenomeno (ingressi)
2. Individuare l'effetto o gli effetti che caratterizzano tale fenomeno (uscite)
3. Individuare il legame tra le cause e gli effetti (generalmente una relazione matematica)

Modellare un sistema dinamico significa, quindi, identificare una legge capace di restituire le trasformazioni che il sistema subisce ossia di descrivere il suo comportamento nel tempo.

Quest'obiettivo può essere raggiunto in vari modi rispetto ai quali i modelli possono essere:

1. basati su leggi fisiche
2. basati su relazioni ingresso-uscita (*black box*)
3. basati sulla conoscenza (*fuzzy*)

Molto spesso risulta estremamente utile considerare approcci misti come *hybrid* e *gray box* che presentano il vantaggio di utilizzare le leggi fisiche per le parti conosciute e l'approccio ingresso-uscita per le relazioni incognite.

I **modelli basati su leggi della fisica** si costruiscono attraverso l'utilizzo delle relazioni matematiche che regolano il funzionamento del sistema. Questo tipo di modelli utilizza equazioni (algebriche, differenziali e alle differenze) attraverso cui si definisce il comportamento del sistema in modo rigoroso e determinato. Quest'approccio è estremamente difficoltoso perché è necessaria una notevole quantità di dati ed una conoscenza considerevolmente approfondita del sistema. Esso, pertanto, è utile per sistemi completamente noti o nei casi in cui è necessario disporre di un modello molto dettagliato e affidabile.

I **modelli del tipo ingresso-uscita** si utilizzano qualora i sistemi non siano sufficientemente noti ma è abbastanza semplice ottenere un numero soddisfacente di misure dirette dei dati osservati. Questi modelli sono costruiti principalmente con lo scopo di descrivere il comportamento di un sistema e di dimostrare l'esistenza di relazioni tra le variabili selezionate, ma senza tentare di spiegare la natura di queste relazioni. A questo tipo di approccio si ricorre spesso nel caso di sistemi complessi per i quali è sufficiente un modello approssimato. Partendo da alcune considerazioni fisiche o da misure preliminari, si costruisce il modello parametrico del sistema e successivamente si determina il valore numerico dei parametri. Per ricavare tali valori è possibile utilizzare la statistica o tecniche di calcolo attraverso cui si rende minima la differenza tra i valori ottenuti dal modello e quelli misurati sul sistema.

I **modelli basati sulla conoscenza** sono adottati per sistemi particolarmente complessi e di cui si ha una conoscenza quasi esclusivamente di tipo qualitativo e per i quali non occorre un modello molto rigoroso e dettagliato. Questo tipo di modelli, che si basano sulla logica (booleana o fuzzy), utilizzano regole del tipo *if-then* composte da un esperto umano. Si tratta di un approccio in teoria molto semplice e in pratica piuttosto potente ma che richiede un notevole sforzo di astrazione dal sistema fisico.

I modelli matematici sono classificabili, sulla base del tipo di informazioni fornite, in: *modelli deterministici e modelli stocastici*.

Un modello deterministico effettua una previsione fornendo come output un valore numerico senza dare nessuna misura della distribuzione probabilistica di quel risultato. Essi si prestano ad essere risolti con metodi esatti dell'analisi matematica, i dati forniti sono certi ed esiste una corrispondenza biunivoca tra i dati e l'evoluzione del sistema nel tempo.

Un modello stocastico è caratterizzato dalla presenza di variabili casuali che tengono conto delle distribuzioni di probabilità. In questo caso si utilizza la capacità del modello di generare numeri casuali e si stima la variabilità verificandone l'effetto nel comportamento del sistema. Una tecnica ampiamente usata in questo tipo di modelli è il metodo Monte Carlo, che consiste nel generare numeri casuali secondo alcune distribuzioni di probabilità (esponenziale, di Poissons, normale) per simulare la variabilità. Per esempio, il metodo Monte Carlo può essere utilizzato per generare condizioni ambientali variabili oppure per simulare l'incontro casuale tra predatore e preda nel tempo e nello spazio.



Un altro metodo, che è intermedio tra modelli deterministici e modelli completamente stocastici, è il metodo della catena di Markov. In esso, la probabilità per una variabile di essere in un dato stato ad un tempo determinato è legato allo stato immediatamente precedente della stessa variabile e non da quanto è accaduto precedentemente.

5.3.4 Analisi del comportamento sistemico e soluzione del problema

La ricerca della soluzione rappresenta l'ultimo passo, dopo aver costruito il modello, del lavoro sperimentale. Le tecniche utilizzate a tale scopo sono essenzialmente di due tipi: soluzione analitica e simulazione.

La soluzione analitica è possibile per problemi semplici di cui si conoscono le relazioni logico-matematiche del modello che consentono di ottenere un risultato esatto. Si tratta essenzialmente di modelli basati su leggi della fisica.

Quando ci si trova di fronte ad un problema complesso di cui si conoscono le leggi che lo regolano, ma la cui soluzione matematica in forma chiusa è impossibile da calcolare è preferibile ricorrere alla simulazione.

Il paragrafo che segue tratta appunto di questa tecnica di risoluzione.



5.3 Modellistica e simulazione

La modellistica e la simulazione sono tra le più importanti applicazioni degli elaboratori elettronici. L'uso di un campione casuale per risolvere problemi complessi, la cui soluzione analitica è difficile se non impossibile da trovare con metodi matematici esatti, risale a più di un secolo fa.

Ad esempio, è del secolo scorso il tentativo, compiuto dal capitano Fox di stimare il valore del π lanciando ripetutamente un ago su un foglio con due righe parallele e contando il numero di volte in cui l'ago toccava le linee, negli stessi anni Kelvin usava tecniche di campionamento per risolvere l'equazione di Boltzmann. È comunque durante la seconda guerra mondiale, grazie anche all'intervento di Ulam e Von Neumann, che si concretizza una metodologia rigorosa per risolvere con un approccio statistico problemi complessi non risolvibili analiticamente: il metodo di Monte Carlo.

Questo metodo ha avuto un enorme successo e con esso si è tentato di risolvere integrali ellittici, sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali ed è risultato molto utile in fase di progettazione di sistemi fisici, specialmente in campo nucleare. Oltre a problemi matematici è stato usato per scelte decisionali in campo bellico prima, industriale ed economico poi.

La definitiva consacrazione come strumento essenziale, si è avuta con l'introduzione dei calcolatori elettronici e con la conseguente diffusione di software di utilizzo immediato che ha fatto aumentare notevolmente l'impiego di questa tecnica.

Non sempre però il comportamento di un sistema può essere descritto da valori esatti delle variabili che lo caratterizzano e per questo motivo recentemente si sono sviluppate tecniche di simulazione qualitativa che consentono "di trattare situazioni di conoscenza incompleta come relazioni deboli tra sottosistemi e condizioni iniziali non esattamente specificate. Esse si basano su ragionamenti di tipo *common-sense*, e descrivono il comportamento del sistema senza o con un modesto apporto computazionale"⁸. Nella modellistica qualitativa le variabili significative assumono un numero discreto e piccolo di valori e sono legate da principi di *causalità* in base al quale il comportamento di una parte è sempre la conseguenza del comportamento delle altre parti che interagiscono con essa.

Nelle discipline legate allo studio e alla progettazione degli organismi edilizi l'impatto con queste nuove tecniche è stato soprattutto di tipo strumentale limitandosi a velocizzare procedure e metodologie di lavoro molto consolidate.

Le ragioni di questo ritardo dipendono sia da fattori culturali, come la mancanza di un background scientifico adeguato e la diffidenza verso linguaggi che presuppongono semplificazioni sostanziali, sia da fattori legati alle complesse interazioni tipiche degli organismi edilizi. Le leggi che governano il loro comportamento sfuggono ad una comprensione completa anche per la natura interdisciplinare delle relative problematiche che spaziano dalla fisica alla chimica, dalla matematica alla biologia, dall'informatica alla statistica.

Tra i motivi per cui potrebbe essere utile introdurre la simulazione nell'ambito della tecnologia dell'architettura è possibile considerare a titolo di esempio:

- la valutazione dell'effetto di scelte tecnologiche sui beni culturali per i quali è particolarmente rischioso introdurre nuove soluzioni tecniche;
- l'esecuzione di esperimenti su strutture e materiali in condizioni estreme quali possono essere gli eventi catastrofici naturali;
- ottenere informazioni su sistemi per i quali i dati sperimentali sono scarsi e per i quali la sperimentazione sarebbe lenta, difficile o costosa. Un tipico esempio riguarda le indagini sulla durabilità di componenti edilizi;

⁸ Bologna S., *Modellistica e Simulazione Non-numerica di Sistemi Complessi*, <http://tisgi.casaccia.enea.it>



L'aspetto più rilevante della simulazione è che permette la creazione di una *storia artificiale* del sistema, consentendo di prevedere il suo stato futuro e l'esito di eventuali azioni sul sistema reale.

Nella forma più semplice, la simulazione consiste nel trasformare un modello matematico in un programma per produrre dati simulati. I dati prodotti dal modello matematico, sono comparati con i dati rilevati sul sistema reale per verificare la validità della previsione.



5.3.1 Modellistica e simulazione quantitativa

Equazioni differenziali e alle differenze

Per descrivere l'evoluzione dinamica del sistema è necessario assegnare, istante per istante, n valori, ovvero dare l'andamento nel tempo di n **variabili di stato** con x_1, x_2, \dots, x_n .

Note le variabili di stato ad un dato istante e l'andamento degli ingressi da quell'istante in poi, sarà quindi possibile determinare l'andamento di tutte le uscite dall'istante considerato.

La formalizzazione matematica del sistema dinamico si ottiene allora attraverso la scrittura delle equazioni differenziali, di cui le variabili di stato sono le soluzioni, noti gli ingressi esterni, e la definizione del legame tra le variabili di uscita e quelle di stato e di ingresso.

Le equazioni differenziali si basano sulla derivata della variabile di stato rispetto al tempo. La derivata è un'espressione matematica del tasso di variazione della variabile di stato x_i :

$$\frac{dx_i}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{[x_i(t + \Delta t) - x_i(t)]}{\Delta t} = \dot{x}_i$$

Nel caso più generale, le equazioni si possono scrivere nel seguente modo:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f[x(t), u(t), p] \\ y &= g[x(t), p] \end{aligned}$$

Si ha sostanzialmente, quindi, un sistema di equazioni differenziali il cui vettore delle incognite $\mathbf{x}(t)$, è funzione solo del tempo e costituisce "lo stato del sistema", $\mathbf{u}(t)$ o "input" rappresenta una eventuale perturbazione che arriva al sistema dall'esterno, e p è un vettore di parametri che caratterizza il sistema.

Alle equazioni differenziali si aggiunge talvolta la cosiddetta funzione di "output" che rappresenta una funzione nota dello stato e che è generalmente il risultato di misurazioni che si effettuano su una o più componenti dello stato.

Le equazioni appena definite si riferiscono a sistemi tempo continui. Talvolta i fenomeni evolutivi sono registrati con determinate scadenze numerabili (es. ogni anno) assumendo un comportamento tempo discreto. In questo caso si parla di equazioni alle differenze e la soluzione è una successione e non un valore. Il passaggio dal continuo al discreto (e viceversa) è possibile assumendo il tempo totale pari a 1 e dividendolo in unità discrete Δt . Il valore della variabile di stato al tempo $t + \Delta t$ è rappresentato come segue:

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + f_i(t) \cdot \Delta t$$

dove $f_i(t)$ è il tasso di variazione al tempo t .

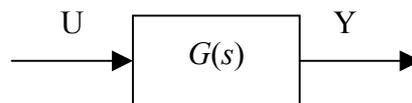
Block diagram

Gli schemi a blocchi costituiscono un formalismo per rappresentare graficamente le interazioni tra sistemi dinamici⁹.

A) Principali elementi costitutivi:

- Blocco

Il blocco è un simbolo che si riferisce ad un sistema dinamico, avente la funzione di trasferimento riportata nel simbolo del blocco, e l'ingresso e l'uscita riportati rispettivamente sulla freccia entrante e sulla freccia uscente dal blocco:



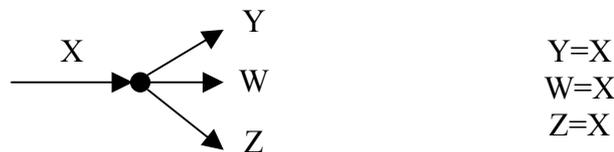
- Nodo sommatore

L'uscita del nodo è data dalla somma algebrica dei segnali che entrano nel nodo, ciascuno preso con il proprio segno (se non è indicato il segno, si assume per convenzione il segno positivo).



- Punto di diramazione

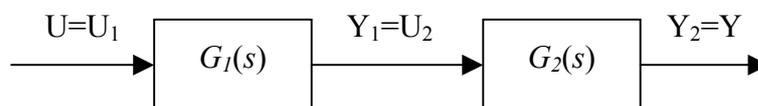
Tutti i segnali uscenti da un punto di diramazione sono uguali al segnale entrante nel punto.



B) Schemi di interconnessione

- Sistemi in cascata (o serie)

Due sistemi si dicono in cascata (o in serie) se l'uscita di uno è l'ingresso dell'altro.



La funzione di trasferimento dall'ingresso del primo sistema all'uscita del secondo si ottiene come segue: $Y(s) = Y_2(s) = G_2(s) U_2(s) = G_2(s) Y_1(s) = G_2(s) G_1(s) U_1(s) = G_2(s) G_1(s) U(s)$

Pertanto:

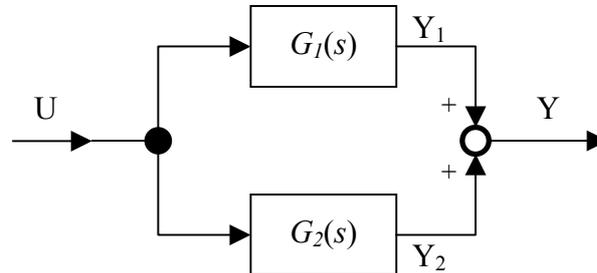
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = G_1(s) G_2(s)$$

La funzione di trasferimento del sistema costituito dalla cascata di due sottosistemi è quindi data dal *prodotto* delle due funzioni di trasferimento parziali.

⁹ Rocco, P., *Dispense di Automatica-Lez.5*, <http://www.elet.polimi.it/upload/rocco>

**- Sistemi in parallelo**

Due sistemi si dicono in parallelo se hanno lo stesso ingresso, mentre le loro uscite si sommano (algebricamente) per determinare l'uscita del sistema risultante.



La funzione di trasferimento dall'ingresso comune ai due sistemi all'uscita si ottiene come segue:
 $Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) = G_1(s) U(s) + G_2(s) U(s) = [G_1(s) + G_2(s)] U(s)$

Pertanto:

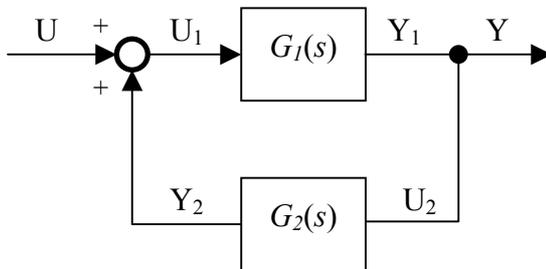
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = G_1(s) + G_2(s)$$

La funzione di trasferimento del sistema costituito dal parallelo di due sottosistemi è quindi data dalla *somma algebrica* delle due funzioni di trasferimento parziali, ciascuna presa con il segno con cui la sua uscita entra nel nodo sommatore.

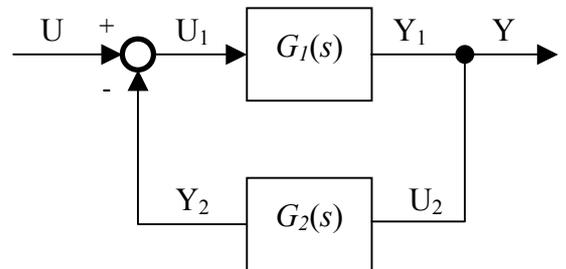
- Sistemi in retroazione

Due sistemi si dicono connessi in retroazione quando l'uscita del primo è l'ingresso del secondo, mentre l'uscita del secondo si somma o si sottrae ad un ingresso esterno per determinare l'ingresso del primo sistema.

Si hanno quindi due possibili schemi di connessione:



Blocchi in retroazione positiva



Blocchi in retroazione negativa

In entrambi i casi:

G1: funzione di trasferimento della linea di andata

G2: funzione di trasferimento della linea di retroazione

Consideriamo il caso di retroazione positiva e calcoliamo la funzione di trasferimento dall'ingresso U all'uscita Y:

$$Y(s) = Y_1(s) = G_1(s) U_1(s) = G_1(s) [U(s) + Y_2(s)] = G_1(s) [U(s) + G_2(s) Y(s)] = G_1(s) [U(s) + G_2(s) Y(s)]$$

Pertanto:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G_1(s)}{1 - G_1(s)G_2(s)}$$

La funzione di trasferimento $G_1(s)G_2(s)$ prende il nome di funzione di trasferimento d'anello.

La regola per trovare la funzione di trasferimento del sistema complessivo è quindi la seguente:

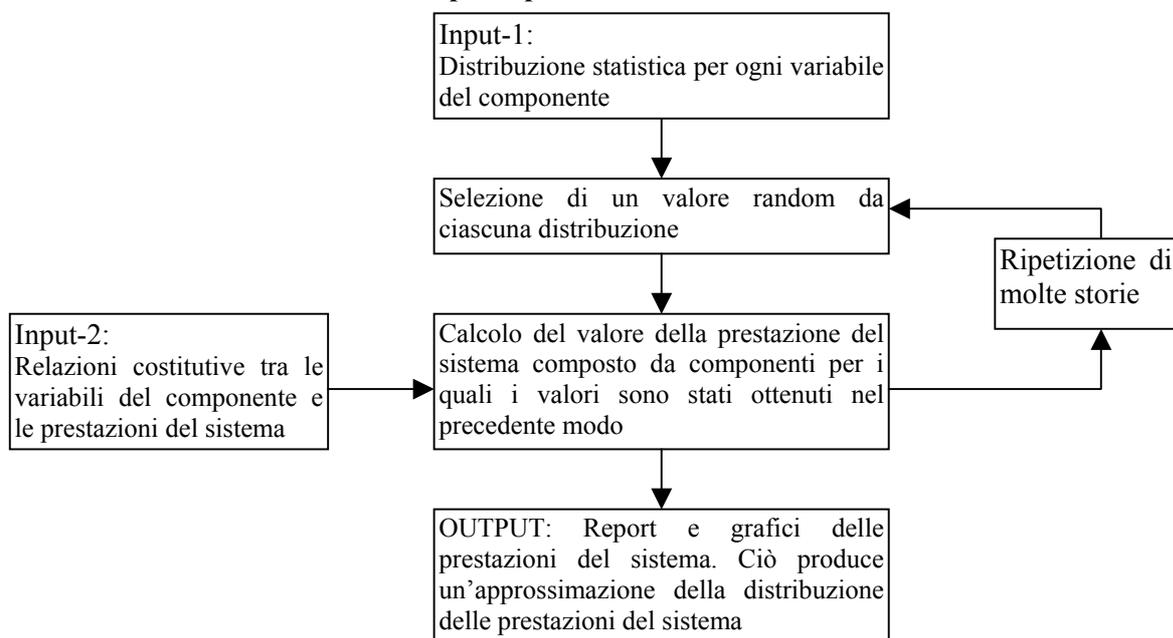
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\text{f.d.t. linea di andata}}{1 \mp \text{f.d.t. d'anello}} \quad \begin{array}{l} - : \text{retroazione positiva} \\ + : \text{retroazione negativa} \end{array}$$



Metodo Monte Carlo

Il termine Monte Carlo è legato al capoluogo del Principato di Monaco, sede del famoso casinò, dal momento che la roulette è uno dei metodi più semplici per generare dei numeri casuali. Si tratta di una procedura numerica basata sulla simulazione di variabili casuali e finalizzata alla valutazione statistica di quantità incognite. Consiste nella riproduzione di una serie di valori casuali disposti secondo una distribuzione di probabilità assegnata che può essere nota o ricavata da tavole esistenti di numeri casuali o da metodi fisici attraverso cui si risale alla varianza di un set di dati empirici. Se la simulazione riguarda variabili aleatorie ottenute dall'analisi di un fenomeno reale, il calcolo effettuato con il metodo Monte Carlo è una simulazione diretta (o imitazione) di tale fenomeno. La simulazione diretta spesso non fornisce l'accuratezza necessaria per la stima delle variabili in esame e per questo motivo sono stati introdotti opportuni algoritmi di calcolo, generati da problematiche specifiche, per accrescere l'efficacia della simulazione.

Il principio del metodo Monte Carlo¹⁰



Gli elementi comuni a tutti i metodi Monte Carlo sono¹¹:

1. *Funzioni di distribuzione della probabilità*: il sistema fisico o matematico, deve essere descritto con un insieme di distribuzioni di probabilità.
2. *Generatore di numeri random*: deve essere disponibile una sorgente di numeri random uniformemente distribuiti nell'intervallo unitario,
3. *Regola di campionamento*: deve essere stabilita una regola per effettuare il campionamento da una distribuzione di probabilità specificata, assumendo che vi sia disponibilità di numeri casuali nell'intervallo unitario.
4. *Stima delle grandezze*: i risultati devono essere accumulati all'interno dei punteggi generali per le grandezze d'interesse.
5. *Stima dell'errore*: deve essere determinata la stima di un errore statistico (varianza) anche come funzione del numero di estrazioni (oltre che di altre quantità).
6. *Tecniche di riduzione della varianza*: sono metodi usati per aumentare l'efficienza della simulazione.
7. *Parallelizzazione e vettorizzazione*: algoritmi che permettono al metodo Monte Carlo di essere implementato in modo efficiente su elaboratori elettronici.

¹⁰ Fedele et altri, op. cit. pag 75

¹¹ ibidem, pag. 78.



Catene e processi di Markov

La teoria delle catene di Markov risale al 1907 e riguarda processi stocastici le cui variabili casuali sono legate da un tipo di dipendenza particolarmente semplice. Generalmente in una successione di esperimenti, la probabilità che si verifichi un evento è influenzata da tutto ciò che è accaduto prima e pertanto gli eventi non sono del tutto indipendenti. Nella teoria delle catene di Markov, si ipotizza che il risultato di ciascuna prova dipenda esclusivamente da risultato della prova precedente.

In generale per un sistema è possibile definire un vettore dei suoi stati possibili $S=[S_1, \dots, S_n]$ che sono assunti in seguito al verificarsi di un evento capace di far passare il sistema da uno stato S_k a uno stato S_p . I cambiamenti di stato sono eventi casuali denominati *transizioni* a cui è possibile associare una certa probabilità di accadimento. In base all'ipotesi di Markov tale probabilità dipende esclusivamente dagli stati S_k e S_p e non da come di è giunti allo stato S_k . Le probabilità di transizione, p_{kp} dipendono solo dagli indici k e p e sono raccolte nella matrice di transizione T_{pk} nella quale l'indice di riga p rappresenta lo stato di arrivo, mentre l'indice di colonna k quello di partenza. Tutti gli elementi della matrice, in quanto probabilità, sono compresi tra 0 e 1 e quindi T_{pk} è una matrice non negativa.

$$T_{kp} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1p} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \cdots & p_{kp} \end{bmatrix} \text{ i cui elementi soddisfano le condizioni } p_{kp} \geq 0 \text{ e } \sum_k p_{kp} = 1.$$

I processi di Markov costituiscono una generalizzazione delle omonime catene, ciò che li differenzia sta nel fatto che mentre le catene assumono valori discreti, associati ad uno stato in un certo istante, i processi assumono valori continui, ossia le variabili casuali possono assumere valori in un insieme continuo di numeri reali.



5.3.2 Modellistica e simulazione qualitativa

Automi cellulari

Il concetto di automa cellulare risale agli anni '40 e si deve al lavoro di Stanislaw M. Ulman e Jhon von Neumann. Il loro obiettivo era di studiare la complessità dei fenomeni biologici e in particolare i meccanismi di funzionamento e auto-riproduzione degli esseri viventi.

“Lo studio di Automi cellulari è usato per simulare ogni sistema dinamico modellizzabile secondo spazio e tempo discreti (flussi aerodinamici, sviluppo urbano, andamenti demografici, traffico automobilistico, ecc.)”.¹²

L'aspetto interessante degli automi cellulari è la loro capacità di rappresentare un'alternativa alle equazioni differenziali per la realizzazione di modelli di sistemi complessi.

Attraverso questo strumento, un sistema è rappresentato come composto da tante parti elementari, dette “celle”, ciascuna delle quali per evolvere deve obbedire ad una propria legge di transizione che ne determina ad ogni intervallo di tempo t , il passaggio da uno stato S_t ad un altro S_{t+1} in funzione di un input costituito dagli stati delle vicine al tempo t .

Dal momento che le celle mutano di stato contemporaneamente, l'evoluzione globale del sistema emerge dall'evoluzione di tutte le parti elementari.

Formalmente un automa consiste in una quadrupla (L_n, S, V, f) dove

- L_n (geometria della matrice): è l'insieme delle celle identificate in uno spazio ad n dimensioni da coordinate intere;
La geometria della matrice delle celle può essere bidimensionale tridimensionale o multidimensionale (a n dimensioni).
- S è l'insieme finito degli stati dell'automa elementare;
Si possono avere automi cellulari binari in cui vi sono solo due stati per cella (1 o 0) oppure si possono definire automi cellulari con un numero molto elevato di stati possibili. Per la simulazione di sistemi che presentano una notevole complessità è necessario poter definire celle con un numero di stati elevato.
- V (Vicinato) è un indice di vicinanza (un insieme finito di vettori ad m dimensioni che definiscono l'insieme $V(X,i)$ di celle vicine alla cella i);
Il Vicinato di una cella può comprendere le celle fisicamente adiacenti oppure le celle determinate tramite una funzione metrica (distanza) definita nello spazio delle celle.
- f : è la funzione di transizione di stato che programma la trasformazione degli stati in funzione dell'input.

Il numero di regole necessarie per stabilire il prossimo stato di una cella cresce esponenzialmente rispetto al numero dei possibili stati della cella.

I modelli ottenuti con le varie regole di transizione sono caratterizzati dall'aver comportamenti complessi, in base ai quali gli automi cellulari vengono classificati in quattro classi fondamentali.

1. **Classe 1:** è composta dagli automi cellulari la cui evoluzione, qualsiasi sia la configurazione iniziale, dopo un numero finito di passi porterà l'automa in uno stesso stato stabile ed omogeneo oppure in un ciclo definito.

¹² Giraudi, M.T., *l'Enciclopedia*, La biblioteca di Repubblica, (realizzata dalle Redazioni Grandi Opere di Cultura UTET), aggiornamento marzo 2003, Voce: automa, vol.2, pag 430.

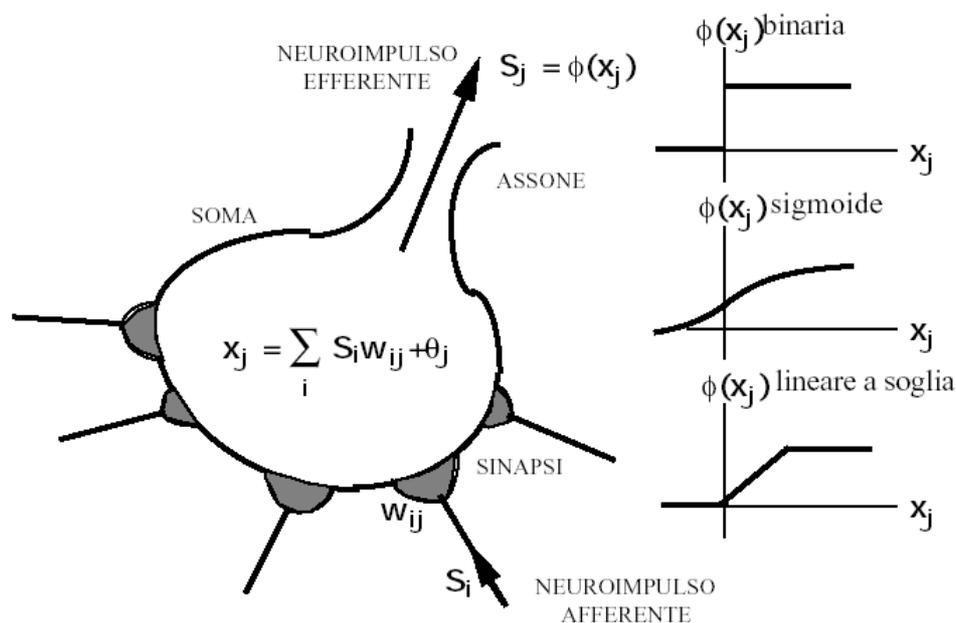


2. **Classe 2:** gli automi cellulari della classe 2 fanno sì che il valore dello stato di una cella, dopo un certo tempo, sarà determinato dai valori iniziali di alcune celle situate in una regione limitata e connessa. La conoscenza dello stato iniziale di una piccola regione è sufficiente per predire lo stato finale di una data regione di celle. Di solito le regole di questa classe danno luogo a semplici strutture che possono essere stabili o periodiche e che rimangono isolate una dall'altra. Gli automi cellulari appartenenti a questa classe funzionano come filtri che generano strutture semplici a partire da particolari valori di stato iniziale, per questa ragione, essi appaiono particolarmente utili per l'elaborazione di immagini.
3. **Classe 3:** negli automi cellulari della classe 3 il valore di una cella dipenderà dai valori iniziali di un sempre crescente numero di celle. Una predizione dello stato finale richiede la conoscenza completa dello stato iniziale. In un automa cellulare di questo tipo, per quasi tutti i possibili stati iniziali, l'evoluzione porterà a configurazioni caotiche (aperiodiche) anche se non casuali. Dopo un numero sufficientemente grande di passi, le proprietà statistiche di queste configurazioni sono praticamente uguali per quasi tutti i possibili stati iniziali.
4. **Classe 4:** negli automi cellulari della classe 4, ci sono poche regole di transizione che generano strutture di sostanziale complessità spaziale e temporale. Per questa classe di automi, in molti casi tutte le celle variano il loro stato dopo un numero finito di passi. In alcuni casi si osservano strutture periodiche o stabili che persistono per un numero elevato di passi. In altri casi si osservano delle strutture che si propagano. Negli automi di classe 4, il valore di una cella dopo un numero grande di passi, dipende dal valore di un numero crescente di stati iniziali di altre celle. Il valore dello stato di una cella non può essere determinato tramite una procedura di calcolo più semplice della simulazione della sua evoluzione. Il comportamento degli automi cellulari della classe 4 non è predicibile anche conoscendo la configurazione degli stati iniziali.

Neural Networks

Neural Networks (reti neurali) sono modelli matematici, ispirati al sistema nervoso centrale umano, utilizzati per risolvere i problemi che vengono loro posti dopo un periodo di addestramento. In poche parole si tratta di un nuovo approccio alla elaborazione di dati che non richiede ulteriori algoritmi per il loro trattamento.

Questa tecnica si è sviluppata di pari passo con le ricerche in campo fisiologico sul cervello umano i cui neuroni sono rappresentati da unità di calcolo (neuroni artificiali) connesse fra di loro attraverso canali di comunicazione simili alle sinapsi cerebrali. I neuroni artificiali compiono semplici operazioni numeriche sugli input e inviano il risultato ad altre unità che moltiplicano a loro volta i nuovi input per il peso numerico associato alla connessione e li sommano. Se il risultato di questa operazione supera una determinata soglia (calcolata per la maggior parte tramite una funzione sigmoide), l'unità neuronale lo invia in output ad altri neuroni.



Neurone Formale¹³

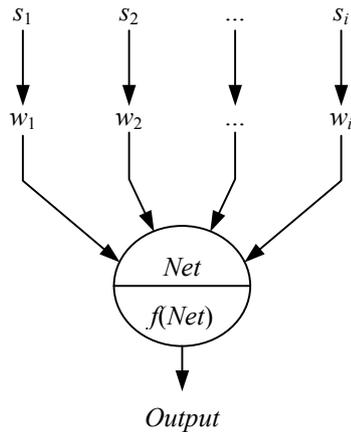
“Nella figura è rappresentato il “neurone formale”, così come viene utilizzato, generalmente, nei modelli neurali.

Esso è costituito, strutturalmente, dalle *sinapsi* w_{ij} che collegano il neurone con gli altri neuroni della rete e che raccolgono i neuroimpulsi afferenti. Vi è poi il corpo cellulare, dove viene svolta l'operazione di somma pesata di tali segnali in ingresso. Essa, modulata da una funzione soglia, costituirà la risposta del neurone, e verrà propagata, attraverso l'unico dispositivo di uscita, l'assone, verso tutti gli altri neuroni ad esso connessi tramite altre sinapsi”.

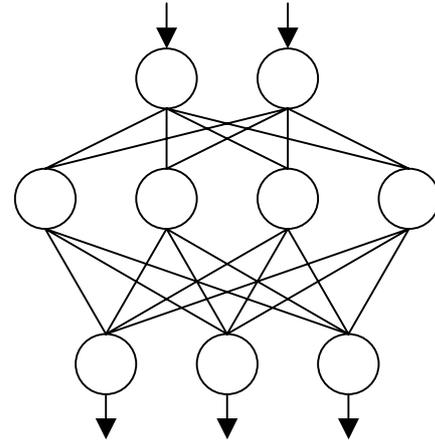
I diversi segnali pesati che giungono al neurone dalle altre unità di calcolo contemporaneamente in un dato istante sono detti *net input*, funzione di tutti i segnali ricevuti in un intervallo di tempo e di tutti i pesi delle sinapsi. La funzione $Net(x_j)$ somma i prodotti dei segnali s_i per i rispettivi pesi w_i . L'effetto cumulativo Net genera poi l'output del neurone.

I neuroni possono essere collegati per formare reti neurali più complesse.

¹³ Sirabella P., Colosimo A., *Le reti neurali artificiali e loro applicazioni d'interesse biologico*, 1993, <http://scienzecognitive.unime.it/didattica/lia/N.pdf>, pag.7



Modello di neurone artificiale



Schema di una rete a tre strati

Per addestrare la rete è necessario definire delle funzioni che processano le informazioni. La differenza sostanziale con un metodo tradizionale di processo, consiste nella possibilità della rete di generare autonomamente funzioni di analisi e classificazione, dopo un input iniziale fornito dal programmatore.

Una rete neurale può essere utilizzata per modellare un sistema rappresentato da variabili associate tra loro. Introducendo una quantità di dati ricavati da campagne di sperimentazione sul sistema, la rete apprende il legame che esiste tra le diverse variabili e può essere in grado di restituire in output il valore di una variabile corrispondente ad input forniti dall'utente ignaro delle associazioni generate dalla rete (*black-box*).

I principali campi di applicazione delle *Neural Networks* sono:

- *Classificazione*: riconoscimento e riconoscimento di dati: Come l'OCR o il riconoscimento vocale.
- *Modellizzazione*: simulazione di un sistema complesso.
- *Previsione*: previsione dell'elemento successivo in una sequenza di dati.



Fuzzy logic

Lo scopo principale della logica Fuzzy¹⁴ è di fornire un modello matematico di concetti vaghi che sono per loro natura gradualmente come quelli di “alto”, “freddo”, “vecchio” e così via. La teoria della logica fuzzy si basa sul concetto di insieme “sfumato”.

A differenza della logica classica, per la quale la nozione di appartenenza ammette solo due valori, (vero/falso), la logica fuzzy, dato un oggetto x e un insieme A , caratterizza l'appartenenza di x ad A in termini di probabilità o grado di verità in un intervallo numerico continuo generalmente compreso nell'intervallo $[0,1]$ dove 0 rappresenta l'appartenenza nulla e 1 l'appartenenza totale. Nella terminologia fuzzy, un insieme di tipo classico con funzione di appartenenza booleana viene anche detto *crisp set*.

La funzione di appartenenza, che può essere triangolare, trapezoidale o a campana, è indicata con la lettera μ e la sua espressione matematica è:

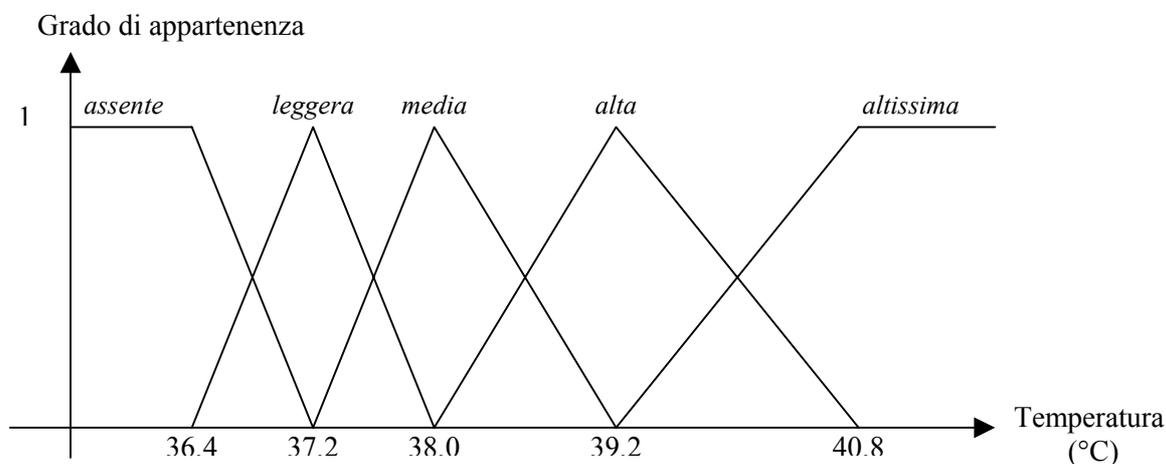
$$\mu_A : X \rightarrow [0,1]$$

Un **fuzzy set** (insieme fuzzy) A può quindi essere definito come l'insieme di coppie ordinate costituite dagli elementi di X e dal corrispondente valore della funzione di appartenenza:

$$A = \{(x, \eta_A(x))\} \text{ con } x \in X$$

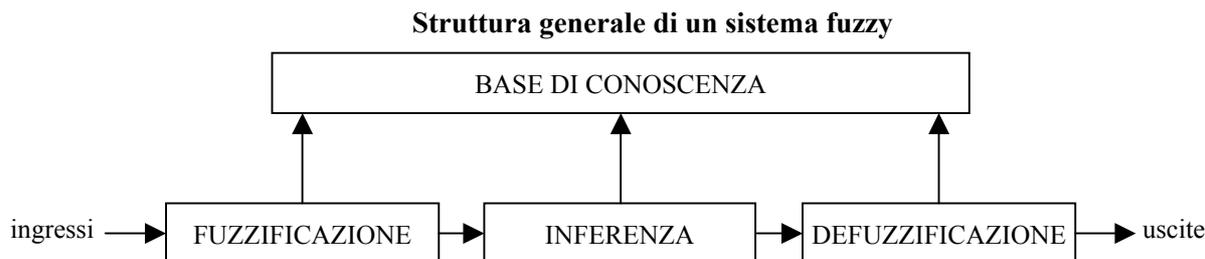
Una variabile linguistica è una variabile fuzzy, che non assume valori numerici, ma valori espressi in linguaggio naturale. I valori che una variabile linguistica può assumere sono detti termini linguistici. Ad esempio, alla variabile linguistica “febbre” potremmo assegnare i valori: *assente*, *leggera*, *media*, *alta*, *altissima*. L'insieme dei termini relativi ad una certa variabile è detto **term set**. Ogni termine è associato alla variabile linguistica cui si riferisce tramite la sua funzione di appartenenza. L'universo del discorso della variabile è coperto da tutte le funzioni di appartenenza dei termini ad essa associati.

Term set della variabile “febbre”, con funzioni di appartenenza.



Un sistema fuzzy è costituito da quattro unità fondamentali ossia la *base di conoscenza* e le 3 unità di calcolo: *fuzzificazione*, *inferenza* e *defuzzificazione*.

¹⁴ Per la stesura del paragrafo ho fatto riferimento a Chinellato, E., *Gestione intelligente di scorte con logica fuzzy*, tesi di laurea, a.a. 1997/98, relatore prof. Bolognini S., Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali dell'Università degli Studi di Padova.



La **base di conoscenza** contiene tutte le informazioni sul sistema, che permettono alle altre unità di elaborare i dati d'ingresso per ottenere le uscite. Tali informazioni possono essere suddivise nei due blocchi *data base* e *rule base*. Il primo comprende la descrizione di tutte le variabili con le loro funzioni di appartenenza, il secondo le regole linguistiche d'inferenza.

Dal momento che quasi sempre i dati in ingresso sono in forma crisp e che il sistema fuzzy lavora su insiemi "sfumati" è necessario operare una conversione, per tradurre un dato numerico standard in un dato fuzzy. L'operazione che attua questa conversione si chiama **fuzzificazione**. La fuzzificazione si effettua sfruttando le funzioni di appartenenza dei fuzzy set relativi alla variabile da trattare. Per un valore crisp d'ingresso vengono stabiliti dei gradi di appartenenza relativi ognuno ad un termine linguistico della variabile.

Il **motore d'inferenza** è il cuore del sistema fuzzy. Utilizzando le informazioni contenute nella base di conoscenza, esso determina lo stato delle uscite corrispondente ad una determinata configurazione degli ingressi.

L'operazione che converte i valori fuzzy d'uscita in valori numerici utilizzabili è detta **defuzzificazione**. In questa fase, partendo da un particolare insieme fuzzy ottenuto con l'inferenza (spesso di forma irregolare, dovuta all'unione dei risultati di regole diverse), si vuole determinare un singolo valore crisp che rappresenti nel miglior modo possibile tale insieme. Il valore ottenuto rappresenta l'uscita finale del sistema, e sarà usato come azione di controllo o come parametro decisionale.

Sono state elaborate varie strategie di defuzzificazione, nessuna delle quali si può considerare conveniente in assoluto: sta al progettista stabilire qual è la metodologia che meglio si adatta alle esigenze poste dal problema.



Algoritmi genetici

Gli algoritmi genetici sono algoritmi di ricerca che affrontano la risoluzione di problemi complessi basandosi sulle regole della selezione e della genetica naturale. Il processo di selezione naturale specifica quali individui della popolazione devono sopravvivere e riprodursi, mentre il processo di riproduzione assicura la mescolanza dei geni delle nuove generazioni. Il principio di base è che la nuova generazione viene creata utilizzando i pezzi e le parti migliori della vecchiaia.

Se ogni generazione rappresenta l'insieme delle soluzioni concorrenti di uno specifico problema, tramite la competizione e la mutazione dovrebbe essere possibile ottenere le soluzioni migliori. Ogni soluzione possiede una rappresentazione (cromosoma) ed è formata da diversi componenti (geni).

La procedura è iterativa e in ogni nuova generazione l'algoritmo genetico utilizza una funzione di *fitness* che assegna un punteggio ad ogni cromosoma della popolazione corrente, indicando, quindi, l'efficacia con cui un cromosoma risolve uno specifico problema.

Per fornire le soluzioni ai problemi, l'algoritmo genetico usa tre operatori fondamentali: *riproduzione*, *mutazione* e *crossover*.

L'*operatore di riproduzione* seleziona e replica i cromosomi in modo proporzionale alla loro probabilità di riproduzione il cui valore dipende dalla funzione di fitness associata, più grande è il punteggio della funzione maggiore sarà la probabilità di riprodursi.

L'*operatore di mutazione* cambia il valore di un gene scelto in modo random dall'alfabeto dei geni, ciò avviene con una certa probabilità, detta di mutazione, per tutti gli elementi della popolazione.

L'*operazione di crossover* ricombina due cromosomi genitori, scelti a caso tra la popolazione, attraverso lo scambio di porzioni delle stringhe che li rappresentano generando due nuovi cromosomi detti stringhe figlie.

Il vantaggio computazionale degli algoritmi genetici è che essi tendono ad orientare la ricerca verso le regioni dello spazio che contengono le soluzioni migliori (ad elevata fitness) servendosi, dopo ogni iterazione, della conoscenza acquisita durante la ricerca precedente.



Reti di Petri

Le reti di Petri consentono di modellare un sistema per effettuare analisi e verifiche sul suo comportamento utilizzando un formalismo grafico molto intuitivo.

In una rete di Petri gli elementi fondamentali sono due: posti, che definiscono lo stato del sistema, e le transizioni, che invece modificano lo stato. È importante sottolineare che le reti di Petri, definiscono solo quali siano le precedenze che devono intervenire nel corretto funzionamento del sistema, senza far riferimento alcuno alla variabile tempo.

Una rete di Petri è una tripla $N = (P, T, F)$

Dove P è detto insieme dei posti, T è detto insieme delle transizioni ed F è detta relazione di flusso. P e T sono due insiemi finiti.

Devono valere le seguenti proprietà:

1. $P \cap T = \emptyset$ (gli insiemi dei posti e delle transizioni sono disgiunti)
2. $P \cup T \neq \emptyset$ (la rete non è vuota esiste almeno un posto o una transizione)
3. $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ (posti e transizioni sono tra loro in relazione tramite F)

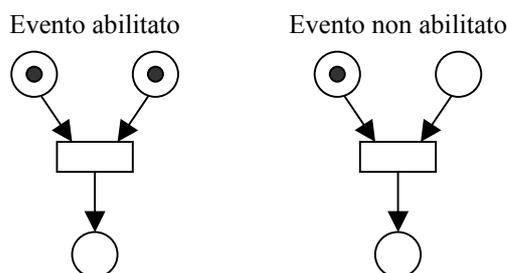
Lo stato del sistema è associato ad una marcatura che definisce il numero di token in esso contenuti. Il manifestarsi di un evento corrisponde allo scatto di una transizione legata al verificarsi di date *precondizioni*. Queste dipendono dal numero di token contenuti nei posti contenuti alla transizione associata all'evento. Lo scatto di una transizione ha come effetto la modifica della marcatura.

In generale, la presenza di un token in un posto, è interpretata come disponibilità di risorse di un certo tipo. Lo scatto di una transizione rappresenta un'azione che ha luogo quando un numero sufficiente di risorse (precondizione) è disponibile.

L'effetto dello scatto è il consumo di elementi primari e la produzione di un'entità che può a sua volta essere considerata come una nuova risorsa e così via.

Detto n un nodo della rete (condizione o evento), l'insieme delle sue precondizioni è l'insieme dei nodi dai quali parte un arco che arriva a n e si indica con $\bullet n$. L'insieme delle postcondizioni è l'insieme dei nodi ai quali arriva un arco che parte da n e si indica con $n \bullet$.

Una condizione si dice verificata se essa contiene una marca. L'insieme delle condizioni verificate in una certa situazione è chiamato caso. Un evento è abilitato in un caso se tutte le sue precondizioni sono marcate (cioè appartengono al caso) e se tutte le sue postcondizioni non lo sono (cioè non appartengono al caso).





5.4.1 Modelli di sistemi a variabile continua

5.4.1.1 Modello del sistema meccanico massa-molla

Descrizione generale del modello.

Sistema meccanico massa-molla¹⁶

Il modello descrive il comportamento (movimento) di un corpo di massa m , sottoposto all'azione di una forza F e collegato ad un corpo elastico di elasticità k , partendo dalle leggi della fisica che ne descrivono il moto. Note le condizioni iniziali della massa (posizione e velocità) e nota la legge della forza esterna applicata in funzione del tempo, è possibile determinare la posizione e la velocità del corpo in qualsiasi istante futuro.

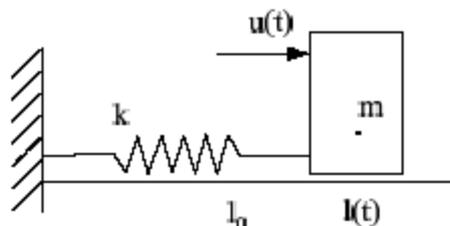
•Obiettivo:

- Descrivere il moto del corpo attraverso la traiettoria seguita dal centro di massa

•Esempio di applicazioni:

- sospensioni attive (modello poco realistico)

Sistema reale



Caratterizzazione del sistema

•Scopo:

- produrre un'oscillazione costante del corpo di massa m

•Processo:

- durante un'oscillazione completa, converte costantemente energia cinetica in energia meccanica.

•Struttura: elementi costituenti il sistema:

- Corpo di massa m (*propensione ad opporsi all'azione di trasformazione*)
- Molla di elasticità k (*propensione a convertire l'azione di trasformazione*)
- Forza esterna $u(t)$ (*propensione alla trasformazione*)

Proprietà del sistema

- *Tipo di dinamica temporale:* **continuo**

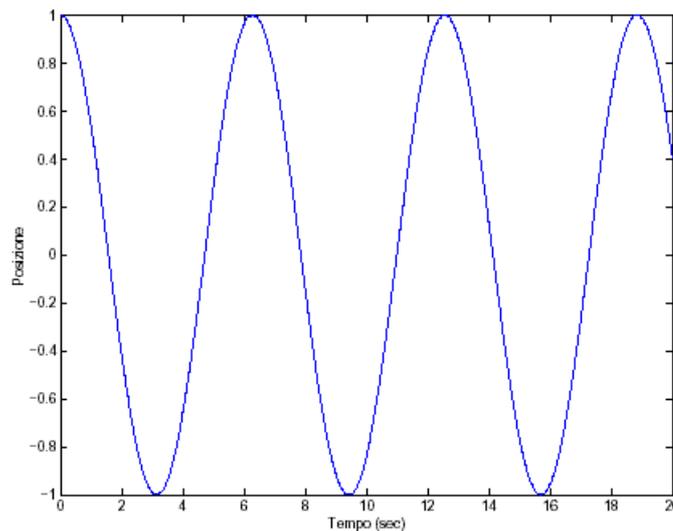
- *Grado di determinazione:* **determinato**

- *Osservabilità:* **osservabile**

¹⁶ Tratta da P. Valigi, *Modellazione di sistemi dinamici*, a.a. 02/03 pag. 1
http://www.diei.unipg.it/DIDATTICA/CORSI/valigi/AdS_Modelli.pdf

**Modello matematico****Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)**

- Raccolta dati sperimentali → Leggi della fisica
- Legge che descrive il moto, basata sull'equilibrio delle forze:
 - $u(t) = m \cdot a(t) - k(l(t) - l(0))$
- Legami tra variabili:
 - $l(t) = \dot{v}(t)$
 - $v(t) = \dot{a}(t)$
 - $F(t) = m \cdot a(t)$
 - $F \cdot m = -k(l(t) - l(0))$

Risposta libera nella variabile $x_1(t)$ ¹⁷**Ipotesi esemplificative:**

- Corpo rigido → la trasformazione è identica in tutto il corpo
- Molla perfettamente elastica → proporzionalità tra azione e trasformazione
- Assenza di attrito → costanza della trasformazione nel tempo

Identificazione delle variabili e dei parametri:• **Variabili di stato:**

- Posizione: $l(t) = x_1$
- Velocità della massa: $v(t) = x_2$

• **Variabili di ingresso**

- Forza esterna: $u(t)$
- Forza esercitata dalla molla: $F_m(t)$

• **Variabili di uscita**

- Posizione: $l(t) = x_1$

• **Parametri:**

- m = costante di proporzionalità che lega la forza all'accelerazione.
- k = costante di proporzionalità che lega la forza allo spostamento

¹⁷ Tratta da P. Valigi, ivi pag 2



Modello dinamico nello spazio di stato

- Sistema di equazioni differenziali lineari:

$$\begin{aligned} - \dot{x}_1 &= x_2 \\ - \dot{x}_2 &= -\frac{k}{m} x_1 + \frac{1}{m} u(t) \end{aligned}$$

- Forma matriciale:

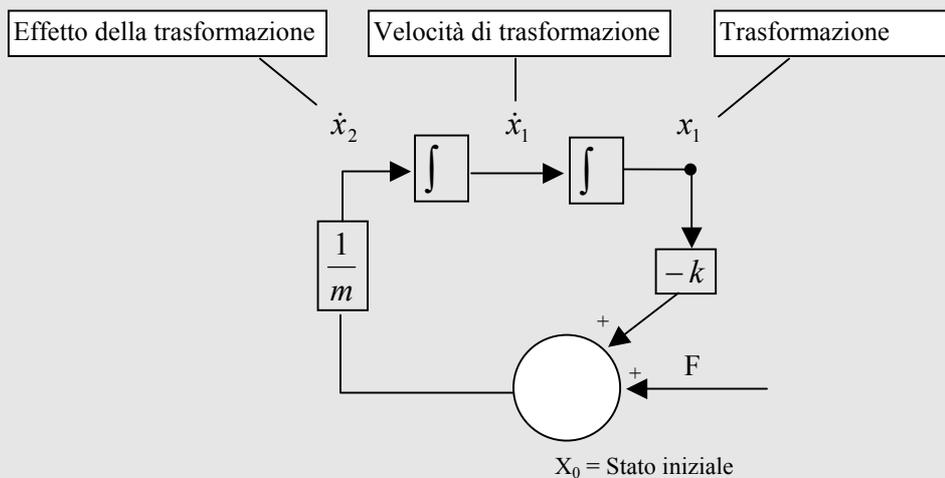
$$- F = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & 0 \end{bmatrix}, g = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix}, h = [1 \quad 0]$$

Da cui è possibile dedurre il comportamento della variabile di interesse, detta funzione di uscita, nella forma:

$$\begin{aligned} - \dot{x} &= Fx + gu \\ - y &= hx \end{aligned}$$

dove y rappresenta la variabile di uscita.

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



La costruzione del modello richiede la conoscenza dei parametri quali la massa m e il coefficiente di elasticità k della molla. Il legame tra la variabile di uscita l e quella di ingresso F passa attraverso due successive integrazioni.

Le equazioni differenziali lineari stabiliscono il legame tra la sollecitazione (forza) e l'effetto (spostamento) descritto dalla legge del moto.

5.4.1.2 Modello del sistema meccanico massa-molla-smorzamento

Descrizione generale del modello	
Sistema meccanico massa-molla-smorzamento ¹⁸	
<p>Il modello descrive il comportamento (movimento) di un corpo sottoposto all'azione di una forza F, collegato ad un corpo elastico con elasticità k e ad uno smorzatore con coefficiente di attrito viscoso c, partendo dalle leggi della fisica che ne descrivono il moto. Note le condizioni iniziali della massa (posizione e velocità) e nota la legge della forza esterna applicata in funzione del tempo, è possibile determinare la posizione e la velocità del corpo in qualsiasi istante futuro.</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • descrivere il moto del corpo attraverso la traiettoria seguita dal centro di massa
	<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni: <ul style="list-style-type: none"> • sospensioni attive, progettazione di edifici sottoposti ad azioni dinamiche come sismi e venti (modello abbastanza realistico)
Sistema reale	
Caratterizzazione del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • produrre un'oscillazione, smorzata nel tempo, di un corpo di massa m
	<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • converte energia cinetica in energia meccanica perdendo una quantità costante di energia alla fine di ogni ciclo di oscillazione
	<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Corpo di massa m (<i>propensione ad opporsi all'azione di trasformazione</i>) • Molla di elasticità k (<i>propensione a convertire l'azione di trasformazione</i>) • Smorzatore con coefficiente di attrito viscoso c (<i>propensione ad esaurire l'azione di trasformazione</i>) • Forza esterna $u(t)$ (<i>propensione alla trasformazione</i>)
Proprietà del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: continuo
	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di determinazione: determinato
	<ul style="list-style-type: none"> • Osservabilità: osservabile

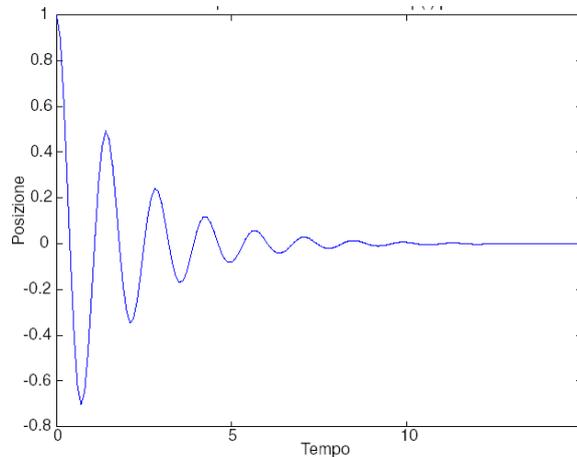
¹⁸ Tratta da P. Valigi, *ivi* pag. 3



Modello matematico

Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)

- Raccolta dati sperimentali → Leggi della fisica
- Legge che descrive il moto, basata sull'equilibrio delle forze:
 - $u(t) = m \cdot a(t) - c v(t) - k(l(t) - l_0)$
- Legami tra variabili:
 - $l(t) = \dot{v}(t)$
 - $v(t) = \dot{a}(t)$
 - $F(t) = m \cdot a(t)$
 - $F_m = -k \cdot (l(t) - l_0)$
 - $F_c(t) = -c \cdot v(t)$



Risposta libera nella variabile $x_1(t)$, con smorzamento positivo¹⁹

Ipotesi esemplificative:

- Corpo rigido → la trasformazione è identica in tutto il corpo
- Molla perfettamente elastica → proporzionalità tra azione e trasformazione
- Attrito costante → proporzionalità tra trasformazione ed esaurimento della trasformazione

Identificazione delle variabili e dei parametri:

•Variabili di stato:

- Posizione: $l(t) = x_1$
- Velocità della massa: $v(t) = x_2$

•Variabili di ingresso

- Forza esterna: $u(t)$
- Forza esercitata dalla molla: $F_m(t)$
- Forza di attrito viscoso: $F_c(t)$

•Variabili di uscita

- Posizione: $l(t) = x_1$

•Parametri:

- m = costante di proporzionalità che lega la forza all'accelerazione.
- k = costante di proporzionalità che lega la forza allo spostamento
- c = costante di proporzionalità che lega la forza alla velocità.

¹⁹ Tratta da P. Valigi, *ivi* pag. 4



Modello dinamico nello spazio di stato

- Sistema di equazioni differenziali lineari

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{k}{m} x_1 - \frac{a}{m} x_2 + \frac{1}{m} u(t)$$

- Forma matriciale:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{a}{m} \end{bmatrix}, g = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix}, h = [1 \quad 0]$$

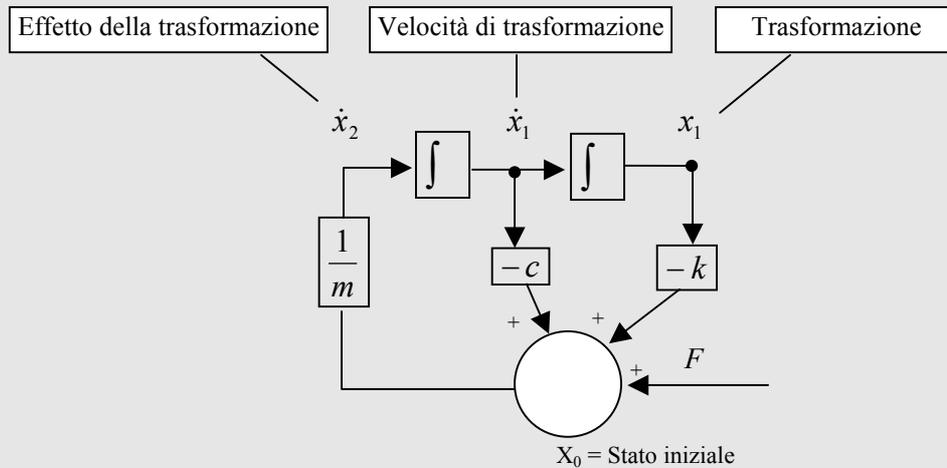
Da cui è possibile dedurre il comportamento della variabile di interesse, detta funzione di uscita, nella forma:

$$\dot{x} = Fx + gu$$

$$y = hx$$

dove y rappresenta la variabile di uscita.

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



La costruzione del modello richiede la conoscenza dei parametri quali la massa m , il coefficiente di elasticità k della molla e il coefficiente di attrito viscoso c . Il legame tra la variabile di uscita l e quella di ingresso F passa attraverso due successive integrazioni. La prima integrazione fornisce una prima componente dello spostamento attraverso il coefficiente moltiplicativo $-c$.

Le equazioni differenziali lineari stabiliscono il legame tra la sollecitazione (forza) e l'effetto (spostamento) descritto dalla legge del moto.



5.4.1.3 Modello di un circuito elettrico

Descrizione generale del modello.**Circuito elettrico**²⁰

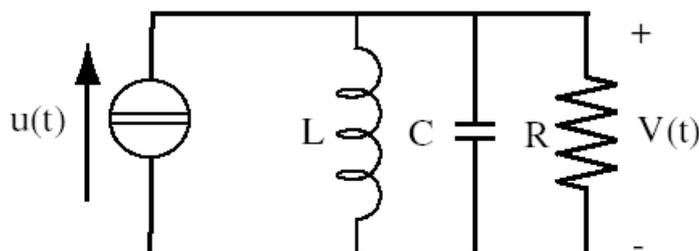
Il modello descrive il comportamento (variazione di tensione) di un flusso di corrente all'interno di un circuito elettrico costituito da un generatore di corrente, da un resistore di resistenza R , da un condensatore di capacità C e da un induttore con induttanza L , partendo dalle leggi della fisica che descrivono il flusso. Note le condizioni iniziali del resistore (tensione e corrente) e nota la legge della corrente generata in funzione del tempo, è possibile determinare la tensione ai capi del resistore e l'intensità di corrente del resistore in qualsiasi istante futuro.

•**Obiettivo:**

- determinare la tensione ai capi della resistenza di un circuito elettrico in un dato istante

•**Esempio di applicazioni:**

- progettazione di circuiti elettrici

Sistema reale**Caratterizzazione del sistema:**•**Scopo:**

- produrre energia elettrica

•**Processo:**

- Trasforma l'energia potenziale in energia elettrica, perdendone una quantità costante alla fine di ogni ciclo di trasformazione

•**Struttura:** elementi costituenti il sistema:

- Condensatore di capacità C (*propensione ad opporsi all'azione di trasformazione*)
- Induttore di induttanza L (*propensione a convertire l'azione di trasformazione*)
- Resistore con resistenza R (*propensione ad esaurire l'azione di trasformazione*)
- Generatore di corrente $u(t)$ (*propensione alla trasformazione*)

Proprietà del sistema

- Tipo di dinamica temporale: continuo**

- Grado di determinazione: determinato**

- Osservabilità: osservabile**

²⁰ Tratta da P. Valigi, *ivi* pag. 5

**Modello matematico****Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)**

- Raccolta dati sperimentali → Leggi della fisica
- Legge che descrive la distribuzione della corrente elettrica, basata sull'equilibrio delle tensioni:

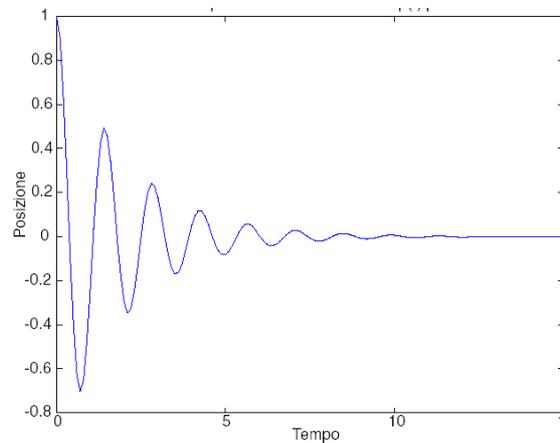
$$- u(t) = i_R(t) + i_L(t) + i_C(t) = \frac{V(t)}{R} + i_L(t) + C\dot{V}(t)$$

$$\Rightarrow \dot{u}(t) = C\ddot{V}(t) + \frac{1}{R}\dot{V}(t) + \frac{1}{L}V(t) \text{ (equazione differenziale del secondo ordine)}$$

- Legami tra variabili:

$$- V(t) = L\dot{i}_L(t)$$

$$- i_C(t) = C\dot{V}(t)$$



Riposta libera nella variabile $x_1(t)$, con smorzamento positivo

Ipotesi esemplificative:

- Condensatore ideale → capace di immagazzinare la totalità della corrente prodotta dal generatore
- Induttore ideale → proporzionalità tra azione e trasformazione
- Resistore costante → proporzionalità tra trasformazione ed esaurimento

Identificazione delle variabili e dei parametri:**•Variabili di stato:**

- Tensione ai capi della resistenza: $V(t) = x_1$
- Corrente nell'induttore: $i_L(t) = x_2$

•Variabili di ingresso

- Corrente del generatore: $u(t)$

•Variabili di uscita

- Tensione ai capi della resistenza: $V(t) = x_1$

•Parametri:

- C = costante di proporzionalità che lega la corrente del condensatore alla tensione.
- R = costante di proporzionalità che lega la corrente nel resistore alla tensione
- L = costante di proporzionalità che lega la corrente nell'induttore alla tensione

**Modello dinamico nello spazio di stato**

La legge che descrive la distribuzione della corrente elettrica è un'equazione differenziale del secondo ordine linearizzata attraverso una funzione di trasferimento (trasformata di Laplace). Questo artificio, consente di spostare la funzione in un dominio diverso da quello temporale e di trovare delle soluzioni che, attraverso l'operazione inversa, forniscono i valori cercati.

In questo caso il modello dinamico non è riferito direttamente alla variabili di interesse, ma a quelle della sua trasformata.

- Sistema di equazioni differenziali lineari

$$\begin{aligned} - \dot{z}_1 &= z_2 \\ - \dot{z}_2 &= -\frac{1}{LC} z_1 - \frac{1}{RC} z_2 + u(t) \\ - y &= \frac{1}{C} z_2 \end{aligned}$$

- forma matriciale:

$$- F = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}, g = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, h = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{C} \end{bmatrix}$$

Da cui è possibile dedurre il comportamento della variabile di interesse, detta funzione di uscita, nella forma:

$$\begin{aligned} - \dot{z} &= Fz + gu \\ - y &= hz \end{aligned}$$

dove y rappresenta la variabile di uscita.

In questo caso il significato fisico delle variabili di stato non è immediato ma il modello è strutturalmente identico a quello dell'oscillatore smorzato. Per ottenere un modello dal significato fisico più immediato, è possibile introdurre, in alternativa alla scelta precedente, le variabili di stato precedentemente considerate.

$$\begin{aligned} - x_1(t) &= i_L(t) \\ - x_2(t) &= V(t) \end{aligned}$$

- Sistema di equazioni differenziali lineari

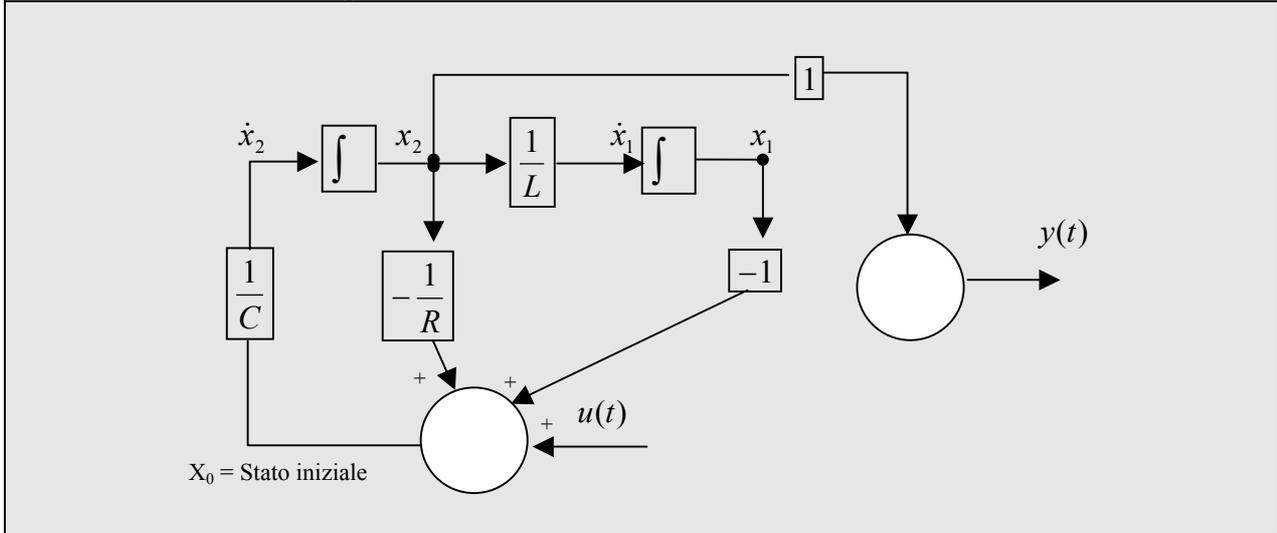
$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{1}{L} x_2 \\ - \dot{x}_2 &= -\frac{1}{C} x_1 - \frac{1}{RC} x_2 + \frac{1}{C} u(t) \\ y &= x_2 \end{aligned}$$

- forma matriciale:

$$- F = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}, g = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{C} \end{bmatrix}, h = [0 \quad 1]$$



Schema a blocchi o diagrammi relazionali





5.4.1.4 Modello di motore in corrente continua

Descrizione generale del modello.**Motore in corrente continua**

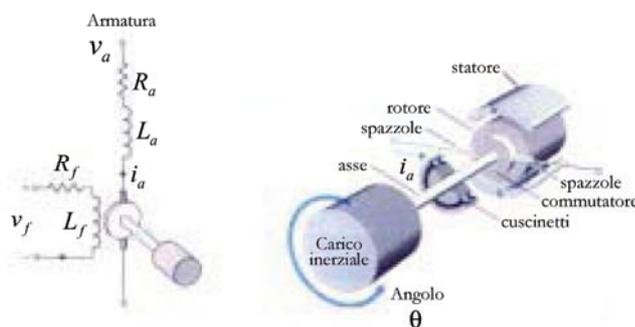
Il modello descrive il comportamento (rotazione dell'asse) di un motore in corrente continua costituito da un circuito (di armatura) e da un rotore, partendo dalle equazioni che descrivono il comportamento della parte elettrica e di quella meccanica.

•**Obiettivo:**

- determinare la posizione del rotore in un dato istante

•**Esempio di applicazioni:**

- motore elettrico in corrente continua

Sistema realeMotore elettrico²¹**Caratterizzazione del sistema:**•**Scopo:**

- generare movimento attivando un meccanismo di rotazione

•**Processo:**

- trasforma energia elettrica in energia meccanica.

•**Struttura:** elementi costituenti il sistema:**Circuito d'armatura**

- Induttore di induttanza L_a (*propensione a convertire l'azione di trasformazione*)
- Resistore con resistenza R_a (*propensione ad esaurire l'azione di trasformazione*)

Sezione meccanica

- Rotore di inerzia J e coefficiente di attrito F .

Proprietà del sistema

- **Tipo di dinamica temporale: continuo**

- **Grado di determinazione: determinato**

- **Osservabilità: osservabile**

²¹ Tratta da Farina L., *Introduzione alla modellistica matematica*, pag.3
<http://www.dis.uniroma1.it/~farina/Didattica/Mdig/intro.pdf>

**Modello matematico****Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)**

- Raccolta dati sperimentali → Leggi della fisica
- Legge che descrive la variazione di tensione nel circuito di armatura basata sull'equilibrio delle tensioni:

$$- L_a \dot{i}_a(t) + R_a i_a(t) + e_c = e_a$$

e_c è la forza contro-elettromotrice

$$- L_a \dot{i}_a(t) + R_a i_a(t) + K_e \omega = e_a$$

- Legge che descrive il movimento della parte meccanica (rotazione) basata sull'equilibrio delle forze:

$$J \dot{\omega}(t) + F \omega(t) + \tau_d = K_m i_a$$

$$- \omega = \dot{\theta}(t)$$

Ipotesi esemplificative:**Identificazione delle variabili e dei parametri:**• **Variabili di stato:**

- Posizione del rotore: $\theta(t) = x_1$
- Velocità del rotore: $\omega(t) = x_2$
- Corrente nel circuito d'armatura: $i_a = x_3$

• **Variabili di ingresso:**

- Tensione di armatura: $e_a = u(t)$

• **Variabili di uscita:**

- Posizione del rotore: $\theta(t) = x_1$

• **Parametri:**

- $f_{22} = F/J$
- $f_{23} = K_m/J$
- $f_{32} = K_e/L_a$
- $f_{33} = R_a/L_a$
- $g_3 = 1/L_a$
- $d = \tau_d$
- $m_2 = 1/J$



Modello dinamico nello spazio di stato

- Sistema di equazioni differenziali lineari

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = -f_{22}x_2 + f_{23}x_3 - m_2d$$

$$\dot{x}_3 = -f_{32}x_2 - f_{33}x_3 + g_3u(t)$$

$$y = x_1$$

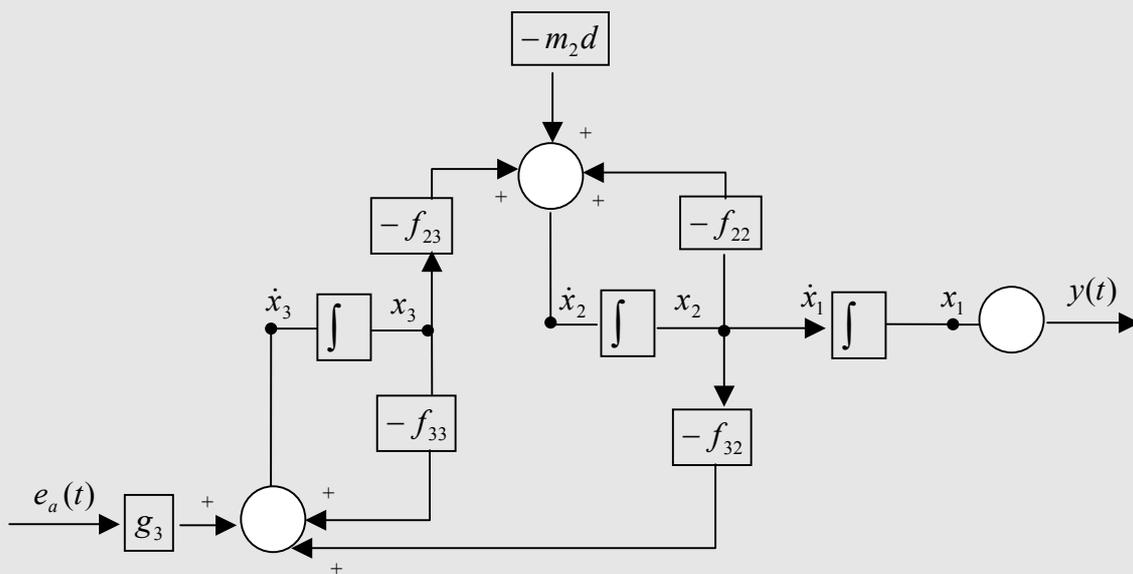
- forma matriciale:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -f_{22} & f_{23} \\ 0 & -f_{32} & -f_{33} \end{bmatrix}, \quad g = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g_3 \end{bmatrix}, \quad m = \begin{bmatrix} 0 \\ -m_2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad h = [1 \ 0 \ 0]$$

$$\dot{x} = Fx + gu + mu$$

$$y = hx$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali





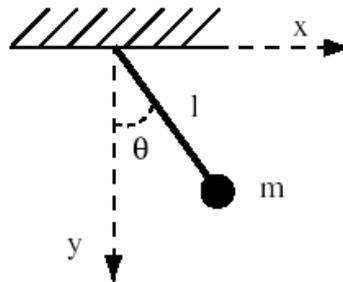
5.4.1.5A Modello di un pendolo ideale

Descrizione generale del modello.**Pendolo ideale.**

Il modello descrive il comportamento di un pendolo ideale, costituito da un braccio rigido di lunghezza l , collegato ad un estremo ad un motore in grado di produrre una coppia $\tau(t)$, e da una massa puntiforme m fissata all'estremo.

• **Obiettivo:**

- determinare la posizione del corpo di massa m in un dato istante

• **Esempio di applicazioni:****Sistema reale****Pendolo verticale**²²**Caratterizzazione del sistema**• **Scopo:**

- produrre un'oscillazione costante del corpo di massa m

• **Processo:**

- Trasforma energia cinetica in energia meccanica attraverso l'applicazione di una coppia esterna $\tau(t)=u(t)$ che risulta proporzionale alla trasformazione se si introduce un modello lineare approssimato

• **Struttura:** elementi costituenti il sistema:

- Corpo di massa m (*propensione ad opporsi all'azione di trasformazione*)
- Braccio rigido di lunghezza l che attraverso la forza di gravità g equilibra l'azione della coppia $u(t)$
- Forza esterna $u(t)$ (*propensione alla trasformazione*)

Proprietà del sistema• **Tipo di dinamica temporale: continuo**• **Grado di determinazione: determinato**• **Osservabilità: osservabile****Modello matematico****Metodologia di identificazione delle relazioni** (tipo di approccio)

- Raccolta dati sperimentali → Leggi della fisica
- Legge che descrive il moto, basata sull'equilibrio delle forze:

$$- \ddot{\theta}(t) = -\frac{g}{l} \sin(\theta(t)) + \frac{1}{ml^2} \tau(t)$$

²² Tratta da P. Valigi, *ivi* pag. 9



- Legami tra variabili:

$$\tau_g = -mgl \sin(\theta(t))$$

$$\tau(t) = ml^2 \ddot{\theta}(t) - \tau_g$$

Ipotesi esemplificative:

- Assenza di attrito
- Braccio indeformabile

Identificazione delle variabili e dei parametri:

•Variabili di stato:

- Posizione della massa definita dall'angolo θ che il braccio forma con l'asse verticale : $\theta(t) = x_1$
- Velocità angolare: $\dot{\theta}(t) = \omega = x_2$

•Variabili di ingresso

- Coppia d'ingresso: $\tau(t) = u(t)$

•Variabili di uscita

- $\theta(t) = x_1$

•Parametri:

- m
- l

Modello dinamico nello spazio di stato

- Sistema di equazioni differenziali non lineari:

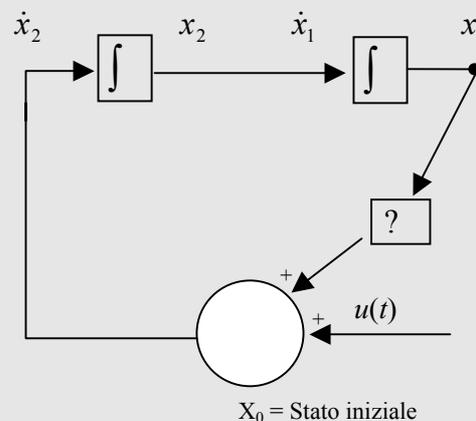
$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{g}{l} \sin(x_1) + \frac{1}{ml^2} u(t)$$

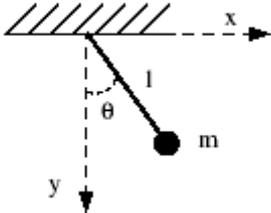
Il modello viene generalmente linearizzato considerando spostamenti infinitesimi, vicini al punto d'equilibrio, per i quali, $\sin(\theta(t)) = \tilde{\theta}(t)$

Il modello non è lineare per cui non può essere scritto in forma matriciale

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



**5.4.1.5B Modello del pendolo ideale con le equazioni di Lagrange**

Descrizione generale del modello.	
Pendolo ideale.	
Il modello descrive il comportamento di un pendolo ideale, costituito da un braccio rigido di lunghezza l , collegato ad un estremo ad un motore in grado di produrre una coppia $\tau(t)$, e da una massa puntiforme m fissata all'estremo.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • determinare la posizione del corpo di massa m in un dato istante • Esempio di applicazioni:
Sistema reale	
 <p style="text-align: center;">Pendolo verticale²³</p>	
Caratterizzazione del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • produrre un'oscillazione costante del corpo di massa m • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • Trasforma energia cinetica in energia meccanica attraverso l'applicazione di una coppia esterna $\tau(t)=u(t)$ che risulta proporzionale alla trasformazione se si introduce un modello lineare approssimato • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Corpo di massa m (<i>propensione ad opporsi all'azione di trasformazione</i>) • Braccio rigido di lunghezza l che attraverso la forza di gravità g equilibra l'azione della coppia $u(t)$ • Forza esterna $u(t)$ (<i>propensione alla trasformazione</i>)
Proprietà del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: continuo • Grado di determinazione: determinato • Osservabilità: osservabile
Modello matematico	
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)	
	<ul style="list-style-type: none"> – Raccolta dati sperimentali → Leggi della fisica – Legge del moto basata sull'equazioni di Lagrange (equilibrio energetico): <ul style="list-style-type: none"> - $ml^2\ddot{\theta} = -mgl \sin(\theta) + \tau$ <p style="text-align: center;"><i>La funzione Lagrangiana è definita da</i></p>

²³ Tratta da P. Valigi, *ivi* pag. 9



$$L(q, \dot{q}) := T(q, \dot{q}) - V(q)$$

$$- \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i$$

- $T(q, \dot{q})$ è l'energia cinetica

- $V(q)$ è l'energia potenziale

- q è il vettore dell'insieme delle grandezze che descrivono la configurazione del corpo.

Nel caso del pendolo $q = \theta$

- Legami tra variabili:

$$- T(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} ml^2 \dot{\theta}^2$$

$$V(q) = mgl \cos \theta$$

Ipotesi esemplificative:

Identificazione delle variabili e dei parametri:

•Variabili di stato:

•Variabili di ingresso

•Variabili di uscita

•Parametri:

Modello dinamico nello spazio di stato

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



5.4.1.6 Modello di magazzino

Descrizione generale del modello.
Magazzino Il modello descrive l'andamento della quantità di merce presente in un magazzino nell'arco temporale di una settimana, in funzione della merce ordinata e di quella venduta
<ul style="list-style-type: none">• Obiettivo:<ul style="list-style-type: none">• Controllare il livello di merce presente in un magazzino in un intervallo di tempo
<ul style="list-style-type: none">• Esempio di applicazioni:<ul style="list-style-type: none">• gestione della merce
Sistema reale
 <p style="text-align: center;">Modello dinamico di magazzino</p>
Caratterizzazione del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Scopo:<ul style="list-style-type: none">• generare flussi di merce in ingresso e in uscita
<ul style="list-style-type: none">• Processo:<ul style="list-style-type: none">• Trasforma la quantità di merce presente in magazzino in un certo intervallo di tempo
<ul style="list-style-type: none">• Struttura: elementi costituenti il sistema:<ul style="list-style-type: none">• Quantità di merce presente in un intervallo di tempo• Flusso di merce in ingresso• Flusso di merce in uscita
Proprietà del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Tipo di dinamica temporale: discreto
<ul style="list-style-type: none">• Grado di determinazione: determinato
<ul style="list-style-type: none">• Osservabilità: osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio) <ul style="list-style-type: none">– Considerazioni logiche → Leggi di bilancio– Legge che descrive il flusso, basata sul bilancio delle quantità::– $y(t+1) = y(t) + u(t-1) - v(t)$
Ipotesi esemplificative:



Identificazione delle variabili e dei parametri:

•Variabili di stato:

- Quantità di merce presente in magazzino all'inizio dell'intervallo di tempo: $y(t) = x_1(t)$
- Quantità di merce ordinata all'inizio dell'intervallo di tempo: $u(t-1) = x_2$

•Variabili di ingresso

- Quantità di merce consegnata nell'intervallo di tempo t : $u(t)$
- Quantità di merce consegnata ai clienti nell'intervallo di tempo t : $v(t)$

•Variabili di uscita

- Quantità di merce presente in magazzino all'inizio dell'intervallo di tempo: $y(t) = x_1(t)$

•Parametri:

Modello dinamico nello spazio di stato

- Sistema di equazioni alle differenze finite del secondo ordine:

$$x_1(t+1) = x_1(t) + x_2(t) - v(t)$$

$$x_2(t+1) = u(t)$$

$$y(t) = x_1(t)$$

- Forma matriciale:

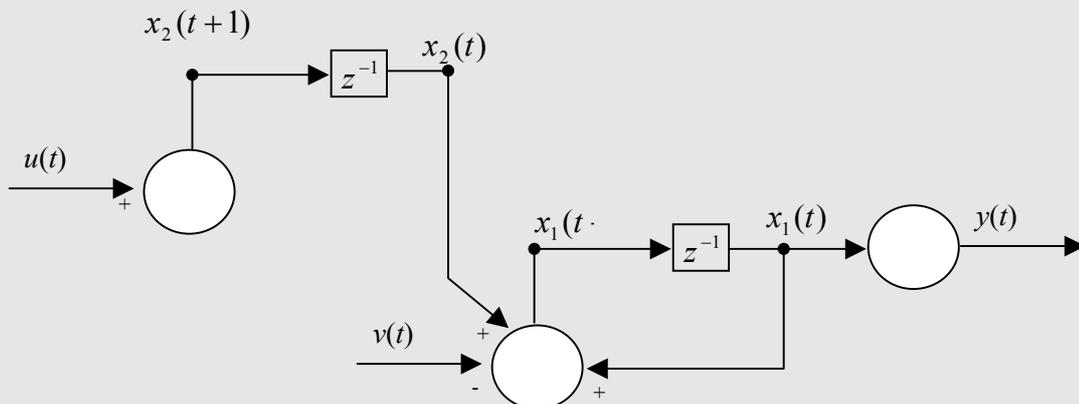
$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = [1 \quad 0]$$

$$x(t+1) = Fx(t) + Gu(t)$$

$$y(t) = Hx(t)$$

dove y rappresenta la variabile di uscita.

Schema a blocchi o diagrammi relazionali





5.4.1.7 Modello dell'algoritmo iterativo per il calcolo della radice quadrata di un numero

Descrizione generale del modello.
Sistema Il modello descrive il processo dinamico di iterazione attraverso cui dato un numero si perviene al valore approssimato della sua radice quadrata.
<ul style="list-style-type: none">• Obiettivo:<ul style="list-style-type: none">• Applicare in modo iterativo una funzione al fine di avvicinarsi progressivamente alla soluzione cercata
<ul style="list-style-type: none">• Esempio di applicazioni:
Sistema reale
<pre>graph LR; A[α] --> B[]; B --> C[√α]</pre>
Caratterizzazione del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Scopo:<ul style="list-style-type: none">• Ottenere il valore approssimato della radice quadrata di un numero
<ul style="list-style-type: none">• Processo:<ul style="list-style-type: none">• Trasforma un numero nella sua radice quadrata
<ul style="list-style-type: none">• Struttura: elementi costituenti il sistema:<ul style="list-style-type: none">• Insieme dei numeri reali
Proprietà del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Tipo di dinamica temporale: continuo
<ul style="list-style-type: none">• Grado di determinazione: determinato
<ul style="list-style-type: none">• Osservabilità: osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio) – Black-box
Ipotesi esemplificative:
Identificazione delle variabili e dei parametri:
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di stato:<ul style="list-style-type: none">• Valore della funzione al tempo t: $x(t+1)$
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di ingresso<ul style="list-style-type: none">• Valore della funzione al tempo t: $x(t)$
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di uscita<ul style="list-style-type: none">• Valore della funzione al tempo t: $x(t+1)$
<ul style="list-style-type: none">• Parametri:

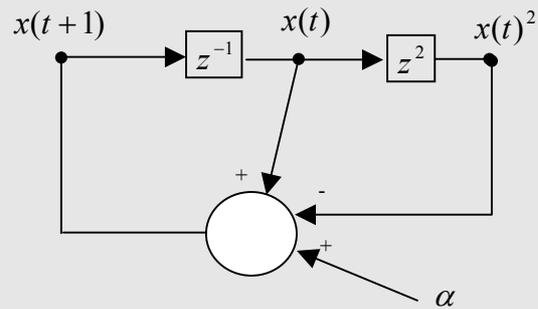


Modello dinamico nello spazio di stato

- Equazione alle differenze finite:

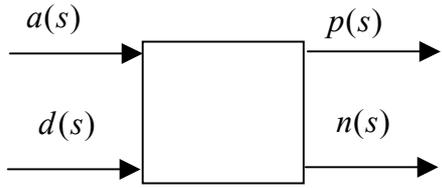
$$x(t+1) = x(t) + \alpha - x(t)^2$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali





5.4.1.8 Modello di un motore a combustione

Descrizione generale del modello.
Motore a combustione
Il modello descrive in modo approssimato il funzionamento di un motore a combustione.
<ul style="list-style-type: none">• Obiettivo:<ul style="list-style-type: none">• determinare il valore di parametri caratteristici.
<ul style="list-style-type: none">• Esempio di applicazioni:
Sistema reale

Caratterizzazione del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Scopo:<ul style="list-style-type: none">•
<ul style="list-style-type: none">• Processo:<ul style="list-style-type: none">•
<ul style="list-style-type: none">• Struttura: elementi costituenti il sistema:<ul style="list-style-type: none">•
Proprietà del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Tipo di dinamica temporale: continuo
<ul style="list-style-type: none">• Grado di determinazione: determinato
<ul style="list-style-type: none">• Osservabilità: non osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio) <ul style="list-style-type: none">• Si costruisce un modello parametrico sulla base di considerazioni fisiche o di misure preliminari e poi si procede all'identificazione dei parametri. <i>Approccio black-box</i>
Ipotesi esemplificative:
Identificazione delle variabili e dei parametri:
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di stato:<ul style="list-style-type: none">• Pressione nel collettore di aspirazione $p(s)$• Velocità del motore $n(s)$
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di ingresso<ul style="list-style-type: none">• Anticipo di accensione: $a(s)$• Apertura della valvola a farfalla $d(s)$
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di uscita<ul style="list-style-type: none">• Pressione nel collettore di aspirazione $p(s)$• Velocità del motore $n(s)$



•**Parametri:**

- I parametri sono definiti immettendo in ingresso al sistema segnali sinusoidali (consentono un controllo migliore) e si misurano le uscite in un intervallo di frequenza ritenuto di interesse. Si procede risolvendo un problema di minimizzazione, calcolando i valori numerici dei parametri che danno luogo allo scarto minimo tra le uscite misurate e quelle ottenute dal modello.

Modello dinamico nello spazio di stato

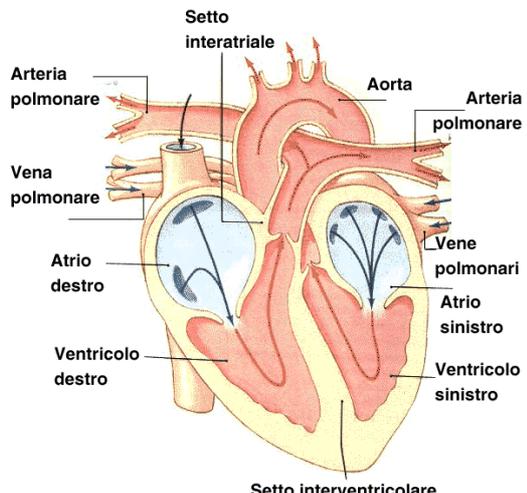
- Equazioni differenziali nella forma di matrice di trasferimento nel dominio di Laplace

$$\begin{bmatrix} p(s) \\ n(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{1,1}(s) & g_{1,2}(s) \\ g_{2,1}(s) & g_{2,2}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a(s) \\ d(s) \end{bmatrix}$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



5.4.1.9 Modello dell'apparato cardio-circolatorio umano

Descrizione generale del modello.	
Apparato cardio-circolatorio	
Il modello descrive la circolazione all'interno del ventricolo sinistro del cuore in funzione del volume e della pressione interna.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • determinare la pressione in ventricolo, la pressione in aorta e il flusso in uscita dal ventricolo
	<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni: <ul style="list-style-type: none"> • Dispositivi di assistenza ventricolare
Sistema reale	
	
Struttura interna di un cuore e vasi principali di collegamento. ²⁴	
Caratterizzazione del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • far fluire nell'aorta una quantità di sangue determinata.
	<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • Il sangue proveniente dalle arterie polmonari riempie l'atrio sinistro, che raggiunto un certo valore di pressione, passa al ventricolo attraverso la valvola mitrale, e da questo all'aorta attraverso la valvola aortica. La pressione è determinata dal volume che si modifica per effetto delle pulsazioni.
	<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Atrio • Ventricolo • Aorta
Proprietà del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: continuo
	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di determinazione: determinato
	<ul style="list-style-type: none"> • Osservabilità: non osservabile

²⁴ Tratta da <http://web.tiscali.it/gabrielsvad/>



Modello matematico

Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)

- Il modello, detto *modello ad elastanza variabile*, si ricava facendo ricorso ad analogie elettriche. Secondo tale modello

$$- P_{LV}(t) = P_{L0} + (V_{LV}(t) - V_{L0})E(t) + R\dot{V}_{LV}(t)$$

Ipotesi esemplificative:

Identificazione delle variabili e dei parametri:

•Variabili di stato:

- Flusso di sangue in aorta Q_L
- Pressione nell'atrio P_1
- Volume del ventricolo V_{LV}

•Variabili di ingresso

- Parametro di traslazione P_{L0}
- Pressione media del ciclo in atrio P_{mc}

•Variabili di uscita

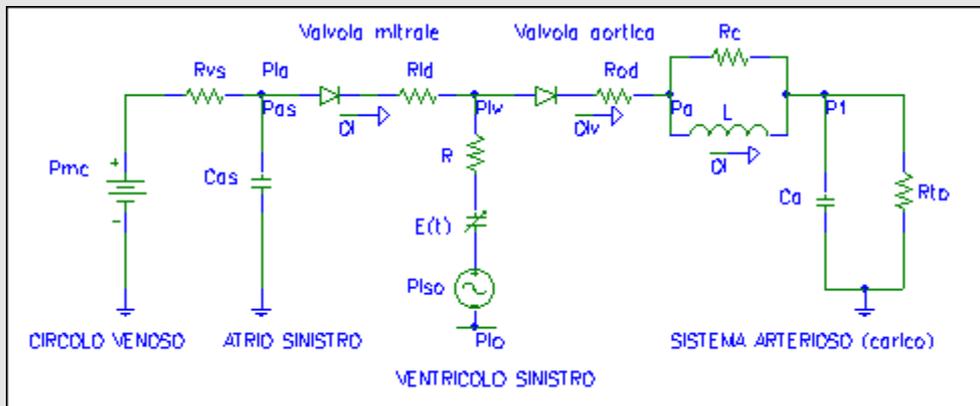
- Pressione in ventricolo P_{LV}
- Pressione in aorta P_{Ao}
- Flusso in uscita dal ventricolo Q_{LV}

•Parametri:

- L_c inertanza del sangue in aorta (induttanza del circuito elettrico)
- C_a complianza arteriosa (capacità del condensatore)

Modello dinamico nello spazio di stato

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



Modello ad elastanza variabile²⁵

²⁵ Tratto da <http://web.tiscali.it/gabrielsvad/>



5.4.1.10 Modello di un sistema preda-predatore

Descrizione generale del modello.
Sistema preda predatore. Il modello descrive il comportamento di un sistema ecologico, con due specie diverse, una specie preda ed un specie predatore. Il sistema può essere descritto da una coppia di equazioni differenziali che danno origine al cosiddetto modello di Volterra-Lotka.
<ul style="list-style-type: none">• Obiettivo:<ul style="list-style-type: none">• studiare l'andamento del numero di individui delle due specie interagenti.
<ul style="list-style-type: none">• Esempio di applicazioni:<ul style="list-style-type: none">• tutela delle specie animali.
Sistema reale
Caratterizzazione del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Scopo:<ul style="list-style-type: none">• mantenere l'equilibrio tra prede e predatori per la sopravvivenza di entrambe le specie
<ul style="list-style-type: none">• Processo:<ul style="list-style-type: none">• La specie preda cresce in funzione delle risorse disponibili e decresce in funzione del numero di predatori.• La specie predatore cresce e decresce in funzione del numero di predatori.
<ul style="list-style-type: none">• Struttura: elementi costituenti il sistema:<ul style="list-style-type: none">• Quantità di prede• Quantità di predatori
Proprietà del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Tipo di dinamica temporale: continuo• Grado di determinazione: determinato• Osservabilità: non osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio) <ul style="list-style-type: none">– Conoscenza qualitativa– Legge:<ul style="list-style-type: none">- in assenza di predatori il livello delle prede cresce con tasso a- in assenza di predatori il livello dei predatori decresce con tasso d,- se sono presenti entrambe le specie, il numero di prede decresce in funzione del numero di incontri preda-predatore,- se sono presenti entrambe le specie, il numero di predatori cresce in funzione del numero di incontri preda-predatore– Legami tra variabili: L'effetto dell'interazione viene assunto analogo al caso di un gas perfetto, nel senso che il numero di "scontri" è proporzionale al numero di incontri possibili tra individui cioè al prodotto $N_1 \cdot N_2$ (teoria degli incontri)²⁶

²⁶ L.Farina, *Lucidi delle lezioni, Corso di fondamenti di automatica*, www.dis.uniroma1.it/~farina/Didattica



Ipotesi esemplificative:

Identificazione delle variabili e dei parametri:

• *Variabili di stato:*

- Numero di prede x_1
- Numero di predatori x_2

• *Variabili di ingresso*

• *Variabili di uscita*

• *Parametri:*

- a tasso di crescita della specie preda determinato dalla quantità di risorse disponibili
- b tasso di predazione procapite dei predatori
- c tasso di crescita procapite dei predatori dovuto alla predazione ($b \neq c$ perché la scomparsa di un preda non comporta la nascita di un predatore)
- d tasso di decrescita dei predatori funzione del numero di prede.

Modello dinamico nello spazio di stato

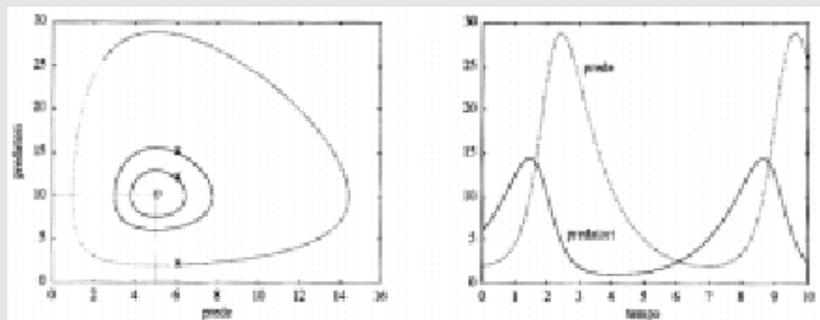
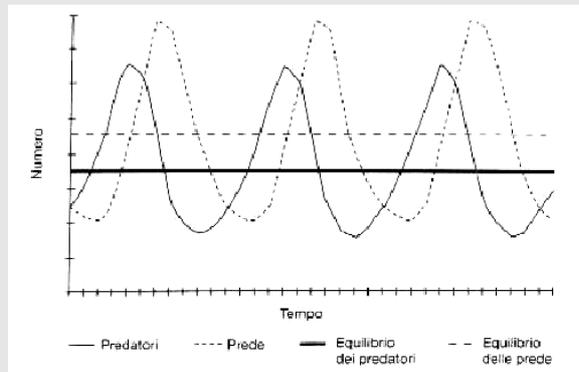
- Sistema di equazioni differenziali non lineari:

$$\dot{x}_1 = ax_1 - bx_1x_2$$

$$\dot{x}_2 = cx_1x_2 - dx_2$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali

Diagrammi delle funzioni²⁷



²⁷ L.Farina, ivi, pag.7.



5.4.1.11 Successione di Fibonacci²⁸

Descrizione generale del modello.
Successione di Fibonacci. Il problema originario fu formulato nel 1202 da Leonardo da Pisa (noto anche con il patronimico Fibonacci) in termini di accrescimento del numero di conigli in un allevamento. La sua ipotesi è che ogni coppia di conigli adulti generi ogni mese una nuova coppia di conigli che, a sua volta, diventa adulta (e quindi può generare) a partire dal secondo mese di vita.
<ul style="list-style-type: none">• Obiettivo:<ul style="list-style-type: none">• determinare il numero di conigli presenti in un allevamento.
<ul style="list-style-type: none">• Esempio di applicazioni:<ul style="list-style-type: none">• Le successioni di Fibonacci sono quelle in cui ogni elemento è la somma dei due elementi che lo precedono nella successione.
Sistema reale
Caratterizzazione del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Scopo:<ul style="list-style-type: none">• riproduzione della specie
<ul style="list-style-type: none">• Processo:<ul style="list-style-type: none">• La riproduzione avviene tra coppie di conigli di almeno 2 mesi di età
<ul style="list-style-type: none">• Struttura: elementi costituenti il sistema:<ul style="list-style-type: none">• Numero di coppie di conigli
Proprietà del sistema
<ul style="list-style-type: none">• Tipo di dinamica temporale: discreto
<ul style="list-style-type: none">• Grado di determinazione: determinato
<ul style="list-style-type: none">• Osservabilità: osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio) – Conoscenza empirica → Leggi di bilancio
Ipotesi esemplificative: – · I conigli sono immortali
Identificazione delle variabili e dei parametri:
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di stato:<ul style="list-style-type: none">• x_n : coppie di conigli presenti al mese n
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di ingresso<ul style="list-style-type: none">• x_{n-1} : coppie di conigli presenti al tempo $n-1$
<ul style="list-style-type: none">• Variabili di uscita<ul style="list-style-type: none">• x_{n+1} : coppie di conigli presenti al tempo $n+1$
<ul style="list-style-type: none">• Parametri:

²⁸ Esempio tratto da Ricci, *Equazioni alle differenze*, Materiale didattico a.a. 2001/02
http://www.math.unifi.it/~ricci/modelli/Modelli_1.pdf



Modello dinamico nello spazio di stato

- Successione definita per ricorrenza (Sistema di equazioni alle differenze)

$$x_{n+1} = x_n + x_{n-1}$$

La soluzione si può ottenere risolvendo l'equazione caratteristica:

$$\lambda^2 - \lambda - 1 = 0$$

che ha soluzioni:

$$\lambda = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2} \quad \text{ossia} \quad x_n = c_1 \left(\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^n + c_2 \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^n$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



5.4.1.12 Modello malthusiano di crescita di una popolazione

Descrizione generale del modello.
Crescita di una popolazione Il modello descrive la dinamica della crescita di una popolazione misurata a scadenza temporale fissata. La crescita è descritta attraverso una sola variabile rappresentativa del numero dei suoi individui. La variazione è data dal bilancio delle nascite e delle morti avvenute durante l'intervallo di tempo fissato. Nel modello malthusiano si assume che i tassi di nascita e di morte siano costanti.
• Obiettivo: <ul style="list-style-type: none">• stabilire la quantità di individui presenti in un dato istante.
• Esempio di applicazioni:
Sistema reale
Caratterizzazione del sistema
• Scopo: <ul style="list-style-type: none">• conservazione della specie
• Processo: <ul style="list-style-type: none">• La conservazione si attua attraverso la riproduzione• La crescita è contrastata dalle morti.
• Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none">• $x(n)$ Numero di individui presenti in un dato istante• $B(n)$ Numero di individui nati• $D(n)$ Numero di individui morti
Proprietà del sistema
• Tipo di dinamica temporale: continuo
• Grado di determinazione: determinato
• Osservabilità: osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio) <ul style="list-style-type: none">– Conoscenza empirica → Leggi di bilancio– Legge:<ul style="list-style-type: none">- Equazione di bilancio: $x(n+1) = x(n) + B(n) - D(n)$– Legami tra variabili:<ul style="list-style-type: none">- Il numero di morti e di nati è proporzionale al numero di individui presenti al tempo n. Il modello malthusiano prevede che d e b siano indipendenti da n. $B(n) = b \cdot x(n)$ $D(n) = d \cdot x(n)$
Ipotesi esemplificative: <ul style="list-style-type: none">– • Il modello è valido per popolazioni poco numerose.



Identificazione delle variabili e dei parametri:

• *Variabili di stato:*

- $x(n)$ Numero di individui presenti in un dato istante

• *Variabili di ingresso*

- $B(n)$ Numero di individui nati
- $D(n)$ Numero di individui morti

• *Variabili di uscita*

- $x(n+1)$ Numero di individui presenti nell'istante successivo

• *Parametri:*

- b = tasso di nascita.
- d = tasso di morte
- $r = b-d$ tasso di crescita

Modello dinamico nello spazio di stato

– Equazione alle differenze:

$$x(n+1) = (1+r) \cdot x(n)$$

La soluzione è data dalla formula

$$x(n) = x(0) \cdot (1+r)^n$$

Il modello è valido per popolazioni poco numerose, in quanto se $r > 0$, ossia le nascite superano le morti, la crescita della popolazione diventa esponenziale allontanandosi rapidamente dalla condizione di popolazione poco numerosa.

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



5.4.1.13 Modello logistico di crescita di una popolazione

Descrizione generale del modello.
Crescita di una popolazione
Il modello descrive la dinamica della crescita di una popolazione misurata a scadenza temporale fissata, considerando che la crescita deve essere sostenuta dall'ambiente in cui avviene (se la popolazione è troppo numerosa, non ci sarà cibo a sufficienza per tutti e il tasso di mortalità aumenta). La crescita è descritta attraverso una sola variabile rappresentativa del numero dei suoi individui. La variazione è data dal bilancio delle nascite e delle morti avvenute durante l'intervallo di tempo fissato. Nel modello logistico si assume che i tassi di nascita e di morte varino in funzione della quantità di individui presenti.
• Obiettivo:
• determinare la quantità di individui presenti in un dato istante.
• Esempio di applicazioni:
Sistema reale
Caratterizzazione del sistema
• Scopo:
• conservazione della specie
• Processo:
• La conservazione si attua attraverso la riproduzione
• La crescita è contrastata dalle morti.
• Struttura: elementi costituenti il sistema:
• $x(n)$ Numero di individui presenti in un dato istante
• $B(n)$ Numero di individui nati
• $D(n)$ Numero di individui morti
Proprietà del sistema
• Tipo di dinamica temporale: continuo
• Grado di determinazione: determinato
• Osservabilità: non osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)
- Conoscenza empirica → Leggi di bilancio
- Legge:
- Equazione di bilancio: $x(n+1) = x(n) + B(n) - D(n)$
- Legami tra variabili:
- Il numero di morti e di nati è proporzionale al numero di individui presenti al tempo n
$B(n) = b(x_n) \cdot x(n)$
$D(n) = d(x_n) \cdot x(n)$

**Ipotesi esemplificative:**

- Il modello malthusiano prevede che d e b siano indipendenti da n

Identificazione delle variabili e dei parametri:• **Variabili di stato:**

- $x(n)$

• **Variabili di ingresso**

- $B(n)$
- $D(n)$

• **Variabili di uscita**

- $x(n+1)$

• **Parametri:**

- $b(x)$ = tasso di nascita.
- $d(x)$ = tasso di morte
- $r(x) = b-d$ tasso di crescita = $r_0 \left(1 - \frac{x(n)}{X}\right)$

r_0 rappresenta la tendenza alla crescita malthusiana della popolazione, quando è poco numerosa

X rappresenta il massimo valore al di sotto del quale la popolazione può crescere.

La popolazione non può sopravvivere per valori superiori a

$\frac{X(1+r_0)}{r_0} = K$ che è detta capacità della popolazione (*carring capacity*)

Modello dinamico nello spazio di stato

- Equazione alle differenze:

$$x(n+1) = \left[1 + r_0 \left(1 - \frac{x(n)}{X}\right)\right] x(n)$$

È possibile riscrivere l'equazione sottolineando il ruolo della *carring capacity*

$$x(n+1) = (1+r_0) \cdot \left(1 - \frac{x(n)}{K}\right) x(n)$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali

**5.4.1.14 Modello di popolazione a struttura d'età (Matrice di Leslie)²⁹**

Descrizione generale del modello.	
Sistema	
Il modello descrive l'andamento nel tempo di una popolazione la cui sopravvivenza e fertilità dipendono dall'età. Gli individui della popolazione sono distinti in base all'età, misurata in multipli del periodo riproduttivo.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • Stabilire il numero di individui di una specie presenti in un dato istante.
	<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni: <ul style="list-style-type: none"> • pesca e ripopolamento in ecosistemi degradati.
Sistema reale	
	<p style="text-align: center;">Classi di età</p> <p style="text-align: right;"><i>Età massima</i></p>
Caratterizzazione del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • conservazione stabile della struttura di età della popolazione (il rapporto tra il numero di individui, presenti nelle varie classi di età, si mantiene stabile)
	<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • Il numero di individui di ciascuna classe varia in base alla riproduzione e all'invecchiamento.
	<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Numero di individui appartenente a ciascuna classe di età
Proprietà del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: discreto
	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di determinazione: determinato
	<ul style="list-style-type: none"> • Osservabilità: non osservabile
Modello matematico	
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)	
	<ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza empirica → Leggi di bilancio - Legge: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Invecchiamento</i> $x_{i+1}(t+1) = s_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n-1$ $s_i \text{ è la probabilità di sopravvivenza relativa all'età } i$ - <i>Riproduzione</i> $x_1(t+1) = s_0(f_1x_1(t) + f_2x_2(t) + \dots + f_nx_n(t))$ $f_i \text{ è il tasso di fecondità relativo all'età } i$

²⁹ On the Use of Matrices in Certain Population Mathematics, Leslie, P.H., Biometrika, Volume XXXIII, November 1945, pp.183-212



Ipotesi esemplificative:

Identificazione delle variabili e dei parametri:

• **Variabili di stato:**

- $x_1(t), \dots, x_n(t)$ Numero di femmine che all'inizio del periodo t hanno età $1, 2, \dots, n$

• **Variabili di ingresso**

- $u_+(t)$ immigrazione, ripopolamento, semina
- $u_-(t)$ emigrazione, caccia, pesca, raccolta

• **Variabili di uscita**

- Popolazione totale $y(t) = (1 \dots 1)x(t)$

• **Parametri:**

- s_i = probabilità di sopravvivenza all'età i .
- f_i = tasso di riproduzione relativo all'età i

Modello dinamico nello spazio di stato

- Equazione vettoriale:

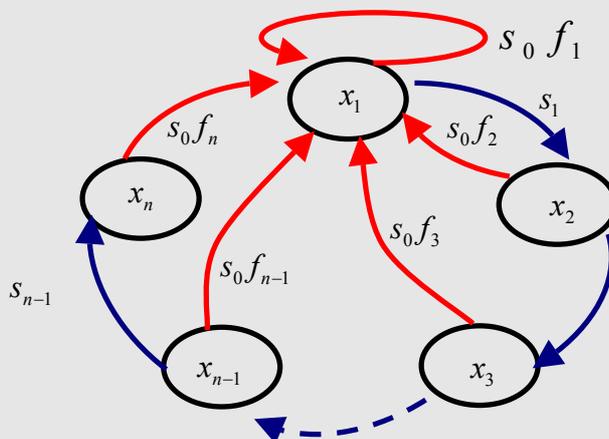
$$x(t+1) = Ax(t) + u(t)$$

- Forma matriciale: Matrice di Leslie

$$\begin{bmatrix} x_{1,t+1} \\ x_{2,t+1} \\ x_{3,t+1} \\ \vdots \\ x_{n,t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 f_1 & s_0 f_2 & \dots & s_0 f_{n-1} & s_0 f_n \\ s_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & s_{n-1} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali

Grafo di influenza del sistema di Leslie



**5.4.1.15 Dinamica del prezzo in condizioni di equilibrio tra domanda e offerta**

Descrizione generale del modello.
Variazione del prezzo di un prodotto.
Il modello descrive la variazione del prezzo di un prefissato bene assumendo, in una formulazione elementare, che nel mercato non siano presenti beni concorrenti
<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • determinare l'andamento del prezzo di un prodotto in funzione della domanda e dell'offerta.
<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni: <ul style="list-style-type: none"> •
Sistema reale
Caratterizzazione del sistema
<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> •
<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • -Il prezzo varia in funzione dell'offerta e della domanda.
<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • -Prezzo del prodotto • -Quantità di beni prodotta • -Quantità di beni richiesta
Proprietà del sistema
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: discreto
<ul style="list-style-type: none"> • Grado di determinazione: determinato
<ul style="list-style-type: none"> • Osservabilità: osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)
<ul style="list-style-type: none"> - Equazioni di bilancio - Legge che descrive la variazione basata sull'ipotesi di equilibrio del mercato:: $p(t+1) = -\frac{b}{a}p(t) + \frac{d_0 - o_0}{a}$ - Legami tra variabili: $d(p) = d_0 - ap$ $o(p) = o_0 + bp \quad a, b > 0 \quad a = \text{bene prodotto}$ $b = \text{bene offerto}$
Ipotesi esemplificative:
<ul style="list-style-type: none"> - Mercato in equilibrio



Identificazione delle variabili e dei parametri:

• *Variabili di stato:*

- $p(t)$ Prezzo del prodotto al tempo t

• *Variabili di ingresso*

-

• *Variabili di uscita*

- $p(t + 1)$ Prezzo del prodotto al tempo $t+1$

• *Parametri:*

- a = bene prodotto.
- b = bene offerto

Modello dinamico nello spazio di stato

- · Equazione alle differenze:

$$- \quad p(t + 1) = -\frac{b}{a} p(t) + \frac{d_0 - o_0}{a}$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



5.4.1.16 Dinamica di un gioco d'azzardo

Descrizione generale del modello.
Probabilità di vincita Il modello stabilisce la probabilità di vincita di un giocatore in funzione della quantità di danaro in suo possesso.
<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • determinare la probabilità di vincita.
<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni:
Sistema reale
Caratterizzazione del sistema
<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • vincere il maggior numero possibile di monete
<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • Il gioco inizia con a monete in possesso di A e b monete in possesso di B e termina quando uno dei due non ha più monete.
<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Numero di monete in possesso del giocatore A • Numero di monete in possesso del banco B
Proprietà del sistema
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: continuo • Grado di determinazione: aleatorio • Osservabilità: osservabile
Modello matematico
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)
<ul style="list-style-type: none"> - Calcolo della probabilità - Legge: <p>La probabilità di vincita $u(k)$ di A è:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $u(k) = pu(k + 1) + qu(k - 1)$ <p>p è la probabilità che A vinca una moneta $q = p-1$ è la probabilità che B vinca una moneta. a = numero di monete di A all'inizio b = numero di monete di B all'inizio</p> <p>Supponiamo ad un certo punto che A abbia k monete e B ne abbia $(a+b-k)$ con le condizioni limite $u(0)=0$ e $u(a+b)=1$</p> <p>Risolvendo si ottiene</p> $u(k) = \frac{1 - \left(\frac{q}{p}\right)^k}{1 - \left(\frac{q}{p}\right)^{a+b}}$ <ul style="list-style-type: none"> - Questa relazione consente di verificare che in presenza di una minore disponibilità finanziaria, la probabilità di vincita è molto minore. Ad esempio se $a=100$, $b=1000$, $p=\frac{18}{37}$, $q=\frac{19}{37}$ si ottiene $u(k)= 3.2910^{-24}$



Ipotesi esemplificative:
Identificazione delle variabili e dei parametri:
• <i>Variabili di stato:</i> •
• <i>Variabili di ingresso</i> •
• <i>Variabili di uscita</i> •
• <i>Parametri:</i> •
Modello dinamico nello spazio di stato
Schema a blocchi o diagrammi relazionali



5.4.2 Modelli di sistemi a variabile discreta

5.4.2.1 Modello determinato di un sistema soggetto a guasti

Descrizione generale del modello.	
Sistema dinamico ad eventi discreti	
Il modello descrive il comportamento (transizione tra due stati) di un dispositivo soggetto a guasti, dipendente da fenomeni determinati.	
In questo caso, lo stato non rappresenta la misura di una grandezza fisica ma indica una situazione nella quale si trova il sistema.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • definire le condizioni che determinano lo stato di guasto e di funzionamento.
	<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni: <ul style="list-style-type: none"> • Studio di sistemi di produzione industriale, sistemi di comunicazione, reti di elaboratori, sistemi di traffico.
Sistema reale	
Caratterizzazione del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • finalità del dispositivo
	<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • Evento g che determina il passaggio da uno stato di funzionamento ad uno stato di guasto. • Evento r che determina il passaggio da uno stato di guasto ad uno stato di funzionamento.
	<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Automa a stati finiti
Proprietà del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: discreto
	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di determinazione: determinato
	<ul style="list-style-type: none"> • Osservabilità: osservabile
Modello matematico	
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)	
– Conoscenza empirica	
Ipotesi esemplificative:	
Identificazione delle variabili e dei parametri:	
	<ul style="list-style-type: none"> • Variabili di stato: <ul style="list-style-type: none"> • Stato dell'automa $\sigma(t)$, con $t \in Z$ e $\sigma(\bullet) \in \{F, G\}$
	<ul style="list-style-type: none"> • Variabili di ingresso <ul style="list-style-type: none"> • Evento g che determina il guasto • Evento r che determina la riparazione

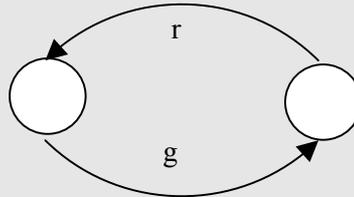


•Variabili di uscita

•Parametri:

Modello dinamico nello spazio di stato

Schema a blocchi o diagrammi relazionali





5.4.2.2 Modello stocastico di un sistema soggetto a guasti

Descrizione generale del modello.	
Sistema dinamico ad eventi discreti	
Il modello descrive il comportamento (probabilità di transizione tra due stati) di un dispositivo soggetto a guasti, dipendente da fenomeni aleatori.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • Studiare il comportamento di un sistema (es. macchina) rispetto ai guasti descrivendo la dinamica della conoscenza dello stato della catena (non la dinamica della catena).
	<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni: <ul style="list-style-type: none"> • sistemi di produzione industriale, sistemi di comunicazione, reti di elaboratori, sistemi di traffico.
Sistema reale	
figura	
Caratterizzazione del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • finalità del dispositivo
	<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • Probabilità di accadimento dell'evento g che determina il passaggio da uno stato di funzionamento ad uno stato di guasto. • Probabilità di accadimento dell'evento r che determina il passaggio da uno stato di guasto ad uno stato di funzionamento.
	<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • -Automa a stati finiti probabilistici
Proprietà del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: discreto
	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di determinazione: aleatorio
	<ul style="list-style-type: none"> • Osservabilità: osservabile
Modello matematico	
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)	
	<ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza probabilistica - Legge: <ul style="list-style-type: none"> - Si stabilisce la probabilità che si verifichino le condizioni in grado di produrre gli eventi. <p>Se i tempi di permanenza in ciascuno stato sono descritti attraverso variabili aleatorie con distribuzione geometrica (esponenziale), l'intero sistema è descrivibile tramite una catena (processo) di Markov.</p> <p>La catena presenta due soli stati F e G per i quali g è il parametro della distribuzione geometrica che descrive la transizione da F a G e r è il parametro della distribuzione geometrica che descrive la transizione da G ad F. Lo stato della catena all'istante t è $\sigma(t)$, con $t \in \mathbb{Z}$ e $\sigma(\cdot) \in \{F, G\}$.</p> <p>Il sistema è markoviano per cui è verificata la condizione:</p> $\text{Prob}\{\sigma(t+1) = \sigma_1 / \sigma_t = \sigma_0, \sigma_{t-1} = \sigma_{-1}, \sigma_{t-2} = \sigma_{-2}, \dots\} = \text{Prob}\{\sigma_1 / \sigma_t = \sigma_0\}$ <p>dove $\sigma_i, i = 1, 0, -1, -2, \dots, \in \{F, G\}$.</p>



- Legami tra variabili:

La probabilità che lo stato dell'automa, all'istante t , sia F o G è espresso dal vettore $\pi(t) = [\pi_F(t) \pi_G(t)]^T, \pi_F(\cdot), \pi_G(\cdot) \in R$

$$\pi_F(t) = \text{Prob} \{ \sigma(t) = F \},$$

$$\pi_G(t) = \text{Prob} \{ \sigma(t) = G \},$$

La catena di Markov è omogenea per cui la probabilità di transizione non dipende dal tempo t

$$- P_{ij} = \text{Prob} \{ \sigma(t+1) = i / \sigma(t) = j \}, \quad \forall t \geq 0$$

Ipotesi esemplificative:**Identificazione delle variabili e dei parametri:**

•Variabili di stato:

- $\pi_F(t) = \text{Prob} \{ \sigma(t) = F \},$
- $\pi_G(t) = \text{Prob} \{ \sigma(t) = G \},$

•Variabili di ingresso

- Probabilità che si verifichi l'evento g che determina il guasto
- Probabilità che si verifichi l'evento r che determina la riparazione

•Variabili di uscita

- $\pi_F(t+1) = \text{Prob} \{ \sigma(t+1) = F \},$
- $\pi_G(t+1) = \text{Prob} \{ \sigma(t+1) = G \},$

•Parametri:

- g : parametro della distribuzione geometrica che descrive la transizione da F a G
- r : parametro della distribuzione geometrica che descrive la transizione da G ad F

Modello dinamico nello spazio di stato

- Sistema di equazioni alle differenze:

$$\pi_F(t+1) = P_{F,F} \pi_F(t) + P_{F,G} \pi_G(t)$$

$$\pi_G(t+1) = P_{G,F} \pi_F(t) + P_{G,G} \pi_G(t)$$

ossia

$$- \pi_F(t+1) = (1-g) \pi_F(t) + r \pi_G(t)$$

$$\pi_G(t+1) = g \pi_F(t) + (1-r) \pi_G(t)$$

$$\pi_F + \pi_G = 1$$

- Forma matriciale:

$$- \pi(t+1) = P \pi(t), \quad P = \begin{bmatrix} 1-g & r \\ g & 1-r \end{bmatrix}$$

La soluzione del sistema di equazioni alle differenze è data da:



$$\pi_F(t) = (1 - r - g)^t \pi_F(0) + \frac{r}{r + g} [1 - (1 - r - g)^t]$$

$$\pi_G(t) = (1 - r - g)^t \pi_G(0) + \frac{g}{r + g} [1 - (1 - r - g)^t]$$

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



5.4.2.3 Macchina per l'assemblaggio automatico (Reti di Petri)

Descrizione generale del modello.	
Macchina per montare cruscotti	
Il modello descrive il comportamento logico di un sistema. In altre parole è utile per stabilire il tipo di transizioni: concorrenti, sincronizzate o in conflitto.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Obiettivo: <ul style="list-style-type: none"> • determinare la possibilità che il sistema si trovi in una situazione di stallo
	<ul style="list-style-type: none"> • Esempio di applicazioni: <ul style="list-style-type: none"> • impianti di produzione
Sistema reale	
Caratterizzazione del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Scopo: <ul style="list-style-type: none"> • prelevare dal magazzino una scocca e montare su di essa un componente
	<ul style="list-style-type: none"> • Processo: <ul style="list-style-type: none"> • La macchina può procedere al montaggio di una nuova parte solo se sono disponibili almeno una scocca e almeno un componente e se la macchina è libera.
	<ul style="list-style-type: none"> • Struttura: elementi costituenti il sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Macchina • Scocche • Componenti
Proprietà del sistema	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo di dinamica temporale: discreto
	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di determinazione: determinato
	<ul style="list-style-type: none"> • Osservabilità: osservabile
Modello matematico³⁰	
Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)	
	<ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza logica del processo
	<pre> graph LR T1[T1] --> P1((P1)) T2[T2] --> P2((P2)) P1 --> T3[T3] P2 --> T3 T3 --> P3((P3)) P3 --> T4[T4] T4 --> P2 </pre>
	<ul style="list-style-type: none"> - Legge <ul style="list-style-type: none"> - T1 può scattare se è presente almeno una scocca in magazzino - T2 può scattare solo se è presente almeno un cruscotto in magazzino - P1 indica la disponibilità di scocche - P2 indica la disponibilità di cruscotti

³⁰ L. Farina, *Corso di Modellistica e simulazione- Materiale didattico*, www.dis.uniroma1.it/~farina/Didattica/Fda/ModelliGest.pdf



- P3 indica la macchina
- P4 indica che la macchina è libera
- T3 può scattare solo se sono disponibili una scocca e un cruscotto e la macchina è libera
- Legami tra variabili:
 - **P**: insieme dei posti ($m = |P| = 4$ $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$) rappresenta gli stati del sistema
 - **T**: insieme delle transizioni ($n = |T| = 4$ $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$) rappresenta l'insieme degli eventi che modificano lo stato del sistema
 - **Pre** (p_i, t_j): $P \times T \rightarrow N$ è la funzione di ingresso alla transizione e rappresenta il numero di token necessari al posto p_i per far scattare la transizione t_j e quindi prelevati dal posto p_i
 - **Post** (p_i, t_j): $P \times T \rightarrow N$ è la funzione di uscita alla transizione e rappresenta il numero di token depositati nel posto p_i quando scatta la transizione t_j
 - $M(p_i)$: $P \rightarrow N$ è un'applicazione detta marcatura del posto p_i rappresentativo del numero di token presenti.

Ipotesi esemplificative:

-

Identificazione delle variabili e dei parametri:

•Variabili di stato:

- Matrice **Pre** (p_i, t_j) $m \times n$ a componenti (p_i, t_j)

•Variabili di ingresso

- Vettore $M(p_i)$

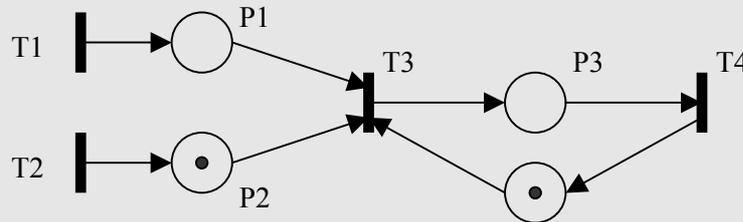
•Variabili di uscita

- Matrice **Post** (p_i, t_j) $m \times n$ a componenti (p_i, t_j)

•Parametri:

Modello dinamico nello spazio di stato

Schema a blocchi o diagrammi relazionali



- T1 può scattare se è presente almeno una scocca in magazzino
- T2 può scattare solo se è presente almeno un cruscotto in magazzino
- P1 indica la disponibilità di scocche
- P2 indica la disponibilità di cruscotti
- P3 indica la macchina
- P4 indica che la macchina è libera
- T3 può scattare solo se sono disponibili una scocca e un cruscotto e la macchina è libera



5.4.2.4 Modello di simulazione della trasformazione dei valori immobiliari di Mestre³¹

Descrizione generale del modello.

Simulazione della trasformazione di valori urbani

La simulazione è un'applicazione di AuReS alla trasformazione dei valori immobiliari della città di Mestre (Venezia). Il modello si costruisce utilizzando un software denominato AUGH (Automa Urbano Generalizzato con Help! in linea), realizzato da Cecchini A., Indovina F e Rinaldi E., con è possibile costruire automi cellulari specializzati nelle tematiche dei valori urbani (immobiliari, di rendita, del degrado, ecc.).

Un *automa cellulare urbano* è un tipo di automa le cui le celle rappresentano porzioni di territorio di una data estensione. Gli stati della cella sono riferite a caratteristiche legate al contesto considerato. Ad esempio: uso del suolo, valore del suolo, ecc.

•**Obiettivo:**

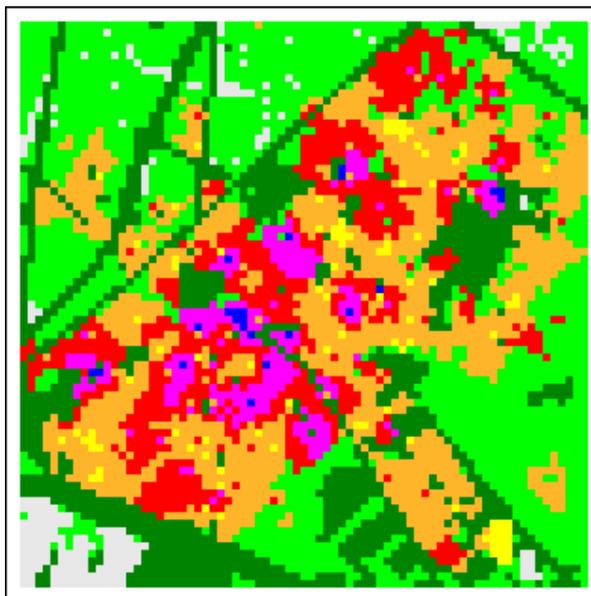
- simulazione di trasformazione di valori urbani

•**Esempio di applicazioni:**

-

Sistema reale

La matrice di celle di un automa cellulare urbano è la rappresentazione "discretizzata" di una città o di una regione



Caratterizzazione del sistema

•**Scopo:**

•**Processo:**

- si basa sull'idea che esistano delle relazioni tra i valori urbani, e che questi valori si distribuiscano nello spazio secondo criteri di "contiguità" (ad es. che valori alti siano in prossimità di valori equivalenti).

•**Struttura:** elementi costituenti il sistema:

- rappresentazione "discretizzata" di una città o di una regione

³¹ Realizzata presso il laboratorio sulla simulazione, STRATEMA dello IUAV, in essere dal 1984 al 1999 quando ha cessato di esistere come struttura autonoma: <http://stratema.sigis.net/n/frameset.htm#top>

**Proprietà del sistema**

- *Tipo di dinamica temporale: discreto*

- *Grado di determinazione: indeterminato*

- *Osservabilità: non osservabile*

Modello matematico**Metodologia di identificazione delle relazioni (tipo di approccio)**

- Osservazione empirica di fenomeni che coinvolgono i processi urbani

- Legge:

- Regole di trasformazione

1	Regole di trasformazione delle celle valore (o regole di appropriazione)	R.1.1.1	Se una zona di un dato valore è circondata da zone di maggior pregio, aumenta di valore.	
		R.1.1.2	Se una zona di un dato valore è circondata da zone di minor pregio, diminuisce di valore.	
		R.1.2.1	In zone degradate anche edifici di pregio tendono a degradarsi	
		R.1.2.2	Edifici degradati posti in prossimità di zone di grande valore, tendono ad essere ristrutturati.	
2	Regole per il controllo della crescita o decrescita del numero delle celle residenza valore	R.2.1.1	Quando le celle di uno stato residenza valore entrano in crisi per “insufficienza numerica” (rispetto al n. iniziale) il loro numero non può più diminuire	
		R.2.1.2	Quando le celle di uno stato residenza valore entrano in crisi per “sovrabbondanza numerica” (rispetto al n. iniziale) il loro numero non può più aumentare	
		R.2.2.1	Se una cella residenza valore non in crisi è circondata da almeno tre celle valore in crisi, allora tale cella assume il valore dello stato in crisi	
		R.2.2.2	Se una cella con un dato valore, in crisi di “sovrabbondanza”, è circondata da almeno tre celle di un valore di uno stato non in crisi, tale cella assume il valore di quello stato	
3	Regole per l' influenza delle celle attrezzatura	R.3.1	Una cella del fondale che diventa attrezzatura a prossimità positiva fa aumentare di due valori le celle residenza dell'intorno di primo livello, e di un valore le celle residenza dell'intorno di secondo livello	
		R.3.2	Una cella del fondale che diventa attrezzatura a prossimità negativa fa diminuire di un valore le celle residenza dell'intorno di primo livello, non influisce sulle celle dell'intorno di secondo livello, fa aumentare di un valore le celle residenza dell'intorno di terzo livello	
4	Regole speciali per:	il risanamento di zone degradate	R.4.1	Agglomerati di celle di valore minimo (1) si trasformano in agglomerati di valore massimo (5)
		l'influenza di nuove edificazioni	R.4.2	Il valore di zone adiacenti a zone in cui vengono costruiti nuovi edifici aumenta.
		il decadimento del valore delle celle	R.4.3	Ad ogni iterazione dell'automa una percentuale del n. delle celle di uno stato diminuisce di valore, come espressione dell'“invecchiamento” del patrimonio edilizio.

Ipotesi esemplificative:

- L'ipotesi è che i valori esprimono la capacità delle aree di appropriarsi di una quota del valore totale degli interventi pubblici e delle trasformazioni indotte dai privati



Identificazione delle variabili e dei parametri:

• *Variabili di stato:*

- Gli stati della cella di AURES sono di cinque tipi:

1.	Celle fondale (campagna)	
2.	Celle residenza	
3.	Celle di zone vincolate (non modificabili)	
4.	Celle residenza con valore	
5.	Celle attrezzatura (interventi urbani)	

- Le celle **residenza valore** sono a loro volta di cinque tipi:

-Valore 1 (il più basso)	
-Valore 2	
-Valore 3	
-Valore 4	
-Valore 5 (il più alto)	

- Le celle **residenza valore** possono entrare in **crisi** per questioni legate ad un sovrannumero o numero insufficiente.

- Le celle **attrezzatura** sono di due tipi:

1.	a prossimità positiva	
	a prossimità negativa	

1. (interventi urbani che avvantaggiano le zone limitrofe ad una data zona: es. un parco, un centro culturale, una scuola, un impianto sportivo, ecc.)
2. interventi urbani svantaggiosi per le zone immediatamente adiacenti ad una data zona, ma vantaggiosi a media distanza (es: stadio, fermata di metropolitana, discoteca, ecc.)

• *Variabili di ingresso*

- Nel corso della simulazione sono inseriti interventi urbani di attrezzature a prossimità positiva e negativa, e interventi di riqualificazione e degrado.

• *Variabili di uscita*

• *Parametri:*

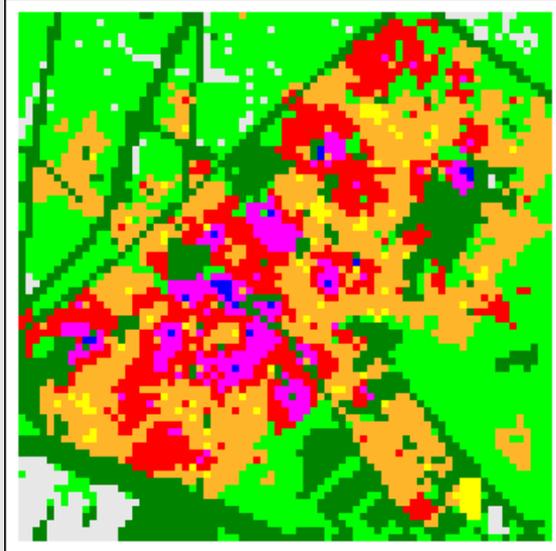
Modello dinamico nello spazio di stato



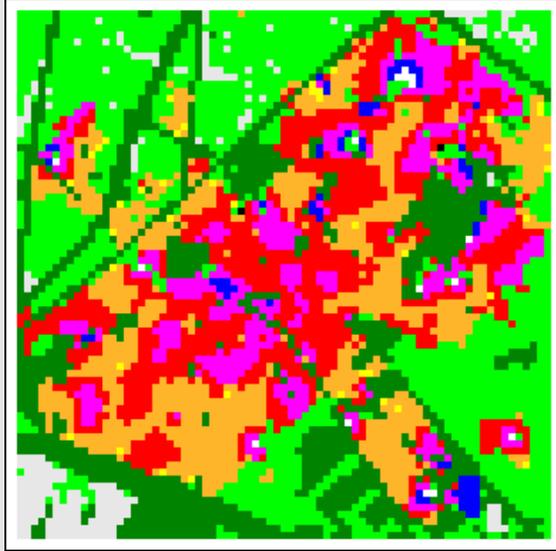
Schema a blocchi o diagrammi relazionali

Risultati della simulazione

SITUAZIONE INIZIALE



SITUAZIONE FINALE



Il risultato della simulazione indica una maggiore omogeneità fra le aree di valore diverso, e la variazione di valore di aree vicine ad interventi urbani o di riqualificazione residenziale.

PARTE III Possibili applicazioni alla previsione e valutazione della durabilità

6. Metodologie proposte dalla normativa per la stima della durabilità

6.1 “Working-life” e indicazioni della Direttiva Prodotti da Costruzione

La Direttiva Europea n°106/89, indicata anche come CPD (Construction Product Directive) stabilisce che i Prodotti da Costruzione, per esibire il marchio CE, devono soddisfare, “per una durata di esercizio economicamente ragionevole”¹, i sei requisiti essenziali:

1. Resistenza Meccanica e stabilità
2. Sicurezza in caso di incendio
3. Igiene, Salute e Ambiente
4. Sicurezza nell’impiego
5. Protezione contro il rumore
6. Risparmio energetico e ritenzione di calore.

Per ottenere il marchio, i prodotti devono essere conformi o alle norme nazionali che recepiscono norme europee armonizzate, i cui estremi sono stati pubblicati nella Gazzetta Ufficiale Europea, o ai benestare tecnici europei rilasciati sulla base di linee guida.

Il compito di elaborare norme armonizzate (hEN) e le guide tecniche per il rilascio del benestare tecnico (ETAG) è affidato per mandato dalla Commissione Europea rispettivamente al CEN (Comité Européen de Normalisation), che agisce attraverso i Comitati Tecnici TC, e all’EOTA (European Organization for Technical Approvals) di cui fanno parte gli AB (Approval Bodies) che valutano l’idoneità tecnica di un prodotto o di una famiglia di prodotti in base ai contenuti dell’ETAG (Guideline for European Technical Approval).

In Italia il benestare tecnico europeo è rilasciato da²:

- Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Trasporti e delle Infrastrutture, relativamente ai prodotti e sistemi per i quali è prioritario il requisito essenziale numero 1 (resistenza meccanica e stabilità);
- Centro Studi ed Esperienze del Ministero degli Interni, relativamente ai prodotti e sistemi per i quali è prioritario il requisito essenziale numero 2 (sicurezza in caso d’incendio);
- Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC-CNR già ICITE), relativamente ai prodotti e sistemi per i quali sono prioritari i rimanenti 4 requisiti essenziali.

I produttori del settore edilizio devono adeguarsi ad una procedura di Certificazione (Attestazione di Conformità) che include la prova di valutazione della durabilità, sia all’inizio della procedura di rilascio (Initial Type Test), sia durante il processo produttivo attraverso il “Piano di controllo della produzione” (Factory Production Control) al fine di garantire il livello di “qualità utile” dichiarato.

Per implementare gli aspetti inerenti la durabilità dei prodotti da costruzione nelle norme europee, la Construction Unit della Commissione Europea, ha pubblicato nel Luglio del 1999 la Guidance Paper F relativa a “Durability and the Construction Products Directive”.

Questo documento ha subito un primo aggiornamento nel Settembre del 2002 ed è attualmente in corso di revisione a partire dal 26 ottobre del 2004³.

¹ 89/106/CEE - Direttiva del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione. Art.3

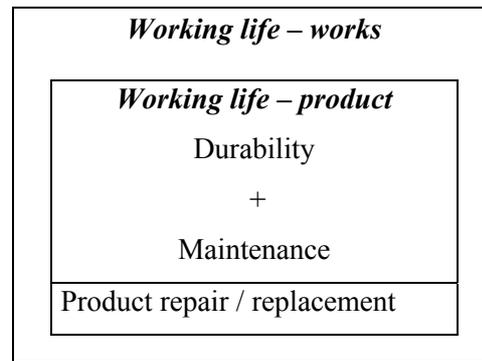
² Quaderni Uncsaal, *La marcatura CE per le facciate strutturali. La guida tecnica EOTA ETAG 002*, www.uncsaal.it.

³ Construction Products Directive - 89/106/EEC- Guidance paper f- Durability and the construction products directive (Revision xxx) CONSTRUCT 04/655, N 156



Nella prima parte la guida fornisce la definizioni dei termini da utilizzare per un'interpretazione omogenea a livello europeo delle procedure e dei metodo di valutazione della durabilità.

Dal documento emerge chiaramente che l'obiettivo principale è di stabilire la "working life"⁴ dei prodotti intesa come il periodo di tempo durante il quale le prestazioni di un prodotto si mantengono ad un livello che consente alle opere, adeguatamente progettate e costruite, di soddisfare i sei requisiti essenziali stabiliti dalla Direttiva Europea. La Working Life di un prodotto dipende dalla sua "*inherent durability*" e "*normal maintenance*" escludendo gli interventi di manutenzione straordinaria.



Il tempo, al quale fa riferimento la normativa (anche se non sempre è chiaramente specificato), deve essere *economically reasonable* ossia deve considerare tutti i costi che derivano dall'uso del prodotto⁵.

La norma distingue tra la working life "assumed" (presunta) e "actual" (reale). Quest'ultima infatti può dipendere da fattori che non possono essere controllati dal produttore e che riguardano la progettazione, l'esposizione, la posa in opera, l'uso e la manutenzione del prodotto. La working life, fornita dal produttore fa riferimento ad un tempo presunto stimato in condizioni "normali", con riferimento alla semplicità e al costo di riparazione o sostituzione del prodotto, ai requisiti di manutenzione e alle condizioni di esposizione.

Al punto 3.3 è definita la "Durability of a product"⁶ come la capacità di un prodotto a mantenere nel tempo le prestazioni richieste sotto l'effetto di "foreseeable actions" (azioni prevedibili) e dipende pertanto dall'uso previsto e dalle condizioni di servizio.

A seconda della complessità tecnologica, la valutazione della durabilità può interessare le caratteristiche funzionali, come nel caso di materiali o semilavorati, o la prestazione complessiva come nel caso del prodotto complesso.

⁴ 3.2. Working life (product) - the period of time during which the performance of a product will be maintained at a level that enables a properly designed and executed works to fulfill the Essential Requirements (i.e. the essential characteristics of a product meet or exceed minimum acceptable values, without incurring major costs for repair or replacement). The working life of a product depends upon its inherent durability and normal maintenance

⁵ 2.3. IDs, (Interpretative Documents) para 1.3.5 – "Economically reasonable working life:

- (1) The working life is the period of time during which the performance of the works will be maintained at a level compatible with the fulfillment of the essential requirements.
- (2) An economically reasonable working life presumes that all relevant aspects are taken into account, such as: costs of design, construction and use; costs arising from hindrance of use; risks and consequences of failure of the works during its working life and costs of insurance covering these risks; planned partial renewal; costs of inspections, maintenance, care and repair; costs of operation and administration; disposal; environmental aspects."

⁶ 3. Durability of a product - the ability of a product to maintain its required performance over time, under the influence of foreseeable actions. Subject to normal maintenance, a product shall enable a properly designed and executed works to fulfill the Essential Requirements for an economically reasonable period of time (working life of the product). Durability is thus dependent on the intended use of the product and its service condition.



Le *foreseeable actions* riguardano tutti i fattori di degrado che possono incidere sul soddisfacimento dei requisiti essenziali come la temperatura, l'umidità, la presenza di acqua, le radiazioni ultraviolette, l'abrasione, gli attacchi chimici e biologici, la corrosione, cicli di gelo e disgelo, e fatica.

I fattori che incidono sulla durabilità sono classificati in due gruppi:

1. **Exposure conditions**: riguardano le azioni riferite al clima e alla condizione geografica che risultano notevolmente diversificate nel territorio Europeo, pertanto, le specificazioni tecniche dovrebbero puntare a definire un adeguato *range* delle condizioni di esposizione e riferire a queste la stima della durabilità. La definizione di categorie di uso per i prodotti potrebbe costituire una soluzione appropriata.

Esempi dei tipi di esposizione che possono essere considerati sono le variazioni di temperatura (giornaliere, mensili, annuali, condizioni di gelo e disgelo ecc), l'incidenza della radiazione solare, l'umidità, la pioggia, la velocità del vento, ecc (riferiti ad un "normale" uso del prodotto).

2. **Other**: le caratteristiche chimiche e fisiche di un prodotto avranno un'influenza sulla sua durabilità. Per esempio, alcuni tipi di plastica possono essere suscettibili all'azione dei raggi UV, i materiali porosi possono degradarsi per effetto dei cicli di gelo-disgelo, i materiali compositi sono sensibili alle variazioni di temperatura ecc. Questi fattori riferiti ai materiali devono essere considerati nelle specifiche, e tradotti in standard di prestazione che cerchino di comprendere un'ampia serie di materiali diversi.

Le prestazioni del prodotto che devono essere verificate sono indicate nei documenti interpretativi della Direttiva e sono fissate, per ogni famiglia di prodotti, nei mandati della Comunità Europea per la predisposizione delle normative di prodotto.

Le norme Europee, nell'attuazione della Direttiva, devono indicare i metodi di prova che, secondo la Guidance Paper F, possono essere basati sulla misura del decadimento prestazionale (*performance-based methods*) o su una descrizione (*descriptive solutions*), oppure su una combinazione dei due.

La soluzione descrittiva può consistere in una descrizione vera e propria o su misure determinate in base all'esperienza. La norma fornisce come esempio:

- la specificazione dei rivestimenti protettivi
- la composizione e gli spessori degli strati
- le raccomandazioni circa le condizioni di posa in opera
- requisiti specifici di manutenzione.

Questo tipo di soluzione si può adottare nel caso di prodotti consolidati per i quali si dispone di una conoscenza sufficiente a dimostrare la veridicità delle specificazioni per tutte le condizioni climatiche Europee. Nel caso di prodotti innovativi è necessario invece stabilire dei metodi di valutazione della durabilità di tipo sperimentale.

I più comuni tipi di prove utilizzati per la misura del decadimento prestazionale consistono in:

- *Direct testing*
- *Indirect testing*
- *Natural weathering/ ageing tests*
- *Accelerated weathering/ ageing tests*
- *"Torture" tests*

La normativa sottolinea che da un punto di vista tecnico è preferibile fare riferimento a *performance-based methods* attraverso cui esprimere la durabilità in termini di "characteristic X against action Y".

Il paragrafo 9 fornisce degli esempi pratici in rapporto ai vari metodi così per esempio relativamente alle prove dirette, che sottolinea essere preferite, riporta "dopo aver sottoposto il prodotto a 1000 cicli di variazione di temperatura tra 20°C e 80°C la prestazione misurata deve ancora soddisfare i requisiti definiti nelle specificazioni tecniche". In tal modo si stima la "durabilità dell'affidabilità operativa nei confronti delle alte temperature".



La maggiore difficoltà consiste nella richiesta ai normatori di specificare anticipatamente nelle norme di prodotto i valori assunti della Working Life riferita alle famiglie di prodotti.

Il normatore dovrebbe indicare i livelli di Working Life stabiliti sulla base del grado di riparabilità o sostituibilità del prodotto e della durata prevista per le opere facendo riferimento alla tabella 1 contenuta al paragrafo 12 della Guidance Paper F

Table 1: Illustrative assumed working lives of works and products (from EOTA)

Assumed working life of works (years)		Assumed working life of construction products (years)		
Category	Years	Category		
		Repairable or easily replaceable	Less easily repairable or replaceable	Lifetime of works #
Short	10	10 *	10	10
Medium	25	10 *	25	25
Normal	50	10 *	25	50
Long	100	10 *	25	100

* In exceptional and justified cases, e.g. certain repair products, a working life of 3 or 6 years may be envisaged.
Inaccessible or structural elements, or products where replacement is expensive or difficult or where failure would compromise the durability of inaccessible or structural elements.

Nella maggior parte dei casi l'assunzione iniziale di working life è concordata a livello europeo basandosi sulla tabella 2, contenuta nello stesso paragrafo citato, e sulle conoscenze consolidate circa la famiglia di prodotti riferiti alla destinazione d'uso a la situazione normale di mercato della stessa famiglia.

Table 2: Illustrative assumed working lives of works and products (from ISO 15689-1)

Design life of building	Inaccessible or structural component or components where replacement is expensive or difficult (including below ground drainage)	Major replaceable components	Building services
100	100	40	25
60	60	40	25
25	25	25	25
15	15	15	15
10	10	10	10

Ovviamente lo scopo principale della normativa è di valutare la *inherent durability* basandosi su prove di invecchiamento e di documentare gli aspetti relativi alla manutenzione ordinaria, in modo da garantire il ripristino dei livelli prestazionali durante tutto il working life del prodotto.



6.2 U86000053 Progetto di norma sulla “Valutazione della durabilità dei componenti edilizi”

Le prime pubblicazioni sulla durabilità dei componenti edilizi risalgono agli anni '90 e fra queste “ci sono la norma inglese BSI 7543 “*Guide to durability of buildings and building elements, product and components*” (1992) e la traduzione inglese di una guida giapponese: “*The english edition of principal guide for service life planning of buildings*” a cura dell’*Architectural Institute of Japan* (1993)”⁷

A seguito di studi e ricerche di livello internazionale su tali tematiche è stata pubblicata la norma ISO 15686 basata sul lavoro svolto da due gruppi il CIB W80 / RILEM⁸ TC 175-SLM “*Service life methodologies*” che ha pubblicato nel 2003 “*Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Building Materials and Components*” e l’ISO TC59 SC14 “*Design life of buildings*”.

Nel 1999 l’ International Standard Organization (ISO) ha pubblicato la norma ISO 15686 “*Buildings and constructed assets. Service life planning*” divisa in otto parti non tutte pubblicate che trattano:

- ISO 15686-1:2000: *General principles*
- ISO 15686-2:2001: *Service life prediction procedures*
- ISO 15686-3:2002: *Performance audits and reviews*
- ISO/DIS 15686-5 (non ancora pubblicata): *Whole life costing*
- ISO 15686-6:2004: *Procedures for considering environmental impacts*
- ISO/DIS 15686-7 (non ancora pubblicata): *Performance evaluation for feedback of service life data from existing construction works*
- ISO/DIS 15686-8 (non ancora pubblicata): *Reference service life*

Attualmente, con la norma di progetto U86000053, si sta provvedendo alla traduzione e all’adattamento al contesto italiano della seconda parte della ISO 15686.

6.2.1 Valutazione del “Reference Service Life”

La stima della vita utile di riferimento⁹ (RSL), adotta una metodologia abbastanza consolidata, nata in seno al RILEM in collaborazione con il CIB W80 e sviluppata da L.W. Masters e E. Brandt¹⁰.

Questa procedura è contenuta nella norma BSI 7543, già citata, ed è stata rielaborata e modificata dalla norma ISO 15686-2.

In generale, per valutare la vita utile di riferimento di un edificio o di una sua parte, è possibile adottare tre diverse procedure¹¹:

- a) utilizzare la conoscenza acquisita, in base all’esperienza, su edifici in condizioni analoghe e con destinazioni d’uso simili o nelle stesse condizione climatiche.
- b) misurare la percentuale di deterioramento naturale in un breve periodo d’uso o di esposizione e stimare, partendo da questo dato, quando il prestazionale inferiore inaccettabile sarà raggiunto.

⁷ Re Lecconi, F., La determinazione della vita utile di un componente in Maggi P.N. (a cura di), op. cit. pag. 115.

⁸ Acronimo francese per “*Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux*”

⁹ U86000053-1 *Progetto di norma sulla “Valutazione della durabilità di componenti edilizi. Parte prima: La durabilità dei componenti edilizi. terminologia e definizione dei parametri di valutazione”*, versione del 09/05/2002

– *Vita utile* (Service life): Periodo di tempo dopo l’installazione durante il quale l’edificio o le sue parti mantengono livelli prestazionali superiori o uguali ai limiti di accettazione.
– *Vita utile di riferimento* (Reference service life): Vita utile dell’edificio o delle sue parti prevista in definite condizioni d’uso di riferimento.

¹⁰ Masters, L.W. and Brandt, E. (eds.), “*Systematic methodology for service life prediction of building materials and components*”, Materials and Structures/Matériaux et Constructions, 22, 1989, pp. 385-392. Also available as: RILEM, “*Systematic Methodology for Service Life Prediction of Building Materials and Components*”, 1989, RILEM Technical Recommendation 64, in Lair J.; Sjöström, C., *Performance Based Building – Some implications on Construction Materials and Components*. Nota 1.

<http://www.pebbu.nl/maincomponents/scientificdomains/domain1/domainresources/downloads/ILCDES.pdf>

¹¹ BSI 7543 “*Guide to durability of buildings and building elements, product and components*” (1992), punto 9.1.

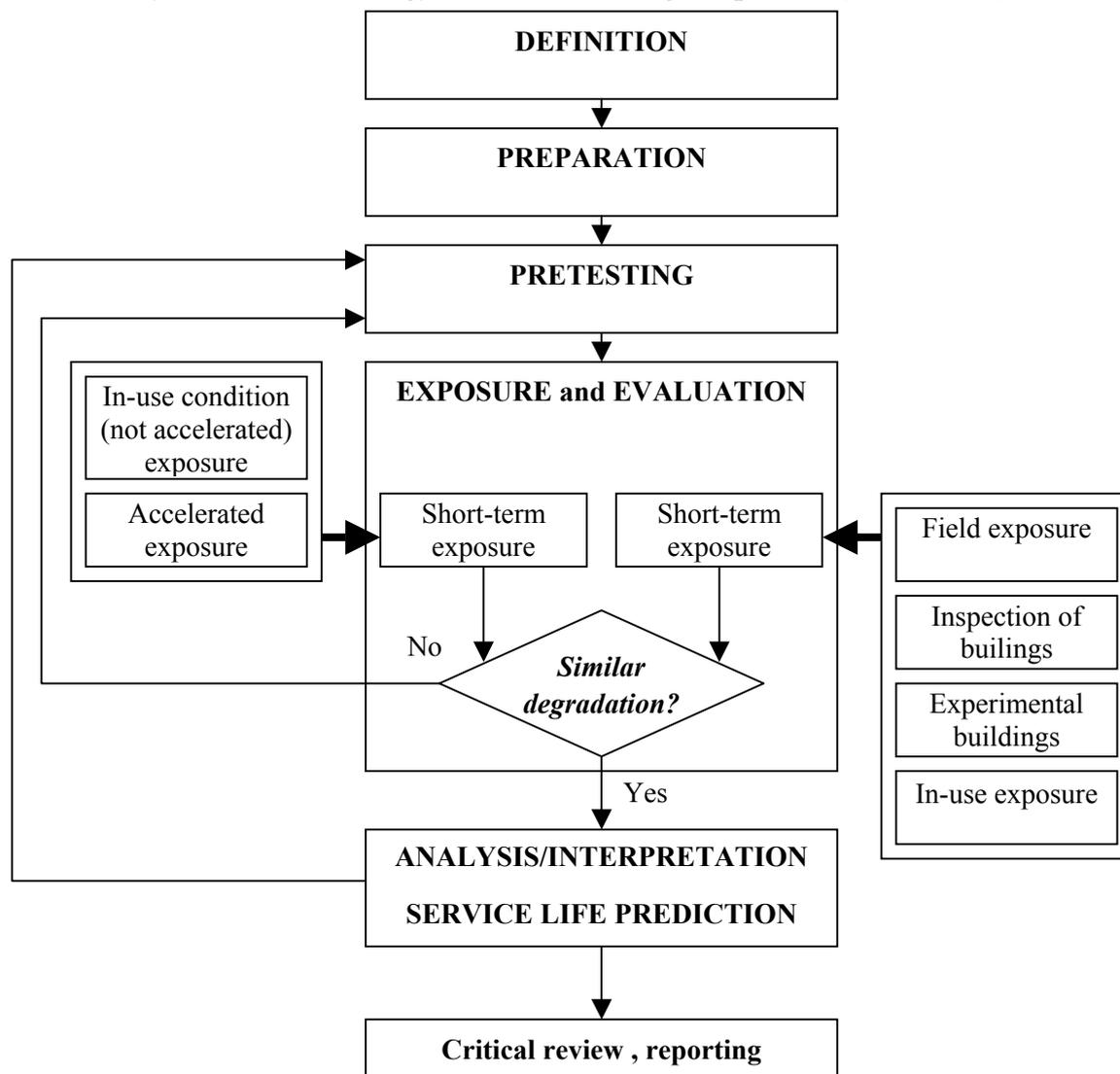


c) calcolare per l'interpolazione le informazioni ricavate da prove accelerate elaborate al fine di ridurre il tempo di risposta all'azione di un agente.

Quella proposta da Masters e Brandt, nota con l'acronimo SLP (*Service Life Prediction*), nasce dalla combinazione delle procedure b) e c) e rappresenta una metodologia generica particolarmente adatta per valutare la durata di un componente in condizioni tipiche di utilizzo completa dell'analisi sulla sensibilità alle variazioni di intensità degli agenti di degrado.

La norma ISO 15686-2 estende e modifica tale procedura e prevede i seguenti momenti essenziali¹²:

Systematic methodology for SLP of building components (ISO 15686-2)

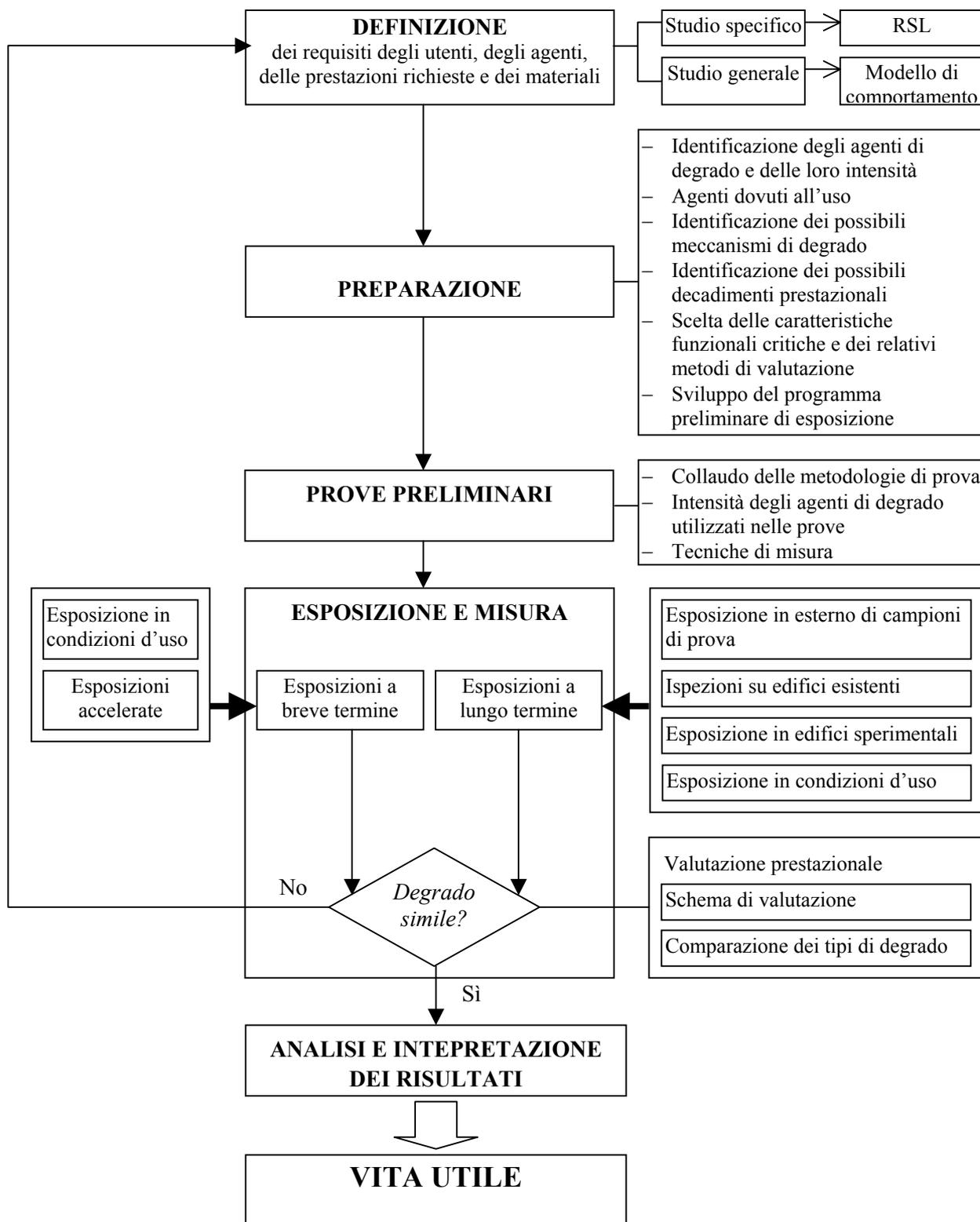


¹² U86000053-3 Progetto di norma sulla "Valutazione della durabilità di componenti edilizi. Parte terza: Metodologia per la valutazione della durata (vita utile), versione del 27/05/2003, paragrafo 4. Metodologia.



Nella versione italiana la metodologia è stata lievemente modificata.

Metodologia per la previsione della vita utile di un componente (U86000053-3 del 27/05/03)





6.2.2 Valutazione del “Estimated Service Life”

La maggior parte degli studi sulla durabilità sono attualmente concentrati sulla determinazione della *vita utile stimata*¹³. Il lavoro maggiormente rappresentativo in tal senso è tuttora svolto dal CIB che mira alla determinazione della vita utile in opera (*Estimated Service Life*) partendo dalla vita utile di riferimento. Il lavoro è condotto seguendo cinque filoni paralleli che si differenziano per il grado di complessità del metodo (gli ultimi due sono in fase di studio per il triennio 2003-05)¹⁴.

- **Probabilistic methods**¹⁵: si tratta di metodi che si basano sull'analisi statistica del contesto sollecitante (agenti) e del comportamento dei materiali. Per la loro natura statistica necessitano di molti dati e richiedono un notevole impiego di risorse.
- **Engineering approach**¹⁶: sono metodi caratterizzati da un grado di complessità paragonabile a quello dell'attività progettuale. A questa categoria appartiene il “metodo dei limiti prestazionali” messo a punto dal DISET presso il Politecnico di Milano
- **Factor method**¹⁷: è un metodo molto semplice (promosso dall'*Architectural Institute of Japan*)¹⁸ che consente di determinare la vita utile in opera correggendo la vita utile di riferimento con dei fattori moltiplicativi (generalmente compresi tra 0,8 e 1,2) che tengono conto delle particolari condizioni in cui il componente è utilizzato.
- **Failure mode effects analysis**¹⁹: si tratta di un metodo ampiamente consolidato in ambito industriale ed è stato proposto, al fine di valutare la vita utile in opera, da J.Lair e J.F. Le Teno. Il metodo si basa sulla definizione di tre elementi: 1) la FMEA, 2) un insieme di dati classificati, 3) la verifica dei dati attraverso l'evidence theory. Può essere utilizzato per quantificare la misura di un evento quando la probabilità di accadimento è ignota. Il principio su cui si basa è che un set di “funzioni stimate” possa essere associato ad un corrispondente set di dati sulla vita di servizio di un determinato prodotto o sistema accompagnato dal grado di certezza per il set di dati. Combinando i dati provenienti da set diversi si migliora il grado di certezza e attraverso la loro somma si arriva ad una misura della vita di servizio di quel prodotto. Il concetto è illustrato nella figura che segue.

¹³ U86000053-1, op. cit., *Vita utile stimata (Estimated Service Life)*: Vita utile, dell'edificio o delle sue parti, prevista in definite condizioni d'uso, calcolata correggendo le condizioni di riferimento in funzione di materiali, progetto, ambiente, condizioni d'uso e manutenzione.

¹⁴ Lacasse, M.A.; Sjoström, C., *Recent advances in methods for service life prediction of building materials and components – an overview*, NRCC-47030, Proceedings of the CIB World Building Congress, Toronto, Ontario, May 2, 2004, pag. 7.

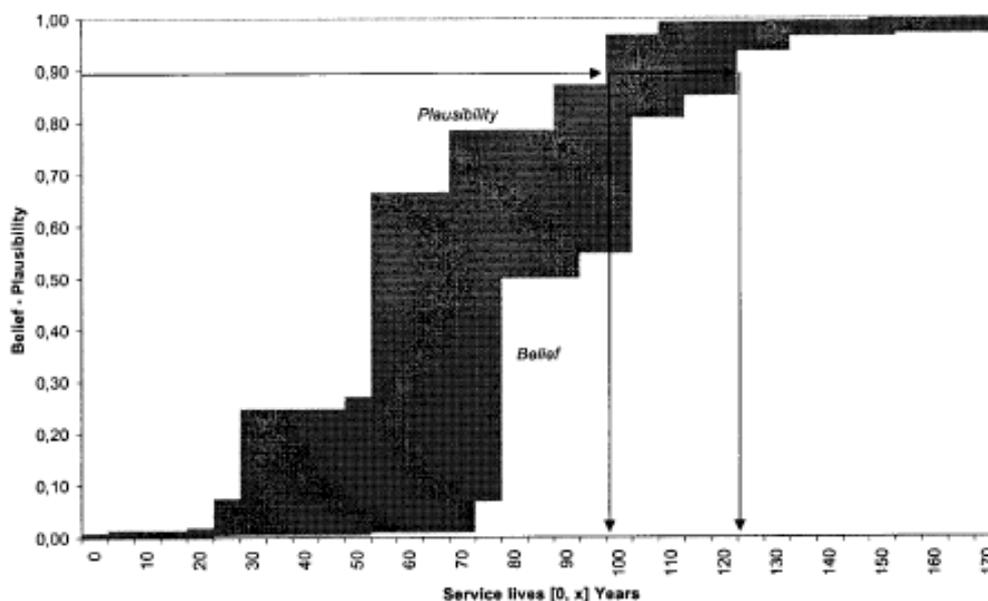
¹⁵ Siemes, T. (2003), Task Group '*Probabilistic methods*': *Performance-based Methods of Service Life Prediction: State of the Art* – Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM, TNO, Building and Construction Research, Delft, The Netherlands.

¹⁶ Moser, K. (2003) Task Group '*Engineering Design*': *Performance-based Methods of Service Life Prediction: State of the Art* – Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM, EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research

¹⁷ Hovde, P.J. (2003) *Factor methods for service life prediction – A state of the art* – Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Dept. of Building and Construction Engineering, Trondheim, Norway.

¹⁸ Lacasse, M.A.; Sjoström, C., *ivi*, pag 4

¹⁹ Lacasse, M.A.; Sjoström, C., *ibidem*, pag. 8.



Service life *plausibility-belief* mapping [Lair and Le Teno 1999]

- **Reference Service Life data²⁰**: ha gli stessi presupposti del metodo fattoriale del quale cerca di ridurre il grado di empirismo introducendo dei calcoli matematici per determinare il valore dei coefficienti moltiplicativi.

6.2.2.a ISO 15686-8 Metodo fattoriale

Con il metodo fattoriale, l'unico previsto nella ISO, si perviene Vita utile stimata (ESL) correggendo il valore della Vita Utile di Riferimento (RSL) attraverso dei fattori moltiplicativi. Una lista indicativa dei fattori è riportata in una tabella contenuta nella stessa norma.

$$ESL = RSL * A * B * C * D * E * F * G$$

AGENTI	ESEMPI DI CONDIZIONI RILEVANTI		
Agenti legati alla qualità intrinseca del componente	A	Quality of components.	Fabbricazione, stoccaggio, trasporto, ...
	B	Design level	Protezioni da altre parti dell'edificio,
	C	Work execution level	Qualità della manodopera, condizioni climatiche durante l'installazione
Ambiente	D	Indoor environment	Aggressività dell'ambiente, ventilazione, condensazione,
	E	Outdoor environment	Altezza dell'edificio, micro-ambiente
Utilizzo	F	Usage conditions	Impatti meccanici, tipologia di utenza, ...
	G	Maintenance level	Qualità e frequenza della manutenzione, accessibilità, ...

Tabella 2. Fattori moltiplicativi per l'applicazione del metodo fattoriale

Esempio di applicazione del metodo fattoriale²¹.

L'esempio e si propone di stimare la vita utile di riferimento di un serramento in legno d'abeto. I fattori che influenzano maggiormente l'invecchiamento del componente sono da un lato la qualità del legno ed il suo trattamento, dall'altro la manutenzione cui il componente è soggetto.

²⁰ Lacasse, M.A.; Sjostrom, op. cit. pag. 9.

²¹ U86000053-3, op. cit.



La vita utile di riferimento di un componente non strutturale e facilmente accessibile come un serramento può essere, ad esempio, di 25 anni. I fattori assumono i seguenti valori:

- Qualità del componente: legno poco resistente ma trattato in fabbrica con due strati di rivestimento protettivo a base di solvente: 1.2;
- Qualità di progettazione: buona, spigoli arrotondati, soglia in pendenza, installato verso l'interno: 1.2;
- Qualità di esecuzione: nessuna lavorazione in situ, verniciature e montaggio del vetro in fabbrica: 1.2;
- Ambiente interno: non aggressivo, basso rischio di condensazione: 1;
- Ambiente esterno: protetto da vento e pioggia: 1.2;
- Condizioni d'uso: occasionalmente accessibile dai bambini: 1;
- Livello di manutenzione: riverniciatura ogni 3 / 4 anni: 1; si ottiene:

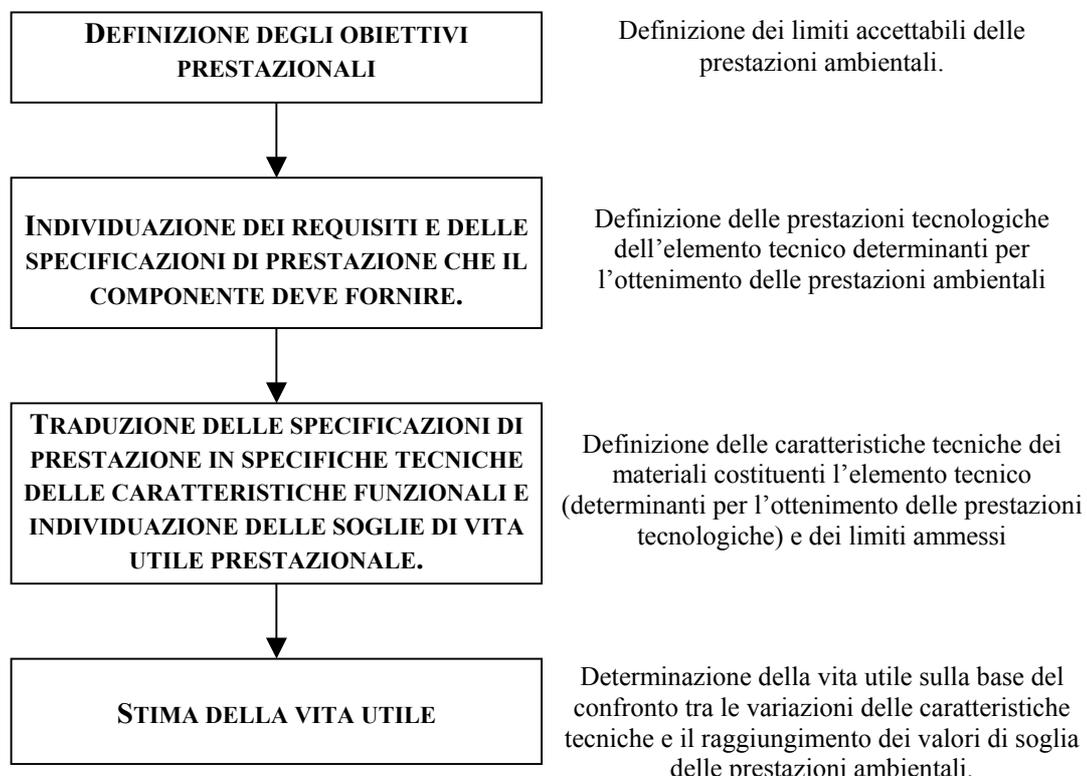
$$ESL = 25 * 1.2 * 1.2 * 1.2 * 1 * 1.2 * 1 * 1 = 51.84 \sim 50 \text{ anni.}$$

6.2.2.b Metodo dei limiti prestazionali

Il metodo, sviluppato da Fulvio Re Cecconi presso il Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi Territoriali (DISET) del Politecnico di Milano, è riportato attualmente nell'allegato B della U86000053-3 versione del 20/03/03 (molto sintetizzato in un documento del 18/09/03) e presuppone "L'analisi funzionale degli elementi tecnici" illustrata nell'allegato A della stessa norma.

L'obiettivo della metodologia è di stimare la vita utile di un componente attraverso il controllo nel tempo delle trasformazioni delle caratteristiche funzionali dei materiali, relazionate al valore delle prestazioni ambientali che l'elemento tecnico contribuisce a realizzare.

Metodologia dei limiti prestazionali (allegato B U86000053-3 del 15/09/03)²²



²² Le descrizioni alla destra dei blocchi rappresentano una personale interpretazione.



Il DISET ha sperimentato il proprio metodo attraverso un'applicazione pilota che ha interessato la classe di elementi tecnici "pareti perimetrali verticali non portanti" per le quali sono stati definiti i requisiti connotanti e le rispettive funzioni. Dall'analisi delle funzioni è stato possibile risalire alle caratteristiche funzionali (caratteristiche tecniche) dei materiali attraverso cui gli elementi tecnici forniscono le prestazioni tecnologiche.

Per la stima della vita utile si è scelto di utilizzare una soluzione tecnica, molto diffusa, costituita da un doppio paramento in laterizi forati (muro a cassetta) che costituisce la chiusura di una stanza campione, situata a Milano, all'interno della quale sono state misurate le prestazioni ambientali.

Per la classe di elementi tecnici prescelta sono stati individuati i requisiti connotanti e le relative funzioni "di base" e "analitiche", queste ultime poi tradotte in caratteristiche funzionali.

TABELLA A.1²³

Requisiti tecnologici connotanti e corrispondenti funzioni base per la classe pareti perimetrali verticali non portanti	
REQUISITI TECNOLOGICI CONNOTANTI	FUNZIONI BASE
Controllo della condensazione interstiziale	F1 Controllare la condensazione interstiziale
Controllo della condensazione superficiale	F2 Controllare la condensazione superficiale
Controllo dell'inerzia termica estiva	F3 Controllare l'inerzia termica estiva
Controllo dell'inerzia termica invernale	F4 Controllare l'inerzia termica invernale
Isolamento acustico ai rumori aerei	F5 Isolare acusticamente ai rumori aerei
Isolamento termico	F6 Isolare termicamente
Resistenza meccanica ai carichi sospesi	F7 Portare carichi applicati
Tenuta all'acqua	F8 Tenere all'acqua

FIGURA A.1 Funzioni base, funzioni analitiche e loro correlazioni per la classe di elementi tecnici pareti perimetrali verticali non portanti (PV)²⁴

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
fa offrire resistenza ai flussi radiativi di calore		•	•	•		•		
fb offrire resistenza ai flussi convettivi di calore		•	•	•		•		
fc offrire resistenza ai flussi conduttivi di calore	•	•	•	•		•		
fd offrire accumulo di calore			•	•				
fe favorire i flussi convettivi di calore			•					
ff favorire la rievaporazione dell'acqua	•	•						•
fg offrire resistenza alla permeazione del vapor d'acqua	•							
fh offrire permeazione al vapor d'acqua	•							
fi offrire resistenza costante alla permeaz. del vapor d'acqua	•							
fl offrire resistenza costante alla trasmis. di calore	•							
fm opporsi per massa alla trasmissione di onde sonore					•			
fn interrompere la trasmissione per via solida di onde sonore					•			
fo offrire smorzamento visco- elastico in mezzo solido					•			
fp offrire tenuta all'aria					•			
fq offrire assorbimento acustico					•			
fr offrire resistenza meccanica a compressione							•	
fs offrire resistenza meccanica a flessione							•	
ft offrire resistenza al passaggio dell'acqua								•
fu offrire opposizione alla permeazione capillare								•

²³ U86000053-3 versione del 20/03/03, pag. 12²⁴ *ibidem*, pag. 16



Per le funzioni di base ritenute maggiormente significative, sono state individuate le funzioni analitiche e le rispettive caratteristiche funzionali.

	<i>Cod.</i>	<i>Definizione</i>	<i>Significatività condizioni</i>	<i>Attivazione Tipo</i>
F1	fc.1	Offrire resistenza ai flussi conduttivi di calore in posizione finalizzata, cioè all'esterno rispetto alla zona di rischio di condensazione	$r \geq 0,5R$	Continua
	ff.1	Favorire la rievaporazione d'acqua di condensazione interstiziale in posizione finalizzata, cioè in aderenza alla zona di rischio di condensazione	Presenza di aria stratiforme	Eccezionale
	fg.1	Offrire elevata resistenza alla permeazione del vapore d'acqua in posizione finalizzata, cioè verso l'interno rispetto alla zona di rischio di condensazione	$\mu sN \geq 10 \cdot 10^9$	Continua
	fg'.1	Offrire resistenza alla permeazione del vapore d'acqua in posizione finalizzata, cioè verso l'interno rispetto alla zona di rischio di condensazione	$100 \cdot 10^6 < \mu sN < 10 \cdot 10^9$	Continua
	fh.1	Offrire elevata permeazione al vapore d'acqua in posizione finalizzata, cioè verso l'esterno rispetto alla zona di rischio di condensazione	$\mu sN \leq 100 \cdot 10^6$	Continua
	fi.1	Offrire con continuità resistività di valore costante alla permeazione del vapore	$\Delta \mu \leq 0,1 \mu_{med}$	Continua
	fl.1	Offrire con continuità resistività di valore costante al passaggio del calore	$\Delta \lambda \leq 0,1 \lambda_{med}$	Continua
F2	fa.2	Offrire resistenza ai flussi radiativi di calore	$\alpha \leq 0,5$	Discontinua
	fb.2	Offrire resistenza ai flussi convettivi di calore in mezzo aeriforme	Presenza di aria stratiforme con $s \leq 0,08$	Continua
	fc.2	Offrire elevata resistenza ai flussi conduttivi di calore	$r \geq 0,5R$	Continua
	fc'.2	Offrire resistenza ai flussi conduttivi di calore	$0,1R < r < 0,5R$	Continua
	ff.2	Favorire la rievaporazione dell'acqua di condensa superficiale	Porosità aperta sulla superficie	Continua
F3	fa.3	Offrire resistenza ai flussi radiativi di calore	$\alpha \leq 0,5$	Discontinua
	fb.3	Offrire resistenza ai flussi convettivi di calore in mezzo aeriforme	Presenza di aria stratiforme con $s \leq 0,08$	Continua
	fc.3	Offrire elevata resistenza ai flussi conduttivi di calore	$r \geq 0,5R$	Continua
	fc'.3	Offrire resistenza ai flussi conduttivi di calore	$0,1R < r < 0,5R$	Continua
	fd.3	Offrire elevato accumulo di calore in posizione finalizzata, cioè in adiacenza all'ambiente interno	$T_{tc} \geq 0,5 TTC$	Continua
	fd'.3	Offrire elevato accumulo di calore in posizione finalizzata, cioè in adiacenza all'ambiente interno	$0,1 TTC \leq T_{tc} < 0,5 TTC$	Continua
	fe.3	Favorire flussi convettivi di calore in posizione finalizzata, cioè in adiacenza all'ambiente esterno	Presenza di aria stratiforme con $V > 0$	Continua
F4	fa.4	Offrire resistenza ai flussi radiativi di calore	$\alpha \leq 0,5$	Discontinua
	fb.4	Offrire resistenza ai flussi convettivi di calore in mezzo aeriforme	Presenza di aria stratiforme con $s \leq 0,08$	Continua
	fc.4	Offrire elevata resistenza ai flussi conduttivi di calore	$r \geq 0,5R$	Continua
	fc'.4	Offrire resistenza ai flussi conduttivi di calore	$0,1R \leq r < 0,5R$	Continua
	fd.4	Offrire elevato accumulo di calore in posizione finalizzata, cioè in adiacenza all'ambiente interno	$R.C \geq 100(H)$	Continua
	fd'.4	Offrire elevato accumulo di calore in posizione finalizzata, cioè in adiacenza all'ambiente interno	$10(H) < R.C < 100(H)$	Continua
	fa.6	Offrire resistenza ai flussi radiativi di calore	$\alpha \leq 0,5$	Discontinua
F6	fb.6	Offrire resistenza ai flussi convettivi di calore in mezzo aeriforme	Presenza di aria stratiforme con $s \leq 0,08$	Continua
	fc.6	Offrire elevata resistenza ai flussi conduttivi di calore	$r \geq 0,5R$	Continua
	fc'.6	Offrire resistenza ai flussi conduttivi di calore	$0,1R \leq r < 0,5R$	Continua

**Legenda.**

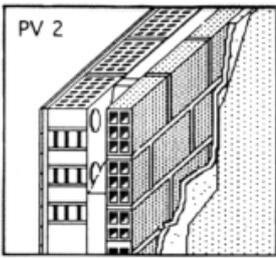
- N (m.s.Pa/Kg) = resistenza al passaggio del vapore d'acqua nell'aria
- r (m²°C/W) = resistenza termica dello strato
- R (m²°C/W) = resistenza termica della soluzione tecnica
- μ (adim.) = resistenza relativa al passaggio del vapore d'acqua
- λ (W/m°C) = conducibilità termica
- s (m) = spessore
- $\Delta\mu = \mu_{\max} - \mu_{\min}$
- $\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$
- α (adim.) = coefficiente di assorbimento della radiazione termica
- V (m/s) = velocità dell'aria
- T_{tc} (h) = costante di tempo termica del singolo strato
- TTC (h) = costante di tempo termica della soluzione tecnica
- c (Wh/m²) = capacità termica dello strato

Data quindi la soluzione tecnica, per ciascun requisito connotante, è possibile stabilire una graduatoria delle caratteristiche funzionali dei materiali maggiormente influenzanti le prestazioni del componente. L'analisi, detta "di sensibilità", è "condotta assegnando una variazione arbitraria e costante a tutte le caratteristiche di tutti gli strati e misurando l'influenza di questa variazione sulla prestazione ambientale calcolata. In questo modo, per ognuno dei quattro requisiti analizzati, si è ottenuta una graduatoria dei parametri che maggiormente influenzano la prestazione ambientale"²⁵.

L'analisi è svolta su tutti i parametri necessari per il calcolo delle prestazioni ambientali e non solo per le caratteristiche dei materiali.

FIGURA A.2

Parete perimetrale verticale non portante "mattoni semipieni e forati" (PV2)

Elemento funzionale	Spessore (m)	
Idropittura a base acrilica		
Intonaco civile	0,015	
Mattoni semipieni	0,120	
Collante sintetico-cementizio	0,050	
Lana di vetro resinata	0,040	
Mattoni forati	0,080	
Intonaco civile	0,015	
Idropittura a base acrilica		

Gli elementi funzionali sono elencati dall'esterno all'interno

La norma riporta a titolo esemplificativo il requisito "Controllo della condensazione interstiziale"²⁶

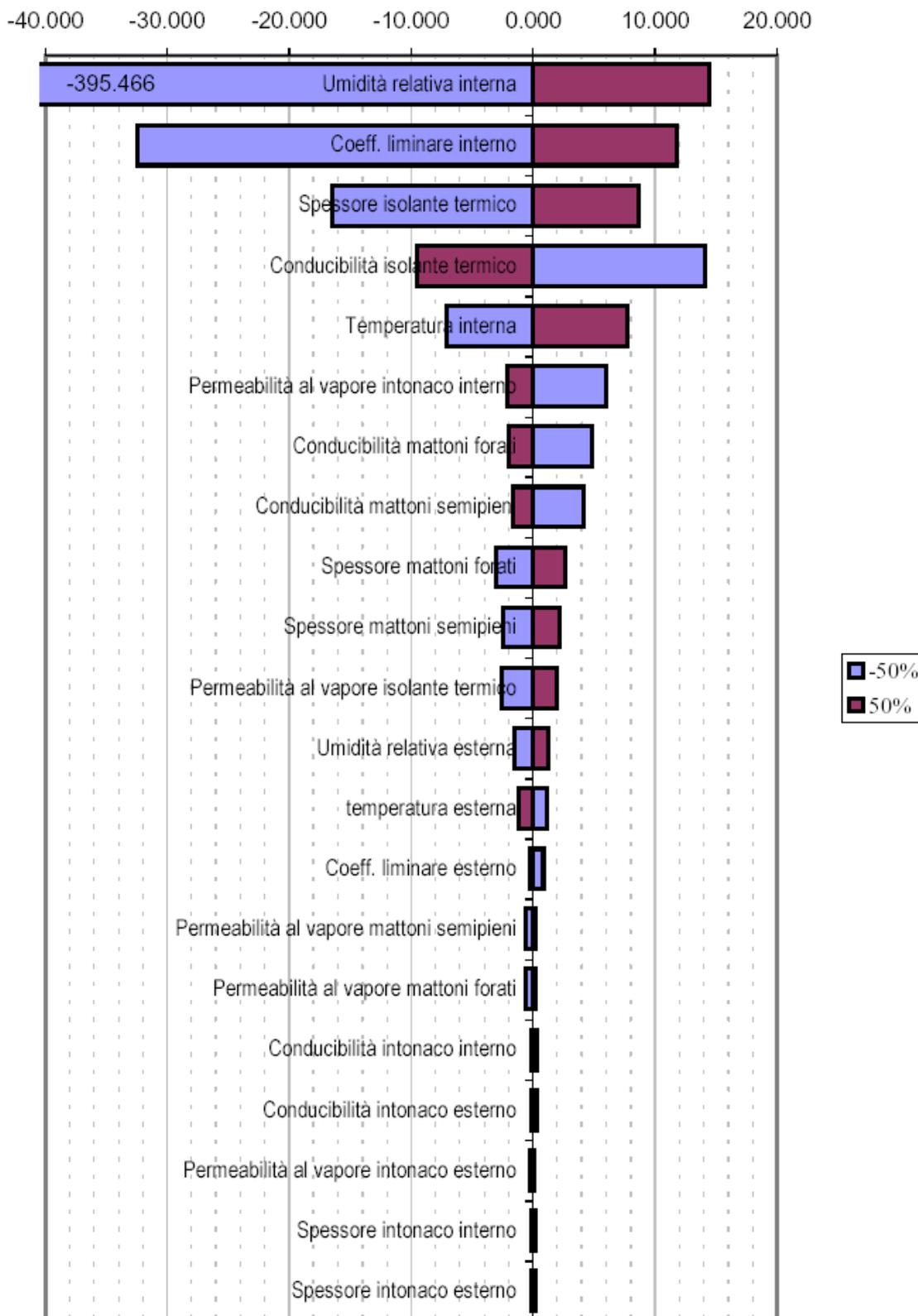
²⁵ *ivi*, pag.25.

²⁶ *ibidem*, pag.27.



FIGURA B.2

Graduatoria delle caratteristiche maggiormente influenzanti la prestazione di controllo della condensazione interstiziale



Dalla lettura del grafico è possibile dedurre che le caratteristiche funzionali che incidono maggiormente sul controllo della condensazione interstiziali sono: la conducibilità, la permeabilità al vapore e lo spessore.



L'analisi è ripetuta per ciascun requisito connotante ed è sintetizzata in una "tabella di sensitività".
Nel caso specifico risulta:

Codice	Requisito	Caratteristiche funzionali
F1	Controllo della condensazione superficiale	Conducibilità, spessore.
F2	Controllo della condensazione interstiziale	Conducibilità, permeabilità al vapore, spessore.
F4	Isolamento termico	Conducibilità, spessore.
F6	Controllo dell'inerzia termica invernale	Conducibilità, capacità termica, calore specifico, spessore.

E la corrispondente tabella di sensitività è:

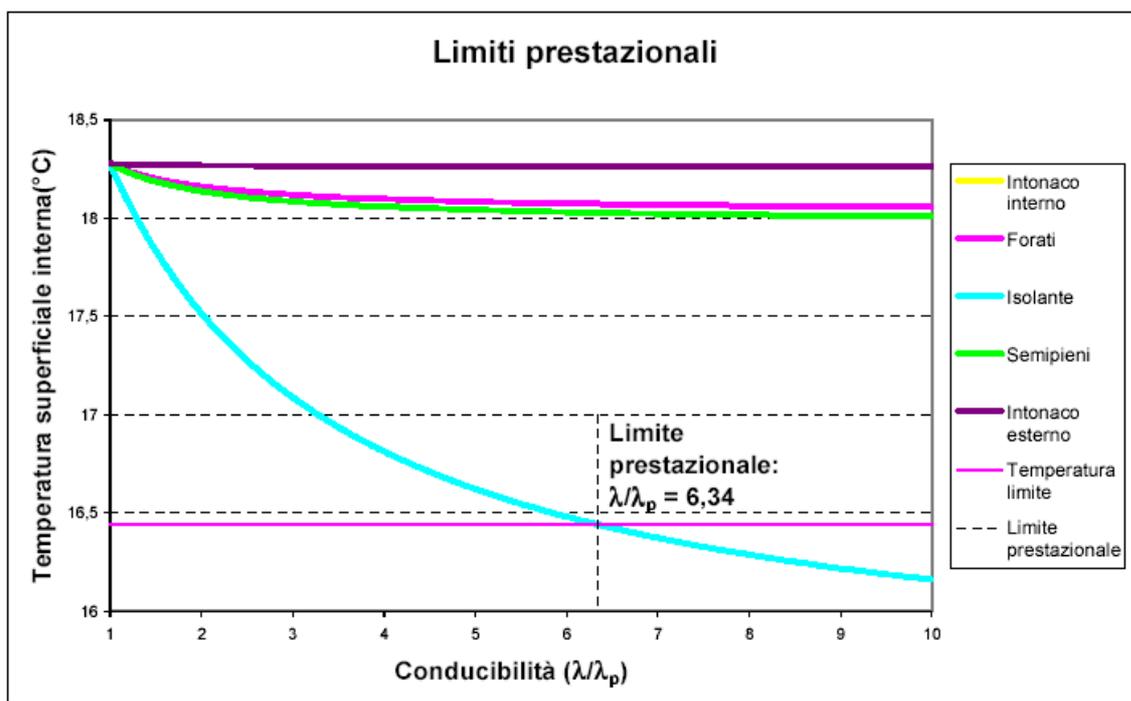
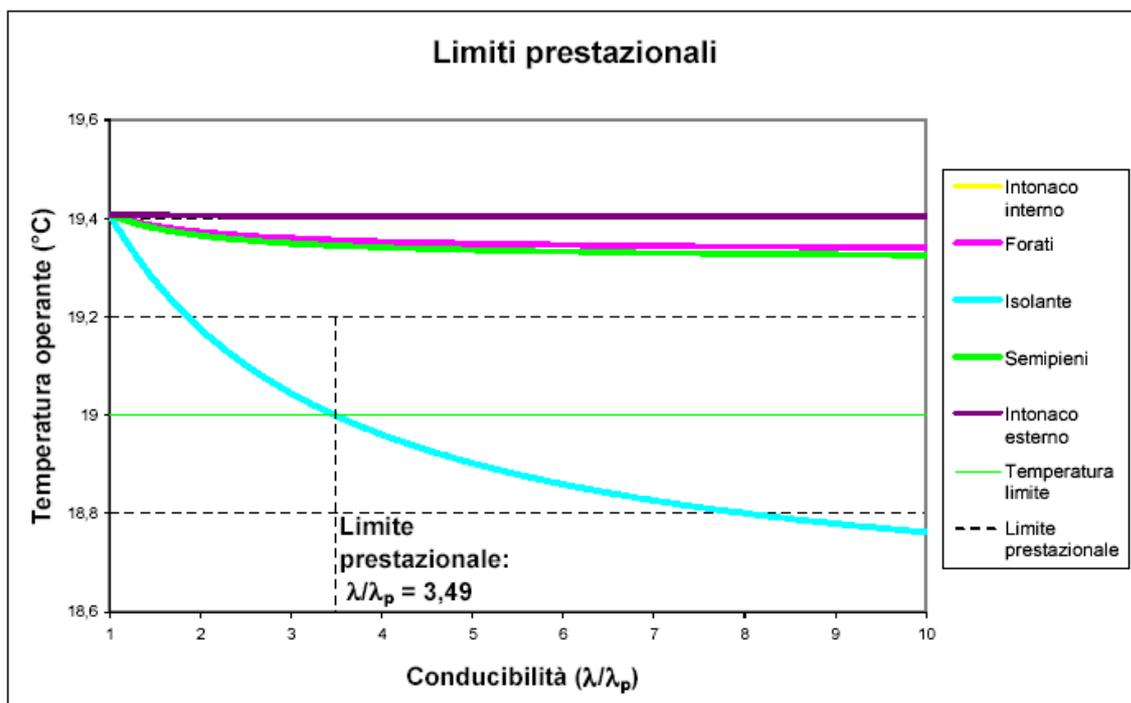
Tabella di sensitività caratteristiche funzionali		F1 Controllare la Condensazione interstiziale	F2 Controllare la Condensazione superficiale	F4 Isolare termicamente	F6 Controllare il regime dinamico delle temperature in stagione fredda
0					
1					
2					
3					
4					
5					
Spessore strato 1					
Spessore strato 2					
Spessore strato 3					
Spessore strato 4					
Spessore strato 5					
Conducibilità strato 1					
Conducibilità strato 2					
Conducibilità strato 3					
Conducibilità strato 4					
Conducibilità strato 5					
Permeabilità vapore strato 1					
Permeabilità vapore strato 2					
Permeabilità vapore strato 3					
Permeabilità vapore strato 4					
Permeabilità vapore strato 5					
Calore specifico strato 1					
Calore specifico strato 2					
Calore specifico strato 3					
Calore specifico strato 4					
Calore specifico strato 5					
Densità strato 1					
Densità strato 2					
Densità strato 3					
Densità strato 4					
Densità strato 5					



A questo punto è possibile mettere in relazione la variazione di ciascuna caratteristica con le “prestazioni ambientali obiettivo” determinando così i valori di soglia della caratteristica in funzione della prestazione ambientale richiesta.

I valori delle caratteristiche funzionali sono adimensionali in quanto forniti dal rapporto tra il valore misurato e quello di progetto. Ad esempio λ/λ_p è dato dal valore della conducibilità termica diviso la conducibilità di progetto.

La norma riporta alcuni esempi relativi alla caratteristica di conducibilità riferiti ad altrettante prestazioni ambientali²⁷.



²⁷ Allegato B della U86000053-3 versione del 18/09/03.



6.2.2.c Metodo di valutazione basato su dati ricavati da edifici campione

Il metodo, proposto dal prof. Nicolella, è riportato nell'allegato C alla U86000053-3. Si tratta di una diversa applicazione del metodo fattoriale basata sulla stima della vita utile di servizio di un componente, attraverso il calcolo della deviazione da un valore medio-normale ottenuto su base sperimentale. A tal scopo è previsto l'utilizzo di fattori di correzione ricavati dalle particolari condizioni in cui si trova il componente.

Il metodo a due versioni definite *metodo diretto* e *metodo indiretto* che, pur avendo in comune i presupposti teorici fondamentali, si differenziano per la determinazione dei coefficienti correttivi e per l'algoritmo utilizzato per il calcolo della durata.

Il valore medio-normale (D_{mn}) è ottenuto come media statistica dei valori ricavati da misure effettuate su edifici campione selezionati secondo precisi criteri e in condizioni di sollecitazione analoghe assunte come medio-normali. Questo presupposto esclude i degradi dovuti a condizioni patologiche.

Noto il valore di durata medio-normale, occorre definire i coefficienti attraverso cui calcolare la deviazione dal valore di riferimento. Questo calcolo prevede la possibilità di utilizzare uno dei due metodi citati.

Metodo indiretto

La relazione analitica attraverso cui correggere il valore di riferimento è la seguente:

$$D_{pp} = D_{mn} \cdot \prod F_i$$

- dove D_{pp} è il valore della durata più probabile del componente nelle condizioni ipotizzate;
- F_i sono i coefficienti correttivi da associare a ciascuno gruppo di fattori omogenei ritenuti influenti sulla vita utile di servizio del componente.

La definizione dei coefficienti correttivi si ottiene attraverso l'attribuzione di punteggi (P) ai fattori che influiscono sulla durata del componente. I vari fattori sono suddivisi in i gruppi che contengono m fattori che possono trovarsi in n condizioni. A ciascun gruppo corrisponde un coefficiente correttivo F_i che può assumere un range di valori ΔF_i compresi tra un massimo e un minimo: questo range corrisponde al peso che ha il gruppo nella definizione della D_{pp} .

A queste soglie si perviene considerando singolarmente gli m fattori di ciascun gruppo e attribuendo un punteggio alle n condizioni caratteristiche di quel fattore.

Se per esempio consideriamo il fattore esposizione possiamo considerare n pari a quattro condizioni: Nord, Sud, Est e Ovest. Se la condizione est influisce sul degrado più di quella ovest gli si attribuirà un punteggio maggiore.

L'attribuzione dei punteggi può avvenire su base empirica o attraverso l'elaborazione statistica di dati raccolti su casi studio o attraverso l'analisi di studi e ricerche sull'argomento o su base sperimentale con l'ausilio di prove di laboratorio.

Dalla somma dei punteggi più bassi provenienti da ciascun fattore del gruppo i considerato si ottiene il punteggio minimo complessivo P_{min} del gruppo cui corrisponde il limite inferiore del range ΔF_i . Analogamente si stabilisce il limite superiore sommando i punteggi più alti P_{max} . La somma dei punteggi corrispondenti alle condizioni medio-normali fornisce il valore P_{mn} cui corrisponderà il valore 1 di F_i .

Il valore F_i del coefficiente correttivo, corrispondente al gruppo i esimo degli m fattori d'influenza, sarà compreso tra i valori F_{min} e F_{max} .

$$F_{min} = 1 - [\Delta F_i / \Delta P \cdot (P_{mn} - P_{min})]$$

$$F_{max} = 1 + [\Delta F_i / \Delta P \cdot (P_{max} - P_{mn})]$$

Genericamente

$$F_i = 1 + [\Delta F_i / \Delta P \cdot (P_i - P_{mn})]$$



La determinazione dei punteggi è definita in una fase preliminare di studio in seguito alla quale il progettista, in fase operativa, dovrà semplicemente selezionare le condizioni caratteristiche del caso oggetto di studio e utilizzare la formula proposta.

Metodo diretto

La relazione analitica, attraverso cui si corregge il valore di riferimento medio-normale, è ottenuta attraverso l'utilizzo di coefficienti determinati direttamente e non filtrati dall'attribuzione di punteggi alle condizioni di variazione dei fattori d'influenza.

$$D_{pp} = D_{mn} \cdot \sum (\lambda_i F_i / 100)$$

- dove D_{pp} e D_{mn} hanno lo stesso significato del metodo diretto;
- F_i sono i fattori correttivi da associare ad ogni fattore singolarmente considerato;
- λ_i rappresentano i pesi che definiscono l'influenza dei vari fattori sulla durata del componente.

La media pesata è eseguita su una base pari a 100.

Anche in questo caso bisogna preliminarmente individuare i fattori di influenza e delle relative condizioni di variazione nonché le differenze tra la condizione che coincide con l'assetto medio-normale e le rimanenti, traducendo le differenze in termini numerici. Ad ogni fattore bisogna poi attribuire il peso (λ_i)

La definizione dei criteri e delle modalità attraverso cui valutare la differenza di comportamento nelle diverse condizioni può avvenire con le stesse modalità viste per l'attribuzione dei punteggi. In generale è preferibile ricorrere ad una combinazione delle varie metodologie elencate.

Anche in questo caso, la procedura descritta riguarda una fase preliminare che non interessa direttamente il progettista che si limita ad applicare la formula proposta in base al suo caso specifico.

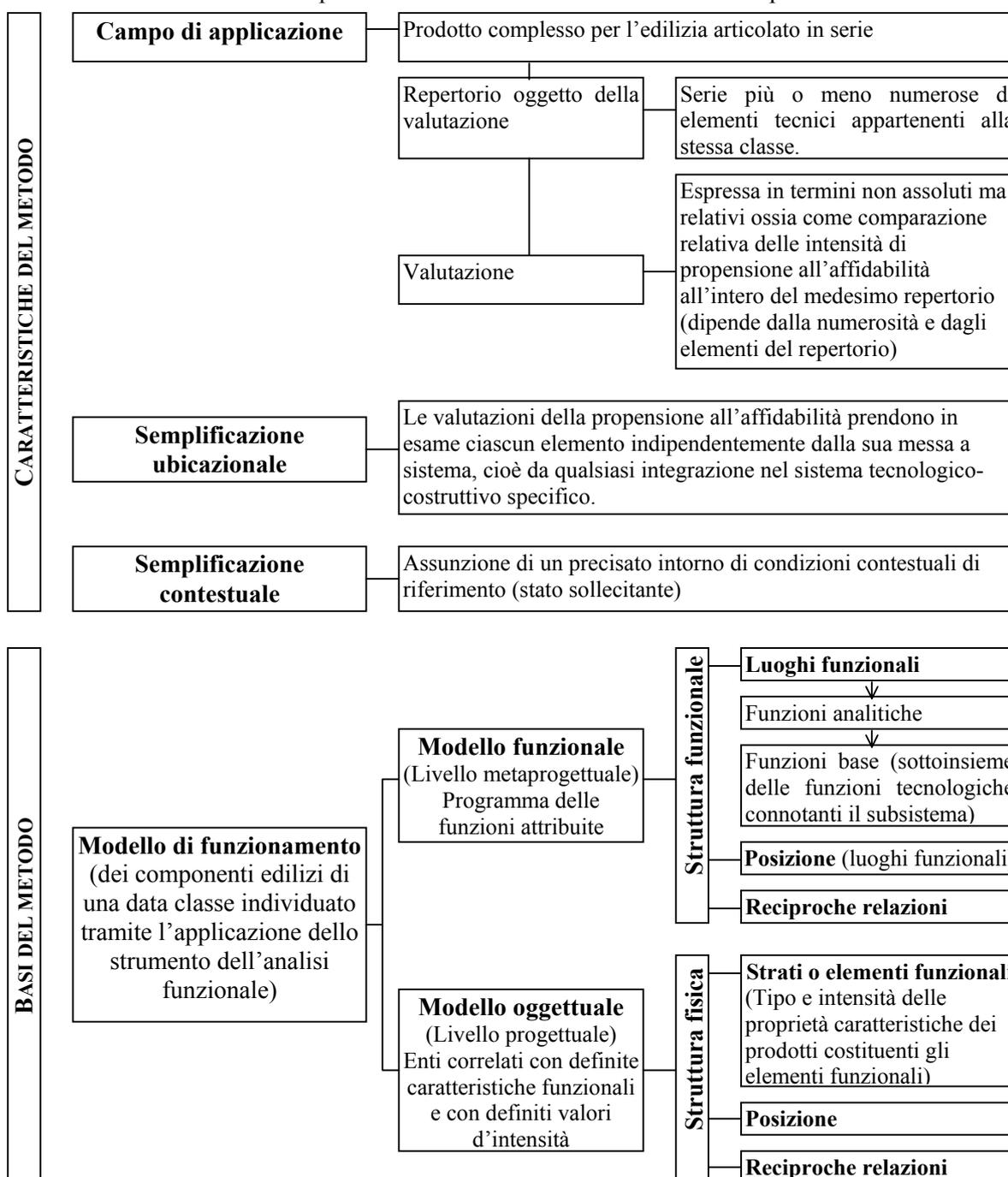


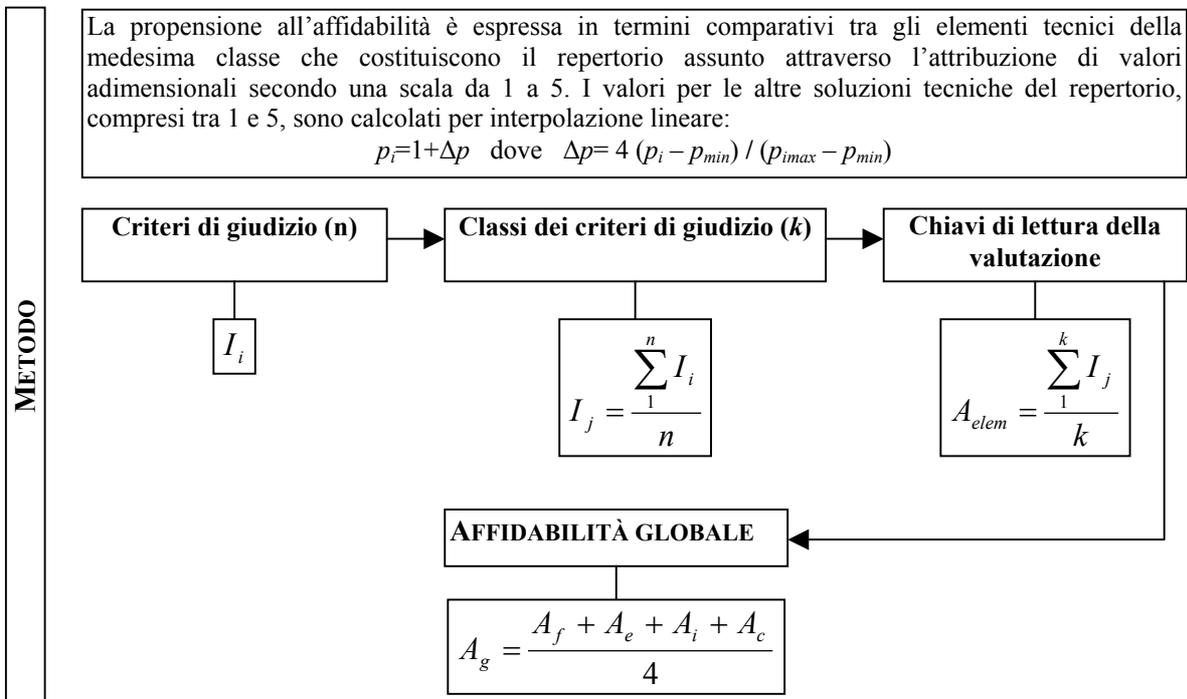
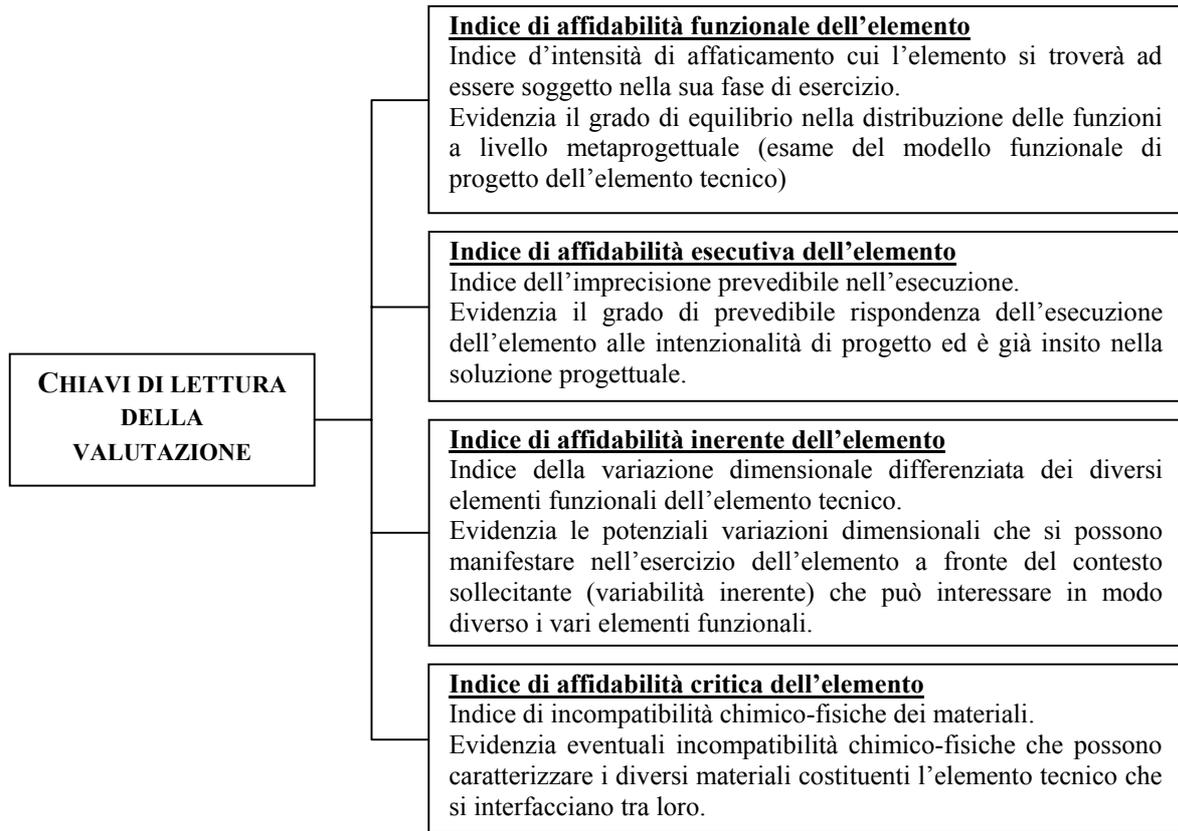
6.2.3 U8600053-2: Metodo per la valutazione della propensione all'affidabilità

Il metodo, sviluppato da M.G. Rejna presso il DISET consente una valutazione previsionale di tipo qualitativo dell'*affidabilità* di componenti fuori sistema e in condizioni contestuali convenzionali di esercizio. Tale stima, condotta su base teorica e non sperimentale diretta, non è data in valore assoluto ma come valore numerico adimensionale relativo ad un dato repertorio di soluzioni tecniche, in altre parole il metodo consente di valutare la soluzione più affidabile tra quelle analizzate. In relazione all'intervallo di valori, assunti come riferimento, il complemento a 1 del valore stimato di propensione all'affidabilità rappresenta il rischio di entrata in crisi dell'elemento durante la vita utile.

Il metodo consiste nell'applicazione, al *modello funzionale* e al *modello oggettuale* delle soluzioni tecniche di un dato repertorio, di specifici criteri di giudizio secondo quattro chiavi di lettura.

Sotto certi aspetti questa metodologia appare abbastanza complicata e probabilmente i risultati non giustificano l'impiego delle energie occorrenti, ma l'impostazione del problema sembra essere abbastanza esauriente relativamente ai vari aspetti che incidono sull'affidabilità di un componente edilizio.







Affidabilità elementari	Classe dei criteri di giudizio	Criteri di giudizio
<p>Indice di affidabilità funzionale dell'elemento Indice d'intensità di affaticamento cui l'elemento si troverà ad essere soggetto nella sua fase di esercizio. Evidenzia il grado di equilibrio nella distribuzione delle funzioni a livello metaprogettuale (esame del modello funzionale di progetto dell'elemento tecnico)</p>	<p>SEMPLICITÀ DEL MODELLO (A)</p>	Semplicità strutturale
		Semplicità funzionale
		Semplicità ubicazionale
	<p>AFFATICAMENTO FUNZIONALE (B)</p>	Affaticamento medio
		Affaticamento critico
		Variabilità dell'affaticamento
	<p>DISTRIBUZIONE DELLE FUNZIONI (C)</p>	Equilibrio dell'affaticamento
		Distribuzione in serie
	<p>Indice di affidabilità esecutiva dell'elemento Indice dell'imprecisione prevedibile nell'esecuzione. Evidenzia il grado di prevedibile rispondenza dell'esecuzione dell'elemento alle intenzionalità di progetto ed è già insito nella soluzione progettuale.</p>	<p>COMPLESSITÀ DI RELAZIONE</p>
Complessità merceologica		
Complessità oggettuale		
<p>COMPLESSITÀ DI RELAZIONE</p>		Complessità di relazione nella direzione X
		Complessità di relazione nella direzione Z
<p>Indice di affidabilità inerente dell'elemento Indice della variazione dimensionale differenziata dei diversi elementi funzionali dell'elemento tecnico. Evidenzia le potenziali variazioni</p>	<p>VARIABILITÀ INERENTE TERMICA</p>	Complessità di relazione nella direzione Y
		Variabilità inerente termica secondo la direzione X(P_{TX})
		Variabilità inerente termica secondo la direzione Z(P_{TZ})
	<p>VARIABILITÀ INERENTE UMIDA</p>	Variabilità inerente termica secondo la direzione Y(P_{TY})
		Variabilità inerente umida secondo la direzione X(P_{UX})
		Variabilità inerente umida secondo la direzione Z(P_{UZ})
<p>Indice di affidabilità critica dell'elemento Indice di incompatibilità chimico-fisiche dei materiali. Evidenzia eventuali incompatibilità chimico-fisiche che possono caratterizzare i diversi materiali costituenti l'elemento tecnico che si interfacciano tra loro.</p>	<p>CRITICITÀ FISICA</p>	Variabilità inerente umida secondo la direzione Y(P_{UY})
		<p>CRITICITÀ CHIMICA</p>



AFFIDABILITÀ FUNZIONALE (Momento del progetto)			
La valutazione della propensione all'affidabilità funzionale è operata sul <u>modello funzionale</u> della soluzione tecnica. In generale la struttura della distribuzione delle funzioni analitiche nei luoghi funzionali, comporta un rischio di perdita prestazionale in relazione all'affaticamento cui gli elementi funzionali sono sottoposti.			
Classe dei criteri di giudizio	Criteri di giudizio	Criteri di calcolo	Indice
SEMPLICITÀ DEL MODELLO (A) I_A	Semplicità strutturale	Numero dei luoghi funzionali (P_{A1})	I_{A1}
	Semplicità funzionale	Numero delle funzioni analitiche qualitativamente diversificate (P_{A2})	I_{A2}
	Semplicità ubicazionale	Numero delle funzioni base svolte dai singoli luoghi (P_{A3})	I_{A3}
AFFATICAMENTO FUNZIONALE (B) I_B	Affaticamento medio	Rapporto tra numero delle funzioni analitiche e numero dei luoghi (P_{B1})	I_{B1}
	Affaticamento critico	Massimo numero di funzioni analitiche nello stesso luogo (P_{B2})	I_{B2}
	Variabilità dell'affaticamento	Dispersione del carico delle funzioni analitiche (P_{B3}) $P_{B3} = P_{B1} - \left(\frac{P_{B2} - P_{B\min}}{2} \right)$ dove $P_{B\min}$ è il numero minimo delle funzioni analitiche in un singolo luogo	I_{B3}
	Equilibrio dell'affaticamento	Distribuzione equilibrata delle funzioni (P_{B4})	I_{B4}
DISTRIBUZIONE DELLE FUNZIONI (C) I_C	Distribuzione in serie	Numero delle funzioni analitiche esaustive di una funzione base, assegnate a due o più luoghi (P_{C1}) $P_{C1} = \sum_{i=1}^r n_{s_i}$ (r = numero delle funzioni base del repertorio)	I_{C1}
	Distribuzione in parallelo	Numero di ripetizioni delle funzioni analitiche esaustive di una funzione base, assegnate a luoghi diversi (P_{C2}) $P_{C2} = \sum_{i=1}^r n_{p_i}$ (r = numero delle funzioni base del repertorio)	I_{C2}

Note personali relative al calcolo dell'affidabilità esecutiva

Il calcolo dell'affidabilità esecutiva relativamente alla complessità di relazione, dall'analisi della norma, appare abbastanza confuso per la presenza di indici non chiaramente definiti e formalmente poco logici. Probabilmente si tratta di semplici errori di trascrizione o di un'errata interpretazione da parte mia. In ogni caso, ho ritenuto opportuno impostare un ragionamento personale al fine migliorare la comprensione delle formule che ho corretto sulla base del mio ragionamento.

Un componente è costituito da moduli iterativi (MS) ciascuno costituito da j elementi funzionali. Ogni elemento funzionale j avrà i tipi di interfacce nelle tre direzioni del sistema cartesiano X,Y e Z. Nella direzione Y l'interfaccia, però diventa k ed è riferita al modulo iterativo e non agli elementi funzionali, o meglio è riferita agli elementi funzionali attraverso cui i moduli iterativi si interfacciano. Personalmente credo che le incongruenze nascano dalla volontà di generalizzare un metodo che sembra nato per murature in laterizi e malta. Solo in questo modo acquista significato l'introduzione di un indice k particolarizzato per la direzione Y nella quale il modulo, costituito da una fila di laterizi e malta, si ripete. Nella norma si precisa che l'interfaccia k è quella relativa all'elemento funzionale che all'interno del modulo iterativo offre la maggiore superficie.



AFFIDABILITÀ ESECUTIVA (Momento della costruzione)			
<p>La valutazione della propensione all'affidabilità esecutiva è operata sul <u>modello oggettuale</u> e si basa sulla previsione della possibile difformità tra il costruito e il progetto del componente dovuta ad errori di esecuzione causati dalla complessità oggettuale del componente.</p>			
<p>Tipologia di errore</p>		<p>Posizionamento del componente al di fuori del suo spazio di coordinazione</p>	
		<p>Messa in opera di materiali, semilavorati e elementi semplici in modo non conforme al progetto</p>	
Classe dei criteri di giudizio	Criteri di giudizio	Criteri di calcolo	Indice
COMPLESSITÀ MERCEOLOGICA		Numero pesato delle differenti merceologie (N_M)	I_M
		$N_M = \sum_{i=1}^M p_i$ Parametri per il calcolo $p_1 = 0.5$ lavorazione in officina $p_2 = 1$ lavorazione in opera $M =$ numero delle differenti merceologie	
COMPLESSITÀ OGGETTUALE		Numero degli elementi funzionali (N_O)	I_O
COMPLESSITÀ DI RELAZIONE $I_R = I^X + I^Z + I^Y$ $E_i =$ adattabilità di forma <ul style="list-style-type: none"> $F_i = 0,5$ tra materiale e materiale o elemento preformato $F_i = 1$ tra elementi preformati $M_i =$ natura merceologica <ul style="list-style-type: none"> $M_i = 0,5$ della stessa natura $M_i = 1$ di differente natura $E_i =$ Processo esecutivo <ul style="list-style-type: none"> $E_i = 0,5$ interfaccia realizzata in officina $E_i = 1$ interfaccia realizzata in opera 	Complessità di relazione nella direzione X $N_{ij}^X = \frac{(F_{ij}^X \cdot M_{ij}^X \cdot E_{ij}^X) f_{ij}^X}{MS_j}$ $I_j^X = \sum_{i=1}^{N_j^X} N_{ij}^X$ $I^X = \sum_{j=1}^{N_E} I_j^X$	Parametri per il calcolo $i =$ i-esimo tipo di interfaccia nel j-esimo elemento funzionale nella direzione X del componente nel modulo iterativo MS_j dell'elemento funzionale $MS_j =$ modulo iterativo dell'elemento funzionale $f_{ij}^X =$ frequenza dell'i-esimo tipo di interfaccia nella direzione X, del j-esimo elemento funzionale, nella superficie del modulo iterativo MS_j $N_E =$ numero degli elementi funzionali $N_j^X =$ numero totale di interfacce nella direzione X, nella superficie del modulo iterativo MS_j dell' j-esimo elemento funzionale	I_R
	Complessità di relazione nella direzione Z $N_{ij}^Z = \frac{(F_{ij}^Z \cdot M_{ij}^Z \cdot E_{ij}^Z) f_{ij}^Z}{MS_j}$ $I_j^Z = \sum_{i=1}^{N_j^Z} N_{ij}^Z$ $I^Z = \sum_{j=1}^{N_E} I_j^Z$	Parametri per il calcolo $i =$ i-esimo tipo di interfaccia nel j-esimo elemento funzionale nella direzione Z del componente nel modulo iterativo MS_j dell'elemento funzionale $MS_j =$ modulo iterativo dell'elemento funzionale $f_{ij}^Z =$ frequenza dell'i-esimo tipo di interfaccia nella direzione Z, del j-esimo elemento funzionale, nella superficie del modulo iterativo MS_j $N_E =$ numero degli elementi funzionali $N_j^Z =$ numero totale di interfacce nella direzione Z, nella superficie del modulo iterativo MS_j dell' j-esimo elemento funzionale	
	Complessità di relazione nella direzione Y $N_{ik}^Y = \frac{(F_{ik}^Y \cdot M_{ik}^Y \cdot E_{ik}^Y) f_{ik}^Y}{MS_{kmax}}$ $I_k^Y = \sum_{i=1}^{N_k^Y} N_{ik}^Y$ $I^Y = \sum_{k=1}^{N_K} I_k^Y$	Parametri per il calcolo $i =$ i-esimo tipo di interfaccia nella direzione Y della k-esima interfaccia tra elementi funzionali nel modulo iterativo di maggiore superficie MS_{kmax} $k =$ k-esima interfaccia, nella direzione Y, tra elementi funzionali adiacenti $f_{ik}^Y =$ frequenza dell'i-esimo tipo di interfaccia nella direzione Y, tra elementi funzionali adiacenti... $N_K =$ numero delle interfacce nella direzione Y, tra gli elementi funzionali del componente $N_k^Y =$ numero totale di interfacce nella direzione Y, nella superficie del modulo iterativo MS_{kmax} della k-esima interfaccia tra elementi funzionali adiacenti	



AFFIDABILITÀ INERENTE (Momento del progetto)

La valutazione della propensione all'affidabilità inerente è operata sul modello oggettuale della soluzione tecnica. Si basa sulla previsione dell'attivazione di fenomeni inerenti durante la vita del componente. Questi fenomeni, nell'intera soluzione tecnica e nei singoli elementi funzionali che la compongono, generano variazioni dimensionali che risultano più o meno impedito dal tipo di vincoli posto dalle connessioni tra i componenti. Le sollecitazioni provocate dal contesto, che determinano le variazioni dimensionali in esercizio, sono dovute in particolare a variazioni della temperatura e dell'umidità.

Classe dei criteri di giudizio	Criteri di giudizio	Criteri di calcolo		Indice
			Parametri per il calcolo	
VARIABILITÀ INERENTE TERMICA $I_T = I_{TX} + I_{TZ} + I_{TY}$	Variabilità inerente termica secondo la direzione X (P_{TX})	$P_{TXj} = \frac{\sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot l_i \cdot p_i}{ML_j}$ $p_i = P_{Gi} \cdot P_{Ei} \cdot P_{li}$ $I_{TX} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{TXj}}{N}$	N = numero degli elementi funzionali della soluzione tecnica k = numero degli elementi presenti nel modulo iterativo dell'elemento funzionale j-esimo nella direzione X α_i = coefficiente di dilatazione termica dell'i-esimo elemento presente nel j-esimo elemento funzionale l_i = lunghezza dell'i-esimo elemento in metri p_i = fattore di correzione dell'i-esimo elemento funzione del modulo elastico dell'elemento e della media aritmetica dei moduli elastici delle relative connessioni funzionali, del valore del momento d'inerzia della sezione YZ ($yz^3/12$), e della tipologia della connessione (per punti, chiusa, scorrevole, aperta) ML_j = valore in metri del modulo iterativo lineare secondo X	I_{TX}
	Variabilità inerente termica secondo la direzione Z (P_{TZ})	$P_{TZj} = \frac{\sum_{i=1}^r \alpha_i \cdot h_i \cdot p_i}{MH_j}$ $p_i = P_{Gi} \cdot P_{Ei} \cdot P_{li}$ $I_{TZ} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{TZj}}{N}$	N = numero degli elementi funzionali della soluzione tecnica r = numero degli elementi presenti nel modulo iterativo dell'elemento funzionale j-esimo nella direzione Z α_i = coefficiente di dilatazione termica dell'i-esimo elemento presente nel j-esimo elemento funzionale h_i = altezza dell'i-esimo elemento in metri p_i = fattore di correzione dell'i-esimo elemento del modulo elastico dell'elemento e della media aritmetica dei moduli elastici delle relative connessioni funzionali, del valore del momento d'inerzia della sezione YX ($yx^3/12$), della tipologia della connessione (per punti, chiusa, scorrevole, aperta) MH_j = valore in metri del modulo iterativo lineare secondo Z	I_{TZ}
	Variabilità inerente termica secondo la direzione Y (P_{TY})	$P_{TYj} = \alpha_{i1} - \alpha_{i2} \cdot p_i$ $p_i = P_{Si} \cdot P_{EYi} \cdot P_{lei}$ $I_{TY} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{TYj}}{N}$	N = numero degli elementi funzionali della soluzione tecnica e_{i1}, e_{i2} = elementi a maggior sviluppo superficiale nel piano XZ presenti nei due elementi funzionali nell'interfaccia i-esima della soluzione tecnica α_{i1}, α_{i2} = coefficienti di dilatazione termica degli elementi funzionali e_{i1} e e_{i2} p_i = fattore di correzione dell'i-esima interfaccia funzione dei valori dei moduli elastici di e_{i1} e e_{i2} , del momento d'inerzia nella direzione XZ degli elementi $e_{i1}(L_{i1}z^3/12)$ e $e_{i2}(L_{i2}z^3/12)$, delle tipologie di solidarizzazione della j-esima interfaccia (continua, lineare, per punti, di semplice accostamento)	I_{TY}

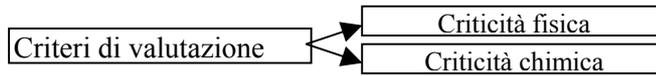


Classe dei criteri di giudizio	Criteri di giudizio	Criteri di calcolo		Indice
			Parametri per il calcolo	
VARIABILITÀ INERENTE UMIDA $I_U = I_{UX} + I_{UZ} + I_{UY}$	Variabilità inerente umida secondo la direzione X (P_{UX})	$P_{UXj} = \frac{\sum_{i=1}^k \beta_i \cdot l_i \cdot p_i}{ML_j}$ $p_i = P_{Gi} \cdot P_{Ei} \cdot P_{fi}$ $I_{UX} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{UXj}}{N}$	N = numero degli elementi funzionali della soluzione tecnica k = numero degli elementi presenti nel modulo iterativo dell'elemento funzionale j-esimo nella direzione X β_i = coefficiente di dilatazione umida dell'i-esimo elemento presente nel j-esimo elemento funzionale l_i = lunghezza dell'i-esimo elemento in metri p_i = fattore di correzione dell'i-esimo elemento funzione del modulo elastico dell'elemento e della media aritmetica dei moduli elastici delle relative connessioni funzionali, del valore del momento d'inerzia della sezione YZ ($yz^3/12$), e della tipologia della connessione (per punti, chiusa, scorrevole, aperta) ML_j = valore in metri del modulo iterativo lineare secondo X	I_{UX}
	Variabilità inerente umida secondo la direzione Z (P_{UZ})	$P_{UZj} = \frac{\sum_{i=1}^r \beta_i \cdot h_i \cdot p_i}{MH_j}$ $p_i = P_{Gi} \cdot P_{Ei} \cdot P_{fi}$ $I_{UZ} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{UZj}}{N}$	N = numero degli elementi funzionali della soluzione tecnica r = numero degli elementi presenti nel modulo iterativo dell'elemento funzionale j-esimo nella direzione Z β_i = coefficiente di dilatazione umida dell'i-esimo elemento presente nel j-esimo elemento funzionale h_i = altezza dell'i-esimo elemento in metri p_i = fattore di correzione dell'i-esimo elemento del modulo elastico dell'elemento e della media aritmetica dei moduli elastici delle relative connessioni funzionali, del valore del momento d'inerzia della sezione YX ($yx^3/12$), della tipologia della connessione (per punti, chiusa, scorrevole, aperta) MH_j = valore in metri del modulo iterativo lineare secondo Z	I_{UZ}
	Variabilità inerente umida secondo la direzione Y (P_{UY})	$P_{UYj} = \beta_{i1} - \beta_{i2} \cdot p_i$ $p_i = P_{Si} \cdot P_{EYi} \cdot P_{lei}$ $I_{UY} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{UYj}}{N}$	N = numero degli elementi funzionali della soluzione tecnica e_{i1} , e_{i2} = elementi a maggior sviluppo superficiale nel piano XZ presenti nei due elementi funzionali nell'interfaccia i-esima della soluzione tecnica β_{i1} , β_{i2} = coefficienti di dilatazione umida degli elementi funzionali e_{i1} e e_{i2} p_i = fattore di correzione dell'i-esima interfaccia funzione dei valori dei moduli elastici di e_{i1} e e_{i2} , del momento d'inerzia nella direzione XZ degli elementi $e_{i1}(L_{i1}z^3/12)$ e $e_{i2}(L_{i2}z^3/12)$, delle tipologie di solidarizzazione della j-esima interfaccia (continua, lineare, per punti, di semplice accostamento)	I_{UY}



AFFIDABILITÀ CRITICA (Momento del progetto)

La valutazione della propensione all'affidabilità inerente è operata sul modello oggettuale della soluzione tecnica. Si basa sulla previsione di possibili guasti che possono verificarsi a causa di incompatibilità chimiche e chimico-fisiche tra gli elementi funzionali della soluzione tecnica. Questi fenomeni generano cambiamenti di differenti intensità nell'integrità strutturale del componente in esercizio, dai più lievi che interessano il solo aspetto del componente ai più gravi che ne compromettono l'integrità strutturale. La valutazione si basa sull'analisi del grado e del numero di incompatibilità all'interfaccia tra gli elementi funzionali e tra i prodotti che li compongono.



Classe dei criteri di giudizio	Criteri di giudizio	Criteri di calcolo		Indice
			Parametri per il calcolo	
CRITICITÀ FISICA		$P_{f_i} = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} I_{fij}}{N_i}$ $I_{fij} = \sum_{k=1}^{n_i} P_{fjki}$	N_i = numero totale di interfacce tra differenti materiali nella soluzione tecnica n_i = numero delle incompatibilità fisiche nella j-esima interfaccia P_{fj} = fattore di correzione dell'incompatibilità fisica nella j-esima interfaccia	I_f
CRITICITÀ CHIMICA		$P_{chij} = \frac{\sum_{k=1}^{N_i} I_{chijk}}{N_i}$ $I_{chijk} = \sum_{l=1}^{n_i} P_{chjli}$	n_i = numero delle incompatibilità chimiche nella j-esima interfaccia P_{ji} = fattore di correzione dell'incompatibilità chimica nella j-esima interfaccia N_i = numero totale di interfacce tra differenti materiali nella soluzione tecnica	I_{ch}

7. Individuazione delle potenzialità di trasferimento nell'ambito edilizio

Le problematiche connesse alla gestione e manutenzione delle opere di architettura possono essere suddivise in due grandi famiglie: la prima include la stima di valori e parametri essenziali, compresa la durabilità, mentre la seconda riguarda la gestione di queste informazioni a fini decisionali e computazionali.

Rispetto ad esse, la mia trattazione ha privilegiato la prima, più vicina agli aspetti previsionali, e solo marginalmente ha toccato la seconda maggiormente legata agli aspetti di controllo e ottimizzazione del processo gestionale, i cui strumenti essenziali sono trattati soprattutto nell'ambito della Ricerca Operativa.

La conoscenza della durabilità, come si è visto, è fondamentale per qualsiasi tipo di programmazione inerente la vita utile di un edificio. Le metodologie utilizzate a tal fine e analizzate nel capitolo precedente, sono certamente valide ma, credo, presentino l'inconveniente di essere o troppo complicate o eccessivamente semplicistiche. Il miglior compromesso in tal senso, sembra appartenere al "metodo basato su dati ricavati da edifici campione" che lega la durabilità dei componenti allo specifico contesto, soprattutto climatico, di utilizzo.

Tuttavia, anche se si disponesse dei dati relativi alla durata "standard" di un componente, rimane il problema del degrado differenziato anche all'interno di uno stesso edificio, legato, per esempio ad una diversa ubicazione. In un eventuale programmazione delle attività di manutenzione e nel computo dei costi associati, quest'aspetto non è trascurabile, in quanto potrebbe condurre ad una sottostima o al contrario ad una sovrastima dei costi reali.

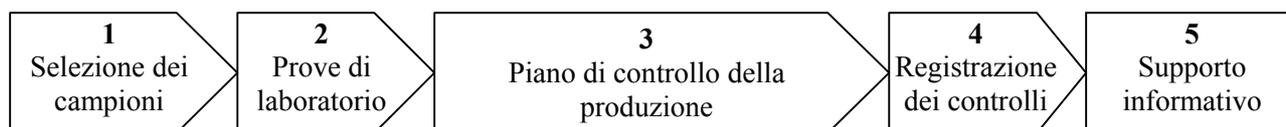
Partendo da queste considerazioni e utilizzando alcuni degli strumenti analizzati, ho sperimentato un'applicazione degli stessi alla classe degli elementi tecnici "infissi esterni".

7.1 Requisiti e attività manutentive della classe di elementi tecnici "infissi esterni"

7.1.1 Marcatura CE per i serramenti

Entro pochi anni i Costruttori di serramenti saranno obbligati ad applicare la marcatura CE sui prodotti finiti in conformità alla Direttiva CEE 89/106.

La procedura, che il produttore dovrà attivare per marcare il proprio prodotto è descritta dal prEN 14351 "Windows and external pedestrian doors-Product standard" revisione 11 Aprile 2003 (norma armonizzata a supporto della Direttiva 89/106 "Prodotti da Costruzione")¹ e prevede le seguenti fasi²:



¹ La norma non è stata ufficialmente pubblicata ma il comitato tecnico europeo competente ha ritenuto che il documento fosse giunto ad uno stadio di definizione tale da poter essere fatto circolare all'esterno per raccogliere commenti.

² Marcatura CE per finestre e portefinestre - Linee guida e istruzioni operative per il serramentista, Consorzio LEGNOLEGNO, <http://www.cna-acri.it>



Il produttore seleziona i campioni rappresentativi della in funzione delle tipologie, delle caratteristiche e delle varianti costruttive e morfologiche dei propri prodotti sui quali si eseguono poi le verifiche previste dal prEN 14351 attraverso prove di laboratorio e/o calcoli. Le prove consentono di definire la conformità dei prodotti e di quantificarne i livelli prestazionali decisi dal produttore ma non inferiori ai minimi di legge qualora esistano.

Il Piano di controllo definisce le modalità operative attraverso cui il produttore, sotto la propria responsabilità, garantisce l'omogeneità della sua produzione e il mantenimento nel tempo delle caratteristiche inizialmente possedute dal serramento campione e attestate dalla marcatura CE. Normalmente, questi controlli riguardano sia materiali, componenti e semilavorati, in ingresso e in lavorazione, sia, ovviamente, i prodotti finiti. L'esito dei controlli deve essere registrato formalmente e i risultati conservati presso il produttore per 5 anni. Infine occorre predisporre una documentazione relativa alla rintracciabilità dei prodotti, alla conformità a all'informazione all'utente in termini di installazione, uso e manutenzione.

Il prEN 14351 include ovviamente i requisiti necessari per la marcatura CE e anche una serie di prescrizioni a carattere volontario.

Tabella dei requisiti obbligatori e volontari³

Normativa di riferimento PrEN 14351/1	Tipologia di requisiti	Requisiti	Norme specifiche per le prove e i calcoli
Finestre e porte finestre esterne composte da parti fisse e/o apribili, con o senza parte vetrate, complete di accessori, con o senza persiane o imposte	Requisiti obbligatori generali:	Resistenza al vento	UNI EN 12211
		Tenuta all'acqua	UNI EN 1027
		Permeabilità all'aria	UNI EN 1026
		Prestazione acustica	UNI EN ISO 140-3
			UNI EN ISO 717-1
		Resistenza termica	UNI EN ISO 10077-1/2
			EN ISO 12657-1 Pr EN ISO 12657-2
	Proprietà radiative delle vetrazioni	UNI EN 410	
		PrEN 13363-1	
	Requisiti obbligatori specifici:	Resistenza all'urto (dove richiesto da normative nazionali)	PrEN 13049
		Capacità portante dei dispositivi di sicurezza (per finestre incernierate e a bilico)	PrEN 948-1
		Resistenza al fuoco (per serramenti tagliafuoco e lucernari)	
		Reazione al fuoco (solo per lucernari)	
		Resistenza al carico di neve (solo per lucernari)	Normativa nazionale applicabile
	Requisiti volontari:	Sforzi di manovra	EN 12046-1
			PrEN 947-1
		Resistenza meccanica	PrEN 948-1
		Resistenza ai proiettili	EN 1523
		Resistenza alle esplosioni	EN 13124-1
			PrEN 13123-2
	Durabilità meccanica	EN 1191	
Resistenza alle effrazioni	ENV 1628/1629/1630		

³ UX30 La marcatura CE per i serramenti metallici *Quaderno sul Piano di Controllo della Produzione*, UNCSAAL
– Unione Nazionale Costruttori Serramenti Alluminio Acciaio Leghe
<http://www.uncsaal.it/MarchioCE/marchioCE>



Quadro sinottico dei requisiti essenziali specificati e adattati al caso dei serramenti esterni delle opere⁴

1. RESISTENZA MECCANICA E STABILITÀ	Resistenza al vento
	Resistenza al carico di neve (solo per lucernari)
2. SICUREZZA IN CASO D'INCENDIO	Resistenza al fuoco (solo per serramenti tagliafuoco)
	Resistenza al fuoco esterno (solo per lucernari)
	Reazione al fuoco (solo per lucernari)
3. IGIENE, SALUTE E AMBIENTE	Tenuta all'acqua
4. SICUREZZA NELL'IMPIEGO	Resistenza all'urto (dove richiesto da normative nazionali)
	Capacità portante dei dispositivi di sicurezza (solo per finestre incernierate e a bilico)
5. PROTEZIONE CONTRO IL RUMORE	Prestazione acustica
6. RISPARMIO ENERGETICO E RITENZIONE DI CALORE	Permeabilità all'aria
	Resistenza termica
	Proprietà radiative delle vetrazioni

7.1.2 Tipi di guasto e di intervento degli infissi esterni in materiale metallico

Gli infissi esterni appartengono alla classe di unità tecnologica “chiusure” del sistema tecnologico. La funzione principale è di consentire l'illuminazione e la ventilazione naturale degli ambienti nel rispetto del soddisfacimento dei requisiti di isolamento termico e acustico.

In commercio esiste una vasta gamma di tipologie di serramenti diverse per materiale e tipo di apertura.

I serramenti esterni sono definiti nella norma UNI 8369-3:1988 “Chiusure verticali. Classificazione e terminologia dei serramenti esterni verticali” (punti 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4) e comprendono:

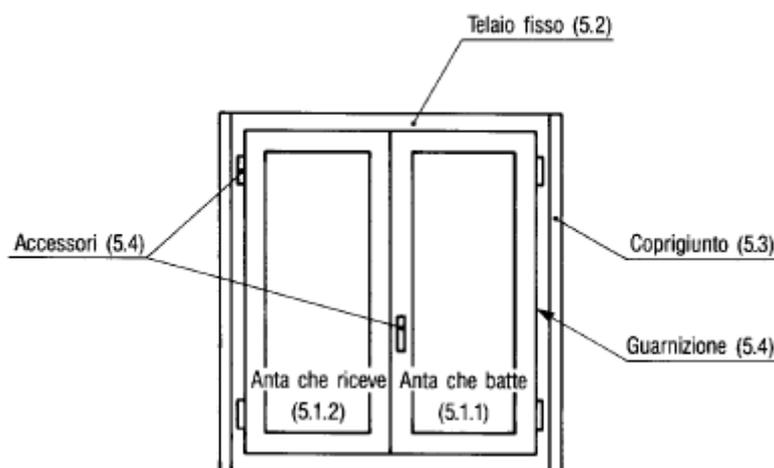
- finestra;
- luce fissa (sia telai vetrati, sia finestre ad anta fissa);
- porta finestra;
- porta.

I principali movimenti di apertura delle ante sono invece elencati nella UNI 8370:1982 “Serramenti esterni. Classificazione dei movimenti di apertura delle ante”.

I principali componenti dei serramenti esterni sono definiti dalla UNI 8369-3 al punto 5 e comprendono:

- Anta (che batte e che riceve)
- Telaio fisso
- Coprigiunto
- Accessori e guarnizioni.

⁴ Fossi M., *prEN 14351, futura norma armonizzata per finestre e porte esterne*, Edilizia e Territorio n. 12/2002 (25-30 marzo 2002) in archivio stampa dell'UNI, www.uni.com



Principali componenti del serramento esterno

A questi occorre aggiungere i tamponamenti vetrati la cui prestazione termica è misurabile utilizzando la UNI 10345:1993 “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Trasmittanza termica dei componenti edilizi finestrati. Metodo di calcolo” o il prospetto I della norma UNI 7144:1979 “Vetri piani. Isolamento termico”. Il potere fonoisolante può essere invece valutato attraverso prove sperimentali conformemente alle norme ISO o utilizzando il prospetto al punto 4 della norma UNI 7170:1973 “Vetri piani. Isolamento acustico”.

Questa breve rassegna è stata fatta allo scopo di dimostrare che la quantità di dati che è possibile associare ad una classe di elementi tecnici è veramente notevole ma, probabilmente, alcune di queste informazioni sono trascurabili rispetto allo scopo di stabilire tipi, modalità e frequenze di guasto

Senza ricorrere a particolari tipi di analisi e sulla scorta dell'esperienza di ciascuno di noi, è possibile affermare che i punti critici di un infisso sono rappresentati dai tamponamenti vetrati, dagli accessori⁵ (vincoli e organi di manovra) e dalle guarnizioni⁶.

Per ciascun elemento critico, è possibile distinguere tra interventi di manutenzione eseguibili dall'utente e interventi per i quali occorre il lavoro di personale esperto. I primi hanno tempi e costi sufficientemente prevedibili, mentre per i secondi è necessario definire prima delle modalità di valutazione.

Per i tamponamenti vetrati e gli accessori è conveniente adottare un tipo di manutenzione a guasto avvenuto, mentre per le guarnizioni è possibile definire con sufficiente approssimazione la frequenza con cui vanno controllate ed eventualmente sostituite. I guasti che possono interessare i telai metallici sono, invece, generalmente più gravi e possono portare alla sostituzione dell'intero infisso. In questo caso è molto difficile stabilire la frequenza di accadimento del guasto, che come già detto, dipende da numerosi fattori scarsamente prevedibili.

⁵ Per approfondimenti si rimanda alla UNI 9283:1988 “Edilizia. Accessori per finestre e porte-finestre. Classificazione e terminologia”.

⁶ Per approfondimenti si rimanda alla UNI 9122-2:1989 “Guarnizioni per serramenti. Classificazione e collaudo”.



Per ciascun elemento considerato, ho riportato in un quadro estremamente sintetico, i principali guasti che richiedono l'opera di personale esperto, i relativi interventi e il tipo di conoscenza possibile sulla frequenza⁷.

Elementi	Guasti	Intervento	Categoria di intervento	Tipo di conoscenza
Tamponamenti vetrati	Frantumazione e fratturazione crepe, opacizzazione	Sostituzione del vetro	Riparazione	Probabilistica
Accessori	Rottura, ossidazione	Sostituzione o riparazione dei componenti	Riparazione	Probabilistica
Guarnizioni	Distacchi, perdita di elasticità, fessurazioni.	Sostituzione del componente	Riparazione	Deterministica
Telai	Deformazioni, Corrosioni, Distacchi		Sostituzione dell'infixo	Probabilistica

La domanda che mi sono posta è se con questi dati a disposizione è possibile riuscire a calcolare, con sufficiente approssimazione, i costi di manutenzione della classe di elementi tecnici infissi esterni.

Un approccio analitico, presupporrebbe la conoscenza per ciascun infisso dell'edificio, di tutte le condizioni sollecitanti in grado di influenzare la durata dei suoi componenti e la stima probabilistica della vita utile, ottenibile con le metodologie analizzate al paragrafo 6.2.2, e in base alla conoscenza acquisita definire un piano di manutenzione per il singolo elemento.

È autoevidente che un simile metodo condurrebbe ad una stima certamente esatta ma ottenuta con uno sforzo ingente che potrebbe anche portare ad una programmazione eccessivamente articolata e poco conveniente da un punto di vista economico.

L'approccio proposto nella sperimentazione è di tipo qualitativo e come vedremo nei prossimi paragrafi, può essere utile per ottenere, in modo molto semplice, una stima accettabile.

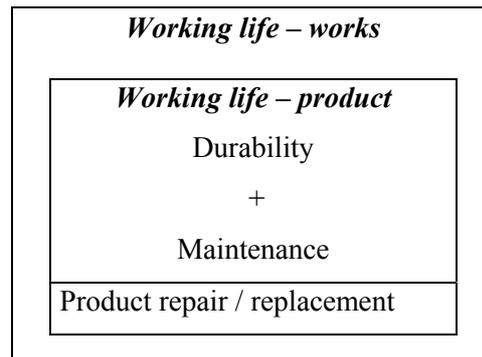
⁷ Tengo a precisare che l'intento è di illustrare un modo di affrontare la problematica e non di risolverla con esattezza.



7.2 Stima del “Working Life” con “Fuzzy logic”

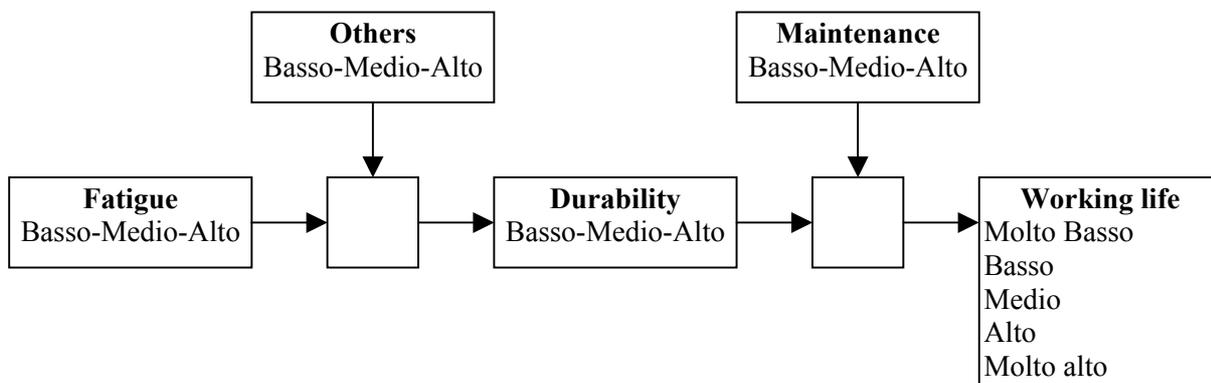
Le definizioni utilizzate e i legami fra le variabili considerate derivano dal Construction Products Directive - 89/106/EEC- Guidance paper f- **Durability and the construction products directive** (Revision xxx) CONSTRUCT 04/655 23 September 2004 nel seguito indicato con la sigla AF.

Mi sembra opportuno riproporre alcune definizioni viste al paragrafo 6.1. Il *working life*⁸ di un componente edilizio dipende dalla *Durability*⁹ e dalla *Normal maintenance* ed è valutato in condizioni standard di sollecitazione e manutenzione che solo teoricamente possono coincidere con le reali condizioni di esercizio.



La valutazione del *Working Life* di un infisso esterno, passa attraverso l'utilizzo della logica Fuzzy su due livelli di applicazione uno che definiamo *precedente* relativo alla stima della *durabilità* del componente e l'altro conseguente che porta alla stima appunto del *Working Life*.

La durabilità dipende dalle *Foreseeable actions*¹⁰ dalle quali, per i nostri fini, estrapoliamo il fattore *Fatigue* lasciando la notazione *Others* per i rimanenti.



⁸ AF 3.2 **Working life (product)** - the period of time during which the performance of a product will be maintained at a level that enables a properly designed and executed works to fulfil the Essential Requirements (i.e. the essential characteristics of a product meet or exceed minimum acceptable values, without incurring major costs for repair or replacement). The working life of a product depends upon its inherent durability and normal maintenance.

⁹ AF 3.3 **Durability of a product** - the ability of a product to maintain its required performance over time, under the influence of foreseeable actions. Subject to normal maintenance, a product shall enable a properly designed and executed works to fulfil the Essential Requirements for an economically reasonable period of time (working life of the product).

¹⁰ AF 3.4 **Foreseeable actions** – potential degradation factors that may affect the compliance of the works with the essential requirements. They include, for example, temperature, humidity, water, UV radiation, abrasion, chemical attack, biological attack, corrosion, weathering, frost, freeze-thaw and fatigue (i.e. actions related to “normal” agents that could be expected to act on the works or parts thereof).



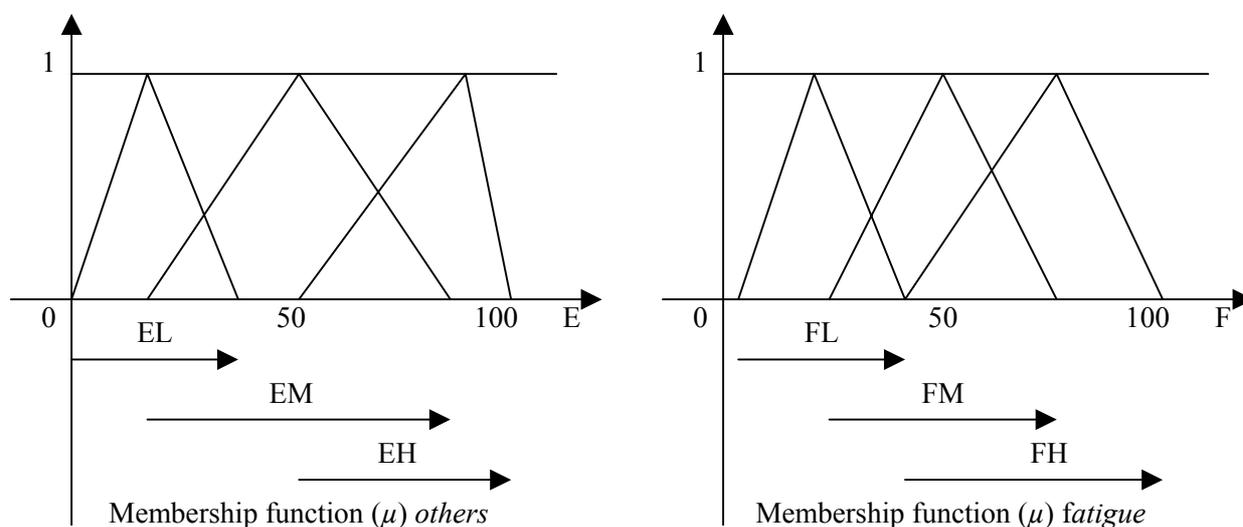
Supponiamo che "others" sia la variabile fuzzy E (esposizione) suscettibile di assumere valori numerici nell'intervallo [0,100] e che dal punto della logica sfumata abbia il seguente *term set*:

- Esposizione Bassa (EL)
- Esposizione Media (EM)
- Esposizione Alta (EH)

Analogamente consideriamo anche *fatigue* come variabile fuzzy accettando l'intervallo numerico [0,2000] in 5 anni.

- Sotto-utilizzo (FL)
- Utilizzo nella norma (FM)
- Sovra-utilizzo (FH)

Si supponga adesso che l'andamento delle funzioni di appartenenza delle due variabili definite sia quello indicato in figura.



Introduciamo adesso la variabile fuzzy relativa alla durabilità che dipende dalle due precedenti e può assumere i valori linguistici:

- Infisso poco durevole (DL)
- Infisso durevole secondo previsione (DM)
- Infisso molto durevole (DH)

in un intervallo [0,100]

A questo punto bisogna definire la regola che lega le tre variabili e a questo scopo utilizziamo una matrice di correlazione.

Esposizione \ Fatigue (uso)	EL	EM	EH
FL	DH	DM	DM
FM	DH	DM	DL
FH	DM	DL	DL



Adesso dovrebbe essere possibile tracciare la membership function (μ) della durabilità dell'infisso.

Una volta che si è in possesso di questa funzione, la si deve combinare con la variabile manutenzione per ottenere la variabile d'interesse ossia quella che descrive il tempo di durata dell'infisso.

Per la manutenzione assumiamo ancora l'intervallo [0,100] corrispondente alle seguenti definizioni linguistiche:

- Assenza di manutenzione (ML)
- Manutenzione Media eseguita occasionalmente (MM)
- Manutenzione Corretta eseguita ad intervalli stabiliti (MH)

Per la variabile *working life*, dipendente dalle variabili durabilità e manutenzione, consideriamo il tempo come variabile fuzzy capace di assumere valori [3,20] anni. Il *term set* di riferimento è il seguente:

- Tempo molto inferiore a quello previsto (WVL)
- Tempo inferiore a quello previsto (WL)
- Tempo previsto (WM)
- Tempo superiore a quello previsto (WH)
- Tempo molto superiore a quello previsto (WVH)

Utilizziamo ancora una matrice di correlazione per stabilire il legame tra le variabili.

Durabilità \ Manutenzione	DL	DM	DH
ML	WVH	WL	WM
MM	WM	WM	WH
MH	WH	WH	WVH

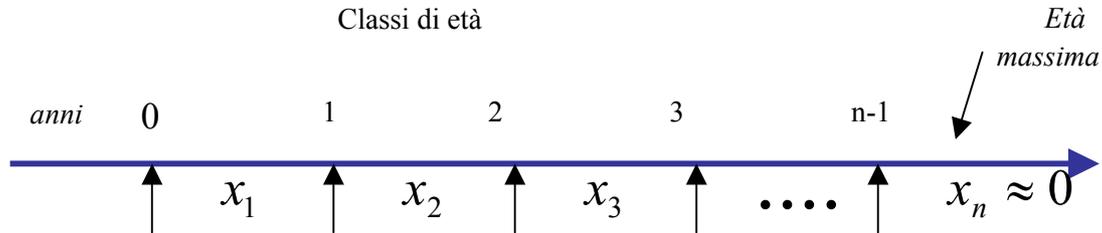
dovrebbe essere possibile, a questo punto, tracciare la membership function (μ) dell'*actual working life* dell'infisso.



7.3 Ipotesi di applicazione della matrice di Leslie

Per facilitare la comprensione dell'applicazione, si ripropone il modello di Leslie già visto.

Si vuole studiare l'andamento nel tempo di una popolazione la cui sopravvivenza e fertilità dipendono dall'età. Gli individui della popolazione sono distinti in base all'età, misurata in multipli del periodo riproduttivo.



Variabili di stato:

- $x_1(t), \dots, x_n(t)$ Numero di femmine che all'inizio del periodo t hanno età $1, 2, \dots, n$

Variabili di uscita

- Popolazione totale $y(t) = (1 \dots 1)x(t)$

Parametri:

- s_i = probabilità di sopravvivenza all'età i .
- f_i = tasso di riproduzione relativo all'età i

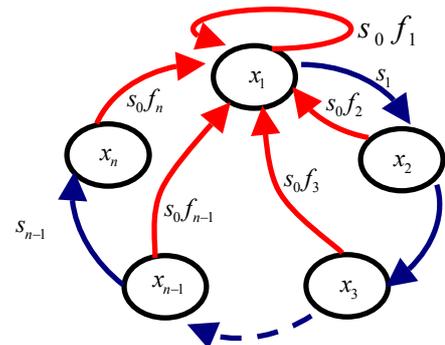
Modello dinamico nello spazio di stato

- Equazione vettoriale
$$x(t+1) = Ax(t)$$

Forma matriciale: Matrice di Leslie

$$\begin{bmatrix} x_{1,t+1} \\ x_{2,t+1} \\ x_{3,t+1} \\ \vdots \\ x_{n,t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 f_1 & s_0 f_2 & \dots & s_0 f_{n-1} & s_0 f_n \\ s_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & s_{n-1} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Grafo di influenza del sistema di Leslie



Esempio applicativo

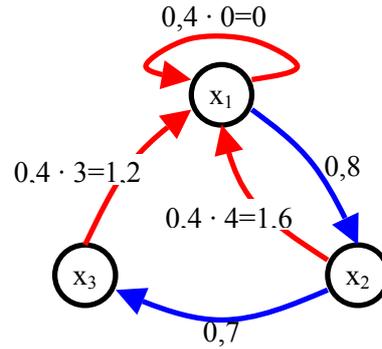
Si consideri una popolazione dove:

- Gli individui vivono al massimo 3 anni
- Il rapporto tra i sessi è 1:1 (il 50% degli individui sono femmine)
- Le femmine di 1 anno di età non sono riproduttive ($f_1 = 0$), le femmine di 2 anni producono in media 8 piccoli ($f_2 = 4$), quelle di 3 anni producono 6 piccoli ($f_3 = 3$)
- IL 40% dei piccoli sopravvive dalla nascita fino al raggiungimento del primo anno di età, l'80% degli individui sopravvive dal primo al secondo anno di età, mentre il 70% sopravvive dal secondo al terzo anno di vita.
- Al tempo t la popolazione è di 40 individui di età 1, 0 di età 2 e 20 di età 3.



$$\begin{aligned} s_0 &= 0,4 & f_1 &= 0 \\ s_1 &= 0,8 & f_2 &= 4 \\ s_2 &= 0,7 & f_3 &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} x_{1(t+1)} \\ x_{2(t+1)} \\ x_{3(t+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1,6 & 1,2 \\ 0,8 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 40 \\ 0 \\ 20 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 24 \\ 32 \\ 0 \end{bmatrix}$$



Applicazione alla classe di elementi tecnici infissi esterni

Si vuole studiare la distribuzione nel tempo del numero di infissi che periodicamente sono soggetti ad interventi di manutenzione o sostituzione.

Si ipotizzano tre possibili stati a cui corrispondono altrettanti tipi di interventi:

- 1 = Infissi in buono stato di conservazione
- 2 = Infissi che necessitano di manutenzione
- 3 = Infissi da sostituire

Si ammette inoltre che al termine di ogni periodo T (supposto, per esempio, uguale a 3 anni) il 60% degli infissi passi dallo stato 1 allo stato 2, il 10% dallo stato 1 allo stato 3 e il 30% dallo stato 2 allo stato 3; infine si considera di dover restituire tutti gli infissi allo stato 1 alla fine di ogni periodo.



Popolazione → insieme N delle finestre dell'edificio

Classi di età → stato di conservazione al tempo t

Variabili di stato: $x_1(t), \dots, x_n(t)$

 x_1 = numero di infissi allo stato 1

 x_2 = numero di infissi allo stato 2

 x_3 = numero di infissi allo stato 3

$$\sum_{i=1}^n x_i(t) = N \quad \forall t \geq 0 \quad \text{il numero di finestre è costante}$$

Invecchiamento

$$x_{i+1}(t+1) = s_i x_i(t), i = 1, 2, \dots, n-1$$

s_i = Inaffidabilità (sopravvivenza) relativa allo stato i .

$$s_0 = 1$$

$$s_1 = 0,6$$

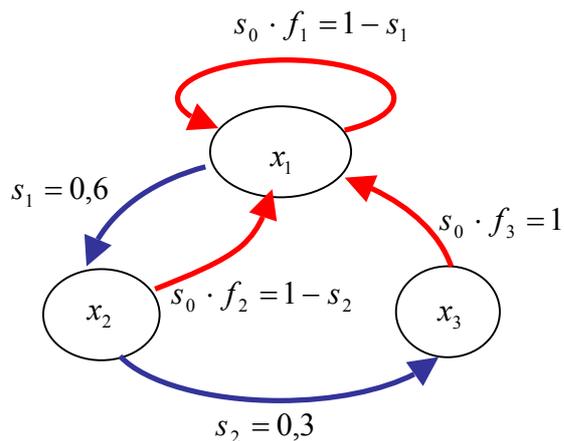
$$s_2 = 0,3$$

Riproduzione → Ripristino della funzionalità

$$f_1 = 1 - s_1$$

$$f_2 = 1 - s_2$$

$$f_3 = 1$$



È possibile determinare lo stato del sistema utilizzando la matrice di transizione e applicando la relazione ricorsiva per calcolare la distribuzione della popolazione negli anni.

$$\begin{bmatrix} x_{1(t+1)} \\ x_{2(t+1)} \\ x_{3(t+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - s_1 & 1 - s_2 & 1 \\ s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \\ x_{3t} \end{bmatrix}$$

Supponendo che il numero di finestre sia 1000, applicando la regola di ricorsione si avrà la seguente distribuzione.

Periodo	Stato 1	Stato 2	Stato 3
0	1000	0	0
1	600	400	0
2	580	240	180
3	580	348	72
4	548	348	104
5	567	329	104
6	561	340	99
7	561	337	102
8	562	337	101
9	562	337	101

Se il periodo considerato è di 3 anni, dopo 24 anni la distribuzione della popolazione raggiunge lo stato stazionario.

Considerando i costi di riparazione e sostituzione, è possibile calcolare il costo di manutenzione degli infissi esterni durante tutto il ciclo di vita utile dell'immobile.



Bibliografia

CAPITOLO 1: MODELLI PER IL SISTEMA TECNOLOGICO

Bibliografia di base

AA.VV.

(1989), *Progetto Finalizzato Edilizia - CNR*, Atti del 1° Convegno Nazionale, Sorrento 3-4-5 maggio 1989.

Baudrillard, J.

(1974), *Pour une critique de l'économie politique du signe*, Gallimard, Paris, 1972, traduzione italiana, *Per una critica dell'economia politica del segno*, Mazzotta, Milano.

Bertalanffy von, L.

(1977), *General Systems Theory*, New York, 1968 edizione italiana, *Teoria Generale dei Sistemi*, ISEDI, Milano.

Campioli, A.

(1997), La copertura nella manualistica. Regola d'arte e approccio prestazionale, *Costruire in laterizio* n.59

Caturano, U.

(2003), *Tecnologia e architettura. Elementi per una introduzione*, Cuen, Napoli.

Chemillier, P.

(1986), *Sciences et bâtiment, la démarche scientifique appliquée à la construction, cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées - CSTB, Paris.

Ciribini, G.

(1979), *Introduzione alla tecnologia del design. Metodi e strumenti logici per la progettazione dell'ambiente costruito*, Franco Angeli, Milano.

Ciribini, G.

(1984), *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino.

Mecca, S.

(2000), *Appunti sulla nozione di progetto e sul performance approach*, <http://www.ing.unian.it>

Nardi, G., Bianchi, R., Luchi, M., Turrini, M.

(1982), *Le norme tecniche e i progetti tipo della Regione Lombardia*, clup, Milano.

Uniedil 2000

UNI 8290-1:1981 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.*

UNI 8290-2:1987 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti.*

UNI 8290-3:1986 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti.*

UNI 9038:1987 *Guida per la stesura di schede tecniche per prodotti e servizi*

Vetriani, G. e Marolda, M.C.,

(1983), *Piano di classificazione PC/SfB*, ITEC, Milano.

Bibliografia generale di riferimento

AA.VV.

(1984), *La regola e il comportamento*, Franco Angeli, Milano.

Alexander, C.

(1967), *Note sulla sintesi della forma*, Il Saggiatore, Milano.

Allen, E.

(1983), *Come funzionano gli edifici*, Dedalo, Bari.



Carrara, G., Novembri, G.

(1985), *XAAD A knowledge based design system in architecture, eCAADe proceedings of 4th European conference on Research and Teaching Experiences*, Roma.

Carrara, G., Novembri, G.

(1985), *Expert system for building design, CIB. 86, International Council for Building Research Studies and Documentation" proceedings of the 10th triennial conference*, Washington D.C.,

Caturano U. (a cura di)

(1992), *Tecnologie informatiche per la progettazione assistita*, Tesi di laurea di Carlo Sanseverino di Marcellinara, Quaderno due, DCAA Napoli.

De Grassi, M.

(1988), *Una rappresentazione formalizzata dell'oggetto edilizio*, R.R.3 G.N.P.E., C.N.R. .

Kalay, Y.E.

(1992), *Principles of Computer Aided Design: Evaluating and Predicting Design Performance*, John Wiley & Sons, New York.

Manzini Ezio (a cura di)

(1985), *L'architettura e la complessità del costruire*, ed clup, Milano.

Schiaffonati, F. e al.

(1983), *Progetto e decisione*, Gissea, Milano.



CAPITOLO 2: GESTIONE DEL SISTEMA TECNOLOGICO

Bibliografia di base

AA.VV.

(1979), *Normativa tecnica ed industrializzazione edilizia*, L.Parma Editore, Bologna.

Baldi, C., Sanvito M.

(2001), *La gestione della qualità nel processo edilizio*, UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

Cervini, R., Pone, E., Riccio, A.

(2004), *Manutenibilità degli impianti*, in *Manutenzione, Tecnica e Management* - aprile 2004
<http://www.aiman.com/>

Ciribini, G.

(1979), *Introduzione alla tecnologia del design. Metodi e strumenti logici per la progettazione dell'ambiente costruito*, Franco Angeli, Milano.

D'Alessandro, M. (a cura di)

(1994), *Dalla manutenzione alla manutenibilità. La previsione dell'obsolescenza in fase di progetto*, Franco angeli, Milano.

Fedele, F., Furlanetto, L., Saccaridi, D.

(2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano.

Maggi, P.M. (a cura di)

(2001), *La qualità tecnologica dei componenti edilizi. La valutazione della durabilità. Risultati della prima fase sperimentale*, Epitesto, Milano.

Uniedil 2000

UNI 10722-1:1988 *Qualificazione e controllo del progetto edilizio di nuove costruzioni.*

UNI 10723:1988 *Processo edilizio - Classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione.*

UNI 10838: 1999 *Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia.*

UNI 10998:2002 *Archivi di gestione immobiliare - Criteri di costituzione e cura.*

Bibliografia generale di riferimento

Andreucci, A., Del Nord, R., Felli, P.

(1988), "Progettare l'obsolescenza", *Modulo*, n. 141.

Blischke, W.R., Prabhakar Murthy D.N.

(2000), *Reliability - Modeling, Prediction and Optimization*, John Wiley & Sons, New York.

Collegio degli ingegneri di Milano

(1986), *Le opere in calcestruzzo. Durabilità, protezione, ripristino*, Clup, Milano.

Curcio, S. (a cura di)

(2003), *Lessico del Facility Management. Gestione integrata e manutenzione degli edifici e dei patrimoni immobiliari*, Il Sole 24 Ore, Milano.

D'Alessio, T., Meucci, G., Somma, R.

(1987), *I metodi dell'affidabilità*, Franco Angeli, Milano.

De Grassi, M.

(1984), *Organizzazione e controllo del processo edilizio*, ed. Vestro, Roma.

W.G. Schneeweiss,

(2001), *Reliability Modeling*, LiLoLe-Verlag, Hagen.

Nicolella, M.

(2000), *Affidabilità e durabilità degli elementi costruttivi in edilizia*, CUEN, Napoli.

Polese, N.

(2000), *Misure della Gestione. Assicurazione di qualità, logiche decisionali, progettazione degli esperimenti, normativa*, ed ESI, Napoli.



CAPITOLO 3: MODELLO UNI PER IL PROCESSO MANUTENTIVO

Bibliografia di base

Baldi, C., Sanvito M.

(2001), *La gestione della qualità nel processo edilizio*, UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

D'Alessandro, M. (a cura di)

(1994), *Dalla manutenzione alla manutenibilità. La previsione dell'obsolescenza in fase di progetto*, Franco Angeli, Milano.

De Angelis E. (a cura di)

(2003), *Un archivio aperto di casi di guasto a supporto del progetto e della gestione dei sistemi tecnologici edili*, Dipartimento di Scienza e Tecnologie dell'Ambiente BEST (Costruito Building & Environment Science & Technology) e Laboratorio di Patologia Edilizia – BPLab del Politecnico di Milano <http://www.oopp.regione.lombardia.it/>

De Angelis E. (a cura di)

(2003), *Il controllo del progetto*, Dipartimento di Scienza e Tecnologie dell'Ambiente BEST (Costruito Building & Environment Science & Technology) e Laboratorio di Patologia Edilizia – BPLab del Politecnico di Milano <http://www.oopp.regione.lombardia.it/>

Della Torre, S. et al.

(2003), *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico*, Guerini e Associati, Milano.

Fedele, F., Furlanetto, L., Saccaridi, D.

(2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano.

Uniedil 200

UNI 10831-1:1999 *Documentazione ed informazioni di base per il servizio di manutenzione da produrre per i progetti dichiarati eseguibili ed eseguiti - Struttura, contenuti e livelli della documentazione.*

UNI 10831-2:2001 *Documentazione ed informazioni di base per il servizio di manutenzione da produrre per i progetti dichiarati eseguibili ed eseguiti - Articolazione dei contenuti della documentazione tecnica e unificazione dei tipi di elaborato.*

UNI 10874:2000 *Criteri di stesura dei manuali d'uso e di manutenzione.*

Riferimenti legislativi

Legge Quadro in materia di lavori pubblici n° - Legge 11 febbraio 1994 n. 109

Regolamento d'attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici DPR 21 dicembre 1999 n. 554

Bibliografia generale di riferimento

Accatino, M.T., Viglianti, G.

(1987), *La manutenzione degli edifici residenziali*, Nis, Roma.

Andreucci, A., Del Nord, R., Felli, P.

(1988), "La manutenzione programmata", *Modulo*, n. 142.

Babbo, D., Fedele, L., Tronci, M.

(2001), *La manutenzione: dalla manutenzione su guasto alla manutenzione migliorativa*, Esagrafica, Roma.

Curcio, S. (a cura di)

(2003), *Lessico del Facility Management Gestione integrata e manutenzione degli edifici e dei patrimoni immobiliari*, *Il Sole 24 Ore*, Milano.

Curcio, S. (a cura di)

(1999), *Manutenzione dei patrimoni immobiliari. Modelli, Strumenti e Servizi innovativi*, Maggioli Editore, Rimini.

Fedele, L., Tronci, M.



(2003), *Analisi del costo del ciclo di vita di un impianto industriale per la definizione della politica di manutenzione ottimale*, ANIMP, Roma.

Marsocci, L.

(2000), *“Il Programma di Manutenzione” Linee guida per la compilazione*, Dei, Roma.

Marsocci, L.

(2000), *“Il Manuale di Manutenzione” Linee guida per la compilazione*, Dei, Roma.

Marsocci, L.

(2000), *“Il Manuale d’uso e Conduzione” Linee guida per la compilazione*, Dei, Roma.

Molinari, C.

(1989), *Manutenzione in edilizia. Nozioni, problemi, prospettive*, Angeli, Milano.

Molinari, C.

(2002), *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. La manutenzione come requisito di progetto - Vol. I°*, Esselibri-Simone, Napoli.

Tiveron, A.

(1990), *La manutenzione*, Dei, Roma.



CAPITOLO 4: GENESI DELLA TEORIA DEI SISTEMI DINAMICI.

Bibliografia di base

AA.VV.

(1991), *Sul determinismo*, Il Saggiatore, 1991, (Raccolta di articoli) Recensione a cura di Krzysztof Pomian www.ica-net.it/quintern/2000_todayrivista

Bellavite, P.

(1998), *Scienza e mistero*, ed. La Scuola, Brescia.

Bertalanffy von, L.

(1977), *General Systems Theory*, New York, 1968 edizione italiana, *Teoria Generale dei Sistemi*, ISEDI, Milano.

Bettelli, O.

Modelli per sistemi complessi, <http://newk.alma.unibo.it/>

Capra, F.

(2001), *The web of life*, New York, 1996; traduzione italiana "La rete della vita" di Capararo, C., Biblioteca Universale Rizzoli, Milano.

Ciribini, G.

(1979), *Introduzione alla tecnologia del design. Metodi e strumenti logici per la progettazione dell'ambiente costruito*, Franco Angeli, Milano.

Ciribini, G.

(1984), *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino.

Morin, E.

(1983), *La méthode. I. La nature de la nature*, Éditions du Seuil, Paris, 1977; traduzione italiana "Il metodo. Ordine, disordine, organizzazione", di Bocchi, G., Giacomo Feltrinelli, Milano.

Sforza, A.

(2002), *Modelli e metodi della ricerca operativa*, ed.ESI, Napoli.

van Gelder, T.

(1998), *L'ipotesi dinamica nelle scienze cognitive*, 1997, Traduzione italiana di Borrelli E www.rescogitans.it/ita/scenari/neuroscienze

Bibliografia generale di riferimento

Asbhy, W.R.

(1975), *An Introduction to Cybernetics*, Beccles Colchester, London.

Checkland, P.

(1981), *Systems Thinking, Systems Practice*, Chichester, Wiley.

Emery F.E.

(1989), *La teoria dei sistemi*, Franco Angeli, Milano.

Forrester, J. W.

(1974), *Principi dei sistemi*, ETAS Libri Milano.

Hannon, B., Ruth, M.

(1994), *Dynamic Modeling*, Springer Verlag, New York.

Maturana H., R., Varela, F. J.

(1987), *Tree of Knowledge*, Shambala.

O' Connor J. et al,

(1987), *The Art of Systems Thinking*, Thorsons, London.

Richardson, G.P.

(1996), *Modeling for Management 1 and 2, Simulation in Support of Systems Thinking*, Publishing Company Limited, Dartmouth.

Wiener, N.

(1948), *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge.



Siti Web

- <http://www.euros.ge.it/italiano/> La società è un centro di ricerca privato ed ha per oggetto: la ricerca, la progettazione, la realizzazione e la diffusione a livello Comunitario di tecnologie urbane ad alta affinità ambientale
- <http://www.geocities.com/designmode/> (Inghilterra) A site devoted to theories of systematic Change Development and Evolution in Architecture and to the concept of architecture as a Complex Dynamic System (Alex Brown)
- <http://www.ncst.ernet.in/kbcs/vivek/issues/13.3/weiming/node13.html>
- <http://www.cs.vu.nl/~eliens/online/oo/II/7/architecture.html> Edimburgo (sito di sviluppo software che indica le analogie con il campo dell'architettura)
- <http://www.ark3.lth.se/> Svizzera Department of Architecture and Development Studies
- http://www-2.cs.cmu.edu/afs/cs/project/able/www/paper_abstracts/wright-fase98.html A critical issue for complex component-based systems design is the modeling and analysis of architecture. One of the complicating factors in developing architectural models is accounting for systems whose architecture changes dynamically (during run time). This is because dynamic changes to architectural structure may interact in subtle ways with on-going computations of the system
- http://www.architectonline.it/architects_england.htm Architecture as Dynamic System
- www.geocities.com/ResearchTriangle/Thinktank/1036/index.html Milano
SystemAnalysis e' un progetto che si prefigge l'obiettivo di mettere a disposizione supporti decisionali e gestionali avanzati -Responsabile e coordinatore: Dr. Rafael Prugger
- www.pespmc1.vub.ac.be/DEFAULT.html Belgio
prof. Valentin F. Turchin (informatico USA), dott. Cliff Joslyn (biologo USA), prof. Francis Heylighen (matematico Belgio) dott. Johan Bollen (ingegnere elettronico Belgio)
- <http://www.sgzz.ch/> Svizzera
Prof. Dr. Hans Georg Graf (economista)
- <http://sysdyn.clexchange.org/> diretto da un gruppo di studenti della Sloan School of Management at the Massachusetts Institute of Technology, che lavorano sotto la guida del Professor Jay W. Forrester, il fondatore del system dynamics.
- <http://www.albany.edu/cpr/sds/index.html> La "System Dynamics Society" è un'organizzazione no-profit internazionale rivolta ad incoraggiare lo sviluppo e l'uso del "systems thinking" and "system dynamics" nel mondo.



CAPITOLO 5: DISCIPLINE, METODI E STRUMENTI PER LA MODELLAZIONE DEI SISTEMI DINAMICI

Bibliografia di base

- Belforte, G.
(2002), *Modelli matematici*, <http://corsiadistanza.polito.it/>
- Bologna, S.
(2002), *Modellistica e Simulazione Non-numerica di Sistemi Complessi*, <http://tisgi.casaccia.enea.it>
- Chinellato, E.
(1998), *Gestione intelligente di scorte con logica fuzzy*, tesi di laurea, a.a. 1997/98, relatore prof. Bolognini S., Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali dell'Università degli Studi di Padova.
- Ciribini, G.
(1979), *Introduzione alla tecnologia del design. Metodi e strumenti logici per la progettazione dell'ambiente costruito*, Franco Angeli, Milano.
- D'Angiò L,
(1999), *Sui modelli matematici del mondo reale*, <http://riemann.unica.it/>
- Dolci, P.
(2002), *Dinamica dei sistemi – modelli per le applicazioni economiche*, Workshop a Treviso, 21 giugno 2002
- Donatelli, M.
(1995), *Sistemi nella gestione integrata delle colture - Appunti dalle lezioni*, Pubblicazione speciale dell'ISA-Sezione di Modena, Modena.
- Dotoli, M.
(2001), *Introduzione al controlli automatici*, <http://www-dee.poliba.it/>
- Farina, L.
(2003), *Corso di Modellistica e simulazione*, <http://www.dis.uniroma1.it>
- Fedele, F., Furlanetto, L., Saccaridi, D. (2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano.
- Monaco, S.
(2002), *Teoria dei Sistemi*, <http://sistemi.ing.uniroma1.it>
- P. Valigi,
(2003), *Modellazione di sistemi dinamici*, <http://www.diei.unipg.it/>
- Perugini, D., Poli, G.
(2003), *La Teoria del Caos e le Scienze della Terra*, <http://www.dst.unipi.it>
- Ricci, P.
(2002), *Equazioni alle differenze*, <http://www.math.unifi.it/>
- Rocco, P.
(2003), *Dispense di Automatica*, <http://www.elet.polimi.it/upload/rocco>
- Sforza, A.
(2002), *Modelli e metodi della ricerca operativa*, ed.ESI, Napoli.
- Sirabella P., Colosimo A.
(1993), *Le reti neurali artificiali e loro applicazioni d'interesse biologico*, <http://scienze cognitive.unime.it/>
- Tonielli, A.
(2003), *Introduzione al corso di controlli automatici*, <http://www-lar.deis.unibo.it>
- Tonielli, A.
(2003), *Sistemi fisici e loro modelli*, <http://www-lar.deis.unibo.it>



Bibliografia generale di riferimento

Bianchi, C.

(1996), *Modelli contabili e modelli "dinamici" per il controllo di gestione in un'ottica strategica*, Giuffrè, Milano.

Bruno, G.

(2003), *Operations Management. Modelli e metodi*, ed ESI, Napoli.

Comincioli, V.

(1993), *Problemi e modelli matematici nelle scienze applicate*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

Murray, J.

(1989), *Mathematical Biology*, Springer- Verlag.

Smith, J.M.

(1975), *L'ecologia e i suoi modelli*, Mondadori, Milano.

Siti Web

- (<http://pc-ambiente.como.polimi.it/model/schede/>) (Modelli per lo studio e il controllo dei sistemi biologici agro forestali)
- www.orsoc.org.uk The British Operational Research Society
La loro rivista mensile è un eccellente risorsa sullo stato dell'arte sulla teoria e l'applicazione nel settore della ricerca operativa
- www.informs.org Institute for Operations Research and the Management Sciences (USA)
- www.mcs.anl.gov The Optimization Technology Center (USA)
- <http://www.beopt.eu.org/> sito dell'AIRO (Associazione Italiana di Ricerca Operativa) Genova



CAPITOLO 6: METODOLOGIE PROPOSTE DALLA NORMATIVA PER LA STIMA DELLA DURABILITÀ

Bibliografia di base

Lacasse, M.A.; Sjoström, C.

(2004), *Recent advances in methods for service life prediction of building materials and components – an overview*, <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/nrcc47030/nrcc47030.pdf>

Lacasse, M.A.; Sjoström, C.

(2003), *Methods for service life prediction of building materials and components – recent activities of the CIB W80/RILEM 175-SLM*, <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/nrcc45691/nrcc45691.pdf>

Lair, J., Sjöström, C.

(2003), *Performance Based Building – Some implications on Construction Materials and Components*,

<http://www.pebbu.nl/maincomponents/scientificdomains/domain1/domainresources/downloads/ILCDES.pdf>

Maggi, P.M. (a cura di)

(2001), *La qualità tecnologica dei componenti edilizi. La valutazione della durabilità. Risultati della prima fase sperimentale*, Epitesto, Milano.

Moser, K., Edvardsen, C.

(2002), *Engineering Design Methods for Service Life Prediction*,

<http://www.pebbu.nl/maincomponents/scientificdomains/domain1/domainresources/downloads/Moser.pdf>

Normativa

- *Construction Products Directive - 89/106/EEC*- Direttiva del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione.
- *Construction Products Directive - 89/106/EEC- Guidance paper f- Durability and the construction products directive (Revision xxx) CONSTRUCT 04/655, N 156*
- U86000053 Progetto di norma sulla “Valutazione della durabilità di componenti edilizi”.
- BSI 7543:1992 “*Guide to durability of buildings and building elements, product and components*”

Quaderni Uncsaal,

La marcatura CE per le facciate strutturali. La guida tecnica EOTA ETAG 2002, www.uncsaal.it.

Bibliografia generale di riferimento

Hovde, P.J.

(2003), *Factor methods for service life prediction – A state of the art*, Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.

Moser, K.

(2003), Task Group ‘Engineering Design’: *Performance-based Methods of Service Life Prediction: State of the Art*, Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM, EMPA, Swiss.

Siemes, T.

(2003), Task Group ‘Probabilistic methods’: *Performance-based Methods of Service Life Prediction: State of the Art*, Report of CIB W80/RILEM TC 175-SLM, Building and Construction Research, Delft, The Netherlands.



CAPITOLO 7: INDIVIDUAZIONE DELLE POTENZIALITÀ DI TRASFERIMENTO NELL'AMBITO EDILIZIO

Farina, L.

(2003), Corso di *Modelli dinamici per l'ingegneria gestionale*,
<http://www.dis.uniroma1.it/~farina/Didattica/Mdig/leslie.pdf>

Fedele, F., Furlanetto, L., Saccaridi, D.

(2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano.

Gatto, M.

(2003), Materiale didattico, *Corso di Ecologia 1*,
<http://www.elet.polimi.it/upload/gatto/ecologia1/lezioni/06-Leslie.pdf>

P. Valigi,

(2003), Materiale didattico, *Corso di Teoria dei sistemi (Gestione dei sistemi produttivi)*
http://www.diei.unipg.it/DIDATTICA/CORSI/valigi/AdS_Modelli.pdf