



Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA

in ARCHITETTURA

Ciclo XXVIII

TITOLO TESI

***LA SIMULAZIONE IN ARCHITETTURA
PER IL CONTROLLO DEI CONSUMI ENERGETICI
E DEL TERRITORIO
NEGLI APPALTI PUBBLICI (VERDI)***

Settore scientifico disciplinare di afferenza

ICAR/11 - PRODUZIONE EDILIZIA

Presentata da: Barbara Orgiano
Coordinatore Dottorato prof. Ing. E. Abis
Tutor prof. Ing. C. Argiolas

Esame finale anno accademico 2014 – 2015

Il presente lavoro di Ricerca è stato finanziato
con borsa di studio triennale
ex D.M. n. 198/2003.

RINGRAZIAMENTI

Alla mia splendida famiglia;

Al Prof. Carlo Argiolas e tutto il gruppo di lavoro frequentato in questi anni:
Annetta, Emanuela, Martina e Monica.
Per aver condiviso con me il percorso lavorativo e di ricerca,

Grazie.

“Io sono me più il mio ambiente
e se non preservò quest'ultimo
non preservò me stesso.”

JOSÉ ORTEGA Y GASSET

INDICE

Introduzione e struttura della ricerca

I. Premessa	... 1
II. Parole chiave	... 2
III. Ambito di indagine	... 2
IV. Articolazione del Lavoro	... 3

Capitolo 1

GLI APPALTI PUBBLICI VERDI:

L'EVOLUZIONE GREEN DEGLI APPALTI, ALLA LUCE DELLE NUOVE NORME COMUNITARIE

1.1 Il ruolo essenziale del <i>Green Public Procurement</i>	... 5
1.1.1 Il significato del <i>GPP</i>	... 7
1.1.2 Il <i>GPP</i> nel Mondo	...13
1.1.3 Il <i>GPP</i> in Europa	...16
1.1.3.1 La Direttiva Comunitaria in ambito di Appalti (2004/18/CE)	...20
1.1.3.2 Le nuove Direttive Comunitarie in ambito di Appalti (2014/23/CE, 2014/24/CE e 2014/25/CE)	...23
1.1.4 Il <i>GPP</i> in Italia	...32
1.1.4.1 Il Piano di Azione Nazionale per il <i>GPP</i> (<i>PAN GPP</i>) e la definizione dei Criteri Ambientali Minimi (<i>CAM</i>)	...34
1.1.5 Il <i>GPP</i> in Sardegna: il marchio " <i>Sardegna compra verde</i> "	...38

1.1.5.1 Con il Comune di Cagliari verso l'ottenimento del marchio "Sardegna compra verde": collaborazione e (possibili) sviluppi futuri	...41
1.2 I nuovi punti cardine dell'appalto	
1.2.1 La valutazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa	...45
1.2.2 Il <i>Life Cycle Assessment</i>	...47
1.2.2.1 Il <i>Life Cycle Assessment</i> in edilizia: vantaggi e limiti	...49
1.2.2.2 Il <i>Life Cycle Assessment</i> in edilizia: fase gestionale	...51
1.2.3 La riqualificazione e gestione dell'esistente	...53

Capitolo 2

L'IMPORTANZA DEGLI APPALTI VERDI NELLA RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI: LA SIMULAZIONE COME SUPPORTO ALLA GARA D'APPALTO

2.1 La simulazione nella filosofia <i>BIM</i>	...56
2.1.1 Il <i>Building Information Modelling</i> : nuovo approccio al processo	...57
2.1.2 Interoperabilità e informazione condivisa	...61
2.1.3 Il <i>Model Checking</i> e la <i>BIM Validation</i> , per un controllo efficace del progetto	...64
2.2 <i>BIM e retrofitting</i> : digitalizzazione e gestione del patrimonio esistente	
2.2.1 La riqualificazione del patrimonio edilizio esistente	...73
2.2.2 La simulazione come base per la programmazione degli interventi	...76
2.2.3 <i>BIM surveying</i> : dal rilievo alla modellazione integrata	...78
2.2.4 Il laser scanning: rilievo 3d e restituzione	...81
2.2.4.1 Modellazione e progettazione <i>BIM</i> per il costruito	...88

Capitolo 3
SIMULAZIONE E CONTROLLO DEI CONSUMI:
PREMESSA STRATEGICA PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO
PUBBLICO ESISTENTE

3.1 La simulazione delle prestazioni degli edifici	...94
3.1.1 Regime stazionario <i>versus</i> regime dinamico	...96
3.1.2 La modellazione in regime dinamico	...98
3.1.3 Modellazione dettagliata e modellazione ridotta	102
3.2 Caso studio: la modellazione di un Ospedale	103
3.2.1 La modellazione di un Ospedale	105
3.2.2.1 Il software <i>Dymola</i>	105
3.2.2.2 La definizione della struttura	106
3.2.2.3 La definizione degli impianti	110
3.2.2 Gestione e semplificazione del modello dinamico	119

Capitolo 4
CONTROLLO DEI CONSUMI ATTRAVERSO UN MODELLO RIDOTTO CON LE RETI
BAYESIANE

4.1 Le <i>reti bayesiane</i>	120
4.1.1 L'approccio <i>bayesiano</i> alla teoria delle probabilità	127
4.1.2 Inferenza e <i>reti bayesiane</i>	130
4.2 Elaborazione di una <i>rete bayesiana</i> per il caso studio	133
4.2.1 Studio del sistema Ospedale	133
4.2.2 Topologia della rete	137

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	142
BIBLIOGRAFIA	144
SITOGRAFIA	148
CONVEGNI & PUBBLICAZIONI	150

- Introduzione e struttura della ricerca -

I. Premessa

La presente ricerca mira a mettere in luce come la simulazione si ponga oggi al centro dell'evoluzione del processo edilizio nell'ambito degli Appalti Pubblici (verdi), muovendosi su uno sfondo co-abitato da altri due grandi protagonisti: ambiente e tecnologia.

L'attenzione verso l'ambiente non è certo una novità, tuttavia, giorno dopo giorno, pare assumere ruolo fondamentale all'interno del processo decisionale che muove il legislatore nella formulazione dell'apparato normativo che regola le nostre attività.

Così, ecco che le tematiche ambientali permeano sempre più le disposizioni locali, nazionali e comunitarie, invitando ad un approccio "verde" in molti ambiti della nostra quotidianità.

Anche la componente tecnologica è in costante ascesa ed è per questo che appare interessante un'indagine più approfondita che provi a delineare quali siano oggi i margini di influenza dell'una e dell'altra e come entrambe possano coesistere, cercando di tracciare i rispettivi contributi all'interno dello sviluppo del processo edilizio, sempre con un occhio di riguardo al mondo degli Appalti Pubblici.

Infatti, nonostante la crisi economica che stiamo vivendo, il mondo degli Appalti continua a muovere ingenti quantità di risorse, umane e materiali, influenzando ancora molto il mercato e rappresentando una componente fondamentale per il PIL nazionale. A tal proposito, i dati della Commissione Europea del 2014 parlano chiaro: nel nostro Paese, circa il 15% del PIL afferisce alla sfera degli Appalti Pubblici; quota parte assai elevata e, per questo, certamente non trascurabile all'interno della presente riflessione.

La presente ricerca si pone come obiettivo quello di mostrare come la gestione del patrimonio pubblico esistente oggi possa e debba essere condotta dalle Pubbliche Amministrazioni integrando gli aspetti meramente economici con

l'esigenza di tutelare i valori extra-commerciali, nei quali rientrano aspetti sociali, etici ed ambientali.

Ambiente e Tecnologia, infatti, si stanno configurando sempre più come i principali protagonisti della scena politica mondiale, determinando in modo incisivo le Direttive comunitarie e nazionali. Il concetto di "sostenibilità" si allarga a nuove sfumature, inglobando al suo interno diverse sfaccettature prima ignorate e stimolando ad obiettivi sempre più alti e ambiziosi.

II. Parole chiave

Le parole chiave attorno a cui si è sviluppata la presente ricerca sono le seguenti:

- Appalti pubblici
- Appalti verdi
- Risparmio energetico
- Controllo/gestione
- Simulazione/Tecnologia BIM

III. Ambito di indagine

Come anticipato in premessa, l'ambito che si è voluto indagare è il mondo degli Appalti Pubblici e la sua relazione con le problematiche di sostenibilità e risparmio energetico.

Infatti, l'impulso dato dalle nuove Direttive al mondo degli Appalti, ci consente oggi di parlare con sempre più frequenza di **Appalti "verdi"**, facendo ben emergere quindi come le tematiche ambientali permeino le procedure ad evidenza pubblica e le gare di Appalto in generale.

Ecco allora che, in un contesto internazionale e locale in cui l'attenzione al minor consumo in termini di prestazioni energetiche ed emissioni in atmosfera la fanno da padrona, si senta in modo assai forte l'esigenza di una innovazione tecnologica che possa consentire una più efficace progettazione e gestione dell'intero processo edilizio.

Di conseguenza, l'attenzione è passata in modo naturale ai vantaggi offerti dalla **simulazione**, poiché si ritiene che grazie ad essa oggi si possano compiere molti passi avanti nell'assegnazione delle risorse, nonché nella loro gestione.

Simulazione intesa come strumento di supporto alla fase decisionale e, soprattutto, a quella gestionale, vista l'ingente quantità di immobili oggi esistenti e poco prestanti da un punto di vista termico/energetico.

Grazie alla simulazione, sarà possibile compiere delle scelte mirate, basate su risultati attesi visualizzabili ancora prima che vengano effettivamente realizzati. Non solo, si potranno anche compiere interventi di riqualificazione dell'esistente, monitorando i consumi e intervenendo in tempo reale, grazie a sistemi di controllo dinamico, gestibili in tempo reale.

IV. Articolazione del Lavoro

Il lavoro svolto in tre anni si è da subito sviluppato su due fronti, uno per ciascuna delle tematiche affrontate, ambiente e simulazione, considerando sempre come punto di vista l'influenza della loro evoluzione nell'ambito degli Appalti Pubblici, con riferimento alla gestione del patrimonio esistente.

Si è partiti con uno studio approfondito della normativa nazionale vigente in ambito di Appalti Pubblici, quindi il Codice dei Contratti (D. Lgs. 163/2006) ed il suo Regolamento di attuazione (D.P.R. 207/2010), per creare una solida base su cui fondare tutto il ragionamento circa l'evoluzione di tale normativa. Si è trattato di un corso intensivo e lungo, organizzato in 147 ore di attività frontali ed esercitazioni pratiche, che hanno reso una buona preparazione teorica sugli argomenti trattati, ma si sono rivelati anche assai determinanti per mettere in

luce dubbi e criticità che si riscontrano quotidianamente in sede di attività amministrativa e lavoro pratico.

L'interesse della ricerca è stato indirizzato fin da subito a capire come le Direttive Europee vengano recepite a livello nazionale e come esse influenzino la fase di evoluzione del processo edilizio, partendo dalla progettazione per arrivare alla gestione e manutenzione dell'opera.

Sul fronte tecnologico, è stata condotta un'ampia indagine sulla simulazione offerta dalla tecnologia BIM e sugli effetti che sta avendo (e sicuramente avrà negli anni a venire) nel processo edilizio, con uno sguardo verso le innovazioni sul suo sviluppo e sulle ripercussioni che ha in ambito pratico, sulla gestione del costruito.

Sul fronte ambientale, si è proceduto con una ricognizione di come le tematiche verdi si siano sviluppate in questi ultimi anni, per arrivare, ad oggi, ad essere ritenute così importanti che il termine *Appalto* sarà destinato ad essere accompagnato sempre più dalla qualifica *verde*, con tutte le conseguenze che ciò determinerà a livello normativo ed istituzionale, nonché operativo per tutti gli attori coinvolti nel processo.

L'ambito di indagine della presente ricerca, quindi, si è configurato come bivalente, sviluppandosi su due fronti che rappresentano oggi due tematiche fondamentali e non eludibili all'interno dello studio dell'evoluzione del processo edilizio e che determineranno una svolta, un cambio assai significativo nel paradigma operativo e procedurale, da cui difficilmente sarà possibile esimersi.

Capitolo 1

GLI APPALTI PUBBLICI VERDI: L'EVOLUZIONE GREEN DEGLI APPALTI, ALLA LUCE DELLE NUOVE NORME COMUNITARIE

1.1 Il ruolo essenziale del *Green Public Procurement*

Come noto, oggi l'ambito degli Appalti Pubblici è un tassello fondamentale per gli equilibri di mercato, sia nazionale che comunitario. Per questo motivo, la normativa nazionale, sia italiana che degli altri Stati membri, si configura di volta in volta come recepimento delle Direttive attraverso cui la Comunità Europea si pronuncia periodicamente in materia.

Non è sempre stato così.

Infatti, l'interesse del legislatore comunitario verso questo ambito si è sviluppato col tempo, soprattutto a seguito delle considerazioni circa il suo impatto nel mercato unico. Per tale motivo, quindi, si è reso necessario un intervento regolatore, che coordinasse le attività di ciascuno Stato membro, all'interno del proprio territorio nazionale ed oltre confine.

Fino agli anni '70, l'unico titolare della potestà legislativa in materia di Contrattualistica Pubblica era lo Stato ed il principale riferimento normativo in tale ambito era individuato nel R.D. 2440/1923 e nel successivo R.D. 827/1924 (*"Nuove disposizioni sull'Amministrazione del Patrimonio e sulla contabilità generale dello stato"*)¹.

In questa prima "fase", la normativa comunitaria non presumeva alcuna possibilità di inserire considerazioni di natura non economica nel settore degli

¹ Tali normative si riconducono ad Alberto De Stefani, Ministro del primo Governo Mussolini, nonché autore della riforma della contabilità di Stato, che considerava la Ragioneria generale dello Stato come baricentro della Pubblica Amministrazione, determinando una serie di principi e disposizioni normative riconoscibili ancora oggi nei regolamenti vigenti.

Appalti Pubblici, ma si limitava alla mera trattazione degli aspetti abitualmente più collegati agli obiettivi del mercato interno. Il legislatore comunitario, pertanto, si poneva come coordinatore di una politica sovra locale, che poi ciascuno Stato membro avrebbe dovuto recepire al proprio interno, con la giusta declinazione normativa, specifica per i propri regolamenti in vigore.

Le cose iniziano a cambiare dopo gli anni '70, quando la titolarità in ambito di Appalti non è più esclusiva dello Stato, ma ritenuta meritevole di attenzione a livello sovra locale. È del 1971, infatti, la prima Direttiva² sui Lavori Pubblici promulgata dalla Comunità Europea.

Pertanto, essendo ancora oggi assai notevole l'effetto degli Appalti sul mercato europeo e globale, oltretutto gli aspetti economici, vengono posti in primo piano anche gli aspetti socio-ambientali, per i quali si avverte una stretta correlazione.

Questo interesse è determinato dall'esigenza del legislatore comunitario di garantire il rispetto dei principi di libera concorrenza, imparzialità, non discriminazione, parità di trattamento e trasparenza. L'obiettivo della politica degli Appalti era, infatti, di produrre a livello europeo le condizioni di concorrenza necessarie affinché i contratti pubblici fossero attribuiti in modo non discriminatorio e il denaro pubblico fosse utilizzato ragionevolmente attraverso la scelta della reale migliore offerta presentata.

Per questo motivo, il nocciolo centrale leggibile in questa Direttiva e nelle successive, comprese quelle attualmente in vigore, è sicuramente riconoscibile in una puntuale attenzione verso la precisa definizione dell'oggetto dell'appalto e verso i criteri di selezione dei candidati, a quell'epoca meramente economici, in modo da essere facilmente confrontabili e valutabili.

Ultimamente, si è assistito all'affermazione a livello internazionale dei concetti di "sostenibilità" e "sviluppo sostenibile", per cui gli Enti comunitari hanno progressivamente iniziato a prendere in considerazione le richieste etiche ed

² Si tratta della Direttiva 71/305/CE, di assetto generale e rivolta agli Stati membri con lo scopo di promuovere un comportamento *politically correct*, per evitare favoritismi nei confronti delle proprie imprese nazionali discriminando quindi quelle degli altri paesi.

ambientali, integrandole con le altre politiche comuni. È da questo fenomeno di integrazione che si è sviluppata, anche a livello europeo, la pratica del *Sustainable Public Procurement* (SPP), ossia la possibilità di introdurre criteri sostenibili, quali appunto le valutazioni etico-sociali ed ambientali, in ambito di Appalti Pubblici.

1.1.1 Il significato del GPP

La locuzione *Green Public Procurement* (GPP) letteralmente ci rimanda alla definizione degli “*acquisti pubblici verdi*”.

Tuttavia, pare riduttivo lasciare che il *GPP* venga classificato in modo così sbrigativo, poiché in realtà rappresenta di più. Esso nasce dalla commistione tra il *Public Procurement*, ossia il sistema di acquisti condotto dalla Pubblica Amministrazione per soddisfare le proprie esigenze, ed il *Green Procurement*, ossia quel sistema di acquisti che “considera e valorizza durante la fase di acquisto di un bene o servizio anche i suoi aspetti ambientali valutati sull’intero ciclo di vita”³.

Per essere precisi, la definizione dell’Unione Europea del *GPP* è la seguente:

“Il Green Public Procurement è l’approccio in base al quale le Amministrazioni Pubbliche integrano i criteri ambientali in tutte le fasi del processo di acquisto, incoraggiando la diffusione di tecnologie ambientali e lo sviluppo di prodotti validi sotto il profilo ambientale, attraverso la ricerca e la scelta dei risultati e delle soluzioni che hanno il minore impatto possibile sull’ambiente lungo l’intero ciclo di vita”.

Per questo, quando si parla di *GPP*, diventa impossibile non parlare anche del concetto di “ciclo di vita”; ciò rappresenta una bella novità all’interno delle politiche in ambito di appalti, poiché, in caso di acquisto di un nuovo bene o servizio, la Stazione Appaltante andrà a scegliere un bene o servizio che, dal punto

³ Fieschi M. (a cura di) 2004 – *Le forniture verdi in Italia* – I libri di Ambiente & Sicurezza, Il Sole 24 Ore, marzo 2004.

di vista funzionale, dovrà soddisfare in toto i requisiti richiesti (così come per gli acquisti eseguiti in precedenza), ma stavolta dovranno essere presi in considerazione anche gli impatti ambientali lungo tutto il ciclo di vita di quel bene o servizio; quindi, dalla fase di estrazione delle materie prime per la realizzazione di quel bene, alle successive fasi di realizzazione, distribuzione, consumo e smaltimento finale del bene stesso.

Questo approccio è fondamentale e sarà quello che condurrà direttamente alla definizione dei Criteri Ambientali che la stazione Appaltante dovrà individuare ed inserire in tutte le fasi del processo di acquisto.



Fig. 1 – Schematizzazione delle fasi del ciclo di vita di un bene/servizio⁴

Il concetto di ciclo di vita torna al centro dell'interesse anche quando si parla in termini economici dell'acquisto che si vuole effettuare.

⁴ Online: <http://www.gpp2020.eu/>.

Infatti, per sapere se un bene o un servizio costeranno di più o di meno rispetto ad un altro, la Stazione Appaltante dovrà elaborare una valutazione del concetto di “più o meno caro” non solo in base al prezzo da corrispondere al momento dell’acquisto, ma sempre in termini di costi da sostenere per tutta la durata del ciclo di vita di quel bene o servizio, quindi per ciascuna delle macro-fasi schematizzate nella Fig. 1.

Allora, ciò che sta cambiando a livello normativo, europeo ma anche nazionale, è proprio l’approccio all’acquisto che da ora in poi le Stazioni Appaltanti dovranno adottare, considerando questi due (nuovi) principi:

1. Acquistare beni o servizi previa valutazione di criteri ambientali e sociali;
2. Ragionare non più in termini di *prezzo* del bene o del servizio, ma in termini di *costo*.

Questo determinerà un cambiamento di prospettiva per tutti gli operatori coinvolti nel processo, nonché una evoluzione del processo stesso. Infatti, per continuare a godere di competitività nel mercato, gli operatori coinvolti non potranno esimersi dall’adeguarsi a questo importante passaggio, innovando i propri *modus operandi* e contribuendo così ad innovare l’intero processo al tempo stesso.

Quindi, per restare competitivi nel mercato, occorrerà investire in innovazione e l’innovazione dovrà passare a sua volta attraverso la sostenibilità ambientale.

COMPETITIVITÀ → INNOVAZIONE → SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Per quanto sopra, vien da sé come il *GPP* possa essere considerato come quel sistema di acquisti di beni e servizi “*ambientalmente preferibili*” o “*eco-friendly*”, gestito dalla Pubblica Amministrazione, dove per “*ambientalmente preferibili*” si

intendono, prendendo in considerazione il loro intero ciclo di vita, tutti quei prodotti e servizi “che hanno un minore o ridotto impatto sulla salute umana”⁵.

Proprio a proposito della definizione di *GPP* di cui sopra, l’Autore Fieschi M. nel suo Libro “*Le forniture verdi in Italia*” (2004), specifica che, quando si parla di “*ambientalmente preferibili*”, non si intende che un determinato bene considerato tale sarà poi acquistato automaticamente, ma solo che, in fase di acquisto, verranno fatte dalla Pubblica Amministrazione una serie di considerazioni volte a valutare, accanto alle caratteristiche classiche di prestazioni ed economia tipiche di una gara con offerta economicamente più vantaggiosa, anche altri criteri extra (ad esempio esigenze sociali, ambientali, tutela della salute, ecc...), specifici per quel dato contesto ed esigenza.

Inoltre, la qualità di un bene “*ambientalmente preferibile*” sarà da valutarsi in relazione all’intero ciclo di vita del bene stesso, non fermandosi al solo momento della sua scelta, ma considerando anche criteri oltre l’immediato (per esempio, frequenza e necessità delle manutenzioni future, nonché il loro costo!). Da qui, come abbiamo visto, l’importanza che negli ultimi anni sta acquisendo sempre più il *Life Cycle Assessment* (noto anche come *LCA*), ossia la “valutazione del ciclo di vita”, che rappresenta un metodo di valutazione delle interazioni che un prodotto o un servizio ha con l’ambiente, considerando il suo intero ciclo di vita, partendo dalle fasi di pre-produzione (quindi anche estrazione e produzione dei materiali), passando per la sua produzione, la sua distribuzione ed il suo uso (quindi anche riuso e manutenzione), per finire con il riciclaggio e la dismissione finale.

La procedura *LCA* è standardizzata a livello internazionale ed è regolata dalle norme ISO 14040 e 14044.

Accanto al *LCA* è importante richiamare anche la *LCCA*, ossia la “*Lyfe Cicle Cost Analysis*”, che rappresenta un ulteriore strumento molto usato ai giorni nostri per la valutazione del costo globale di un prodotto, sempre considerando il suo intero ciclo di vita.

⁵ Dalla Tesi “*Appalti pubblici e criteri ecologici: l’incidenza delle pratiche di Green Public Procurement negli acquisti delle Pubbliche Amministrazioni*” di Chiara Sambataro: “...that have a lesser or reduced effect on human health and the environment when compared with competing products or services that serve the same purpose”. Sec. 201, Title 3, Executive Order 13101 of September 14,1998, “Greening the Government through Waste Prevention, Recycling, and Federal Acquisition”; Presidential Documents, Federal Register, vol.63, no.179.

L'idea alla base dell'impiego della *LCCA* è che le decisioni in merito ad un certo investimento dovrebbero essere effettuate considerando tutti i costi inerenti ad un certo prodotto, e non solo quelli iniziali relativi alla sua produzione⁶.

L'importanza del *LCA* in edilizia, verrà trattata a fine capitolo, nella seconda parte.

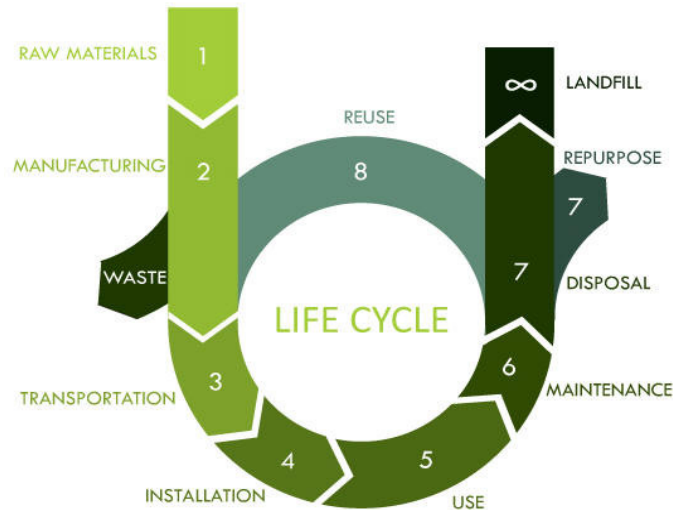


Fig. 2 – Variabili specifiche da considerare per il *Life Cycle Assessment*⁷

In conclusione, quando si parla di “*ambientalmente preferibili*”, si rimanda ad una serie di considerazioni che finora non si sono mai fatte in sede di gara, o quantomeno non in modo significativo.

Infatti, sia che si adotti il criterio dell’offerta economicamente più vantaggiosa che quella del massimo ribasso, la valutazione delle offerte avviene di solito sulla base del “momento” di presentazione dell’offerta stessa e al massimo delle migliori proposte, che però di solito hanno a che vedere con dei quadri

⁶ Da una Lezione del Prof. Arch. Stefano Stanghellini, collaboratrice: phd Arch. Valeria Ruaro – *Valutazione economica del progetto_ Life cycle cost analysis con esempi applicativi*. IUAV, Venezia.

⁷ Online: <http://www.southwest-environmental.co.uk>.

economici che devono tornare in termini di importi totali di finanziamento, ma nulla di più. Come a dire che, in sede di gara, un'Impresa può proporre delle migliori impiantistiche, per esempio, che non comportino variazioni significative al quadro economico del progetto complessivo, ma che ne sarà della manutenzione e dei costi di gestione di quel bene? Sono considerazioni importanti e paiono quasi scontate, ma, se ci guardiamo intorno, ci rendiamo conto che non lo sono poi tanto.



Fig. 3 – Ciclo di vita tradizionale e sostenibile a confronto⁸

Ecco allora che il primo dei grandi meriti del *GPP* potrebbe essere individuato proprio in questa maggiore attenzione cui invita gli operatori del processo edilizio nella loro opera di valutazione delle scelte progettuali, affinché la scelta cada sulla soluzione davvero più vantaggiosa.

⁸ Id.

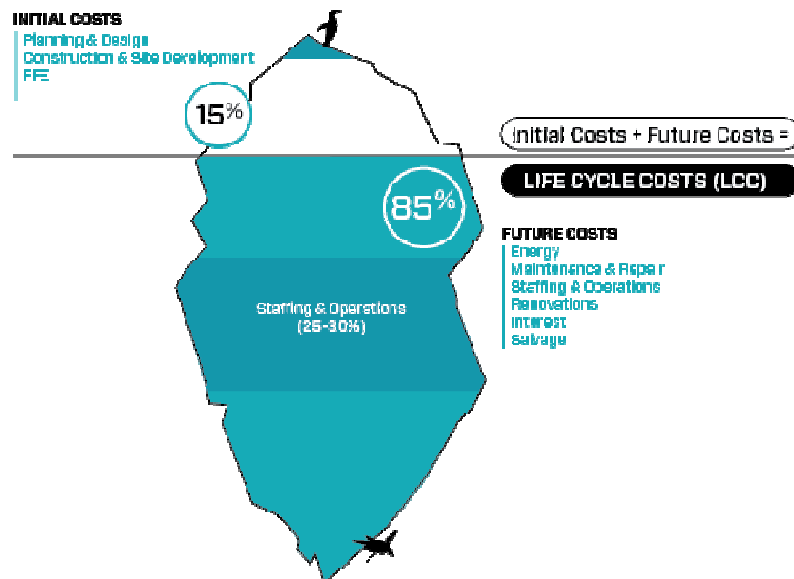


Fig. 4 – Rilevanza della fase di mantenimento e gestione di un bene⁹

1.1.2 Il GPP nel Mondo

Anche se la definizione del *Green Public Procurement* è abbastanza recente, per come la intendiamo oggi, è importante sottolineare come l'attenzione verso gli impatti ambientali generati dal mondo degli Appalti si sia imposta, a livello internazionale, già fin dai primi anni '90.

Come detto, lo sviluppo degli Appalti Sostenibili si pone a livello globale, comparendo in modo significativo in Paesi come Giappone, Australia, Corea del Sud, Cina, Thailandia e Filippine, ma è sicuramente in America che abbiamo i principali riferimenti, nonché una maggiore e assai robusta strutturazione delle *policies* perseguite.

⁹ Online: <http://blog.array-architects.com/kc/how-design-process-influences-healthcare-life-cycle-costs>.

È importante segnalare che, proprio in America, per indicare questo tipo di approccio agli Appalti e degli Acquisti, non si utilizza l'acronimo *GPP*, ma quello di *EPP*, intendendo con esso beni e servizi *Environmentally Preferable Purchasing*; nello specifico, la definizione che si dà in America di questo tipo di approccio è così definibile:

*"[...] it means adding environmental considerations to purchasing decision along with such traditional factors as performance, price, health, and safety"*¹⁰ (*"[...]Significa aggiungere considerazioni ambientali alle decisioni di acquisto accanto a criteri tradizionali come la prestazione, il prezzo e la sicurezza"*).

Quindi, lo stesso significato che noi Europei attribuiamo al *GPP*.

Definizione a parte, è chiaro comunque che l'interesse verso questi aspetti sia molto forte anche in quella parte di Mondo, anzi addirittura lì si sono affrontati questi temi molto prima che in Europa.

Infatti, Secondo l'indagine svolta dall'ICLEI¹¹ nel 2001 *"The world buys green; International Survey on National Green Procurement Practices"*, nell'ambito del progetto di ricerca RELIEF¹², i primi esperimenti di *Environmentally Preferable Purchasing* negli USA risalgono al 1988, quando nello Stato del Massachusetts viene avviato un programma di acquisti di prodotti riciclati (con l'obiettivo di raggiungere nel 2000 una quota del 46% sul totale degli acquisti); l'esempio del Massachusetts viene seguito nel 1990 dalla città di Santa Monica (California) con la *"Tropical Rainforest Wood Purchasing Ordinance"* (nel 1993 viene poi lanciato il *"Toxics Use Reduction Programme"*, seguito nel 1994 dal *"Sustainable City Programme"*).

A livello federale, nel 1992 l'U.S. EPA presenta per la prima volta l'etichetta *Energy Star* per i Personal Computer (che contrassegna i prodotti che soddisfano

¹⁰ Online: <http://www.epa.gov/epp/index.htm>.

¹¹ Online: <http://www.iclei.org/>.

¹² (*Environmental relief potential of urban action on avoidance and detoxification of waste streams through green procurement*) viene avviato col 5° Framework Programme (*"City of tomorrow and Cultural Heritage"*) della Commissione Europea con lo scopo di recuperare e rendere disponibili dati e informazioni sulle caratteristiche ambientali di prodotti e servizi, in modo da fornire alle Pubbliche Amministrazioni europee una serie di strumenti per una linea di condotta europea di acquisti ambientalmente preferibili.

requisiti di risparmio energetico), dando il via ad un programma volontario che attualmente comprende più di 35 categorie di prodotti per la casa e per l'ufficio; dai 10 produttori di PC certificati del 1992 si è passati ai 600 (quasi il 100%), soprattutto grazie all'ordine presidenziale di Bill Clinton che obbligava tutti i dipartimenti federali ad acquistare solo computer *Energy Star* (per un totale di 1 milione di computer l'anno, circa il 3% della quota di mercato); tale spinta governativa fu in grado di orientare l'intera offerta nazionale di Personal Computer tanto che il 95-97% dei computer/monitor venduti nel 2000 (sia per la casa sia per l'ufficio) sono certificati *Energy Star*; si calcola che nel 1994-1995, con l'utilizzo di tale metodo, siano stati risparmiati negli Stati Uniti circa 2,3 miliardi di kWh¹³.

A fianco del programma *Energy Star*, sono state inoltre avviate a livello federale numerose altre iniziative, tra cui è doveroso citare l'*U.S. EPA Green Light Programme*, per l'uso di dispositivi di illuminazione a basso consumo energetico, cui hanno aderito oltre 2.300 enti, per un risparmio, tra il 1991 e il 1996, di 440 milioni di dollari (di cui 254 solo nel 1996), corrispondente a 7,4 miliardi di kWh, 2,5 milioni di tonnellate di CO₂ e 8.500 tonnellate di NOx¹⁴.

Negli Stati Uniti, quindi, si iniziano a trattare gli Appalti Pubblici con approccio verde nel 1993, grazie al provvedimento del Presidente W. J. Clinton denominato *Executive Order 12873- Federal acquisition, recycling, and waste prevention*, in seguito ripreso e sviluppato, nel 1998, con la direttiva "*Executive Order 13101 - Greening the Government through Waste Prevention, Recycling and Federal Acquisition*"¹⁵.

Tali Direttive risultano attualmente ancora in vigore e con esse si richiede a tutti gli Enti federali che abbiano a che fare con politiche di acquisto di beni e servizi, di optare per beni e servizi che siano "ambientalmente preferibili" valutando, se possibile, prodotti "*bio-based*", ossia con riconoscibili componenti sostenibili dal punto di vista ambientale.

¹³ Risk Reduction Through Voluntary Programs, Office of the Inspector General, U.S. EPA, Washington 1997.

¹⁴ S. Bilato, Acquisti Verdi – Le Amministrazioni Pubbliche per l'Ambiente; Supplemento n.1 a Gaia n.24 / 2005 - trimestrale edito dal Movimento dei Consumatori.

¹⁵ National Archives. Online: <http://www.archives.gov/federal-register/executive-orders/1998.html>.

Altri esempi di attenzione internazionale verso gli Appalti Verdi sono riscontrabili, come detto in precedenza, anche in Giappone (innovazione verde: i progetti strategici Nazionali per l'innovazione verde avranno l'obiettivo di produrre un fatturato di circa 50 bilioni di yen nel settore ambientale e creare 1,4 milioni di nuovi posti di lavoro legati all'ambiente¹⁶), Australia, Corea del Sud, Cina, Thailandia e Filippine.

1.1.3 Il GPP in Europa

Volendo ricostruire la cronologia dell'avvicinarsi degli atti che l'Unione Europea ha promulgato con particolare attenzione verso il GPP, potremmo formulare il seguente elenco:

- 2001: prima comunicazione sulla possibilità di utilizzare GPP;
- 2004: Direttive Europee 17 e 18 del 30/3/2004 (oggi sostituite dalle Direttiva 24 e 25 del 2014);

Manuale europeo *Buying Green!* sul GPP;

Piano d'Azione Tecnologie Ambientali ETAP (Agosto 2004);
- 2005: Linee Guida Redazione dei Piani d'Azione Nazionali per il GPP;
- 2008: Comunicazione della Commissione su produzione e consumo sostenibile 397/2008;

Comunicazione Appalti pubblici per un ambiente migliore (400/2008);
- 2009: Criteri ambientali europei (*GPP Toolkit*) 2009 (fino al 2014);

¹⁶ *Verso una crescita verde - Una sintesi per i responsabili politici*, Maggio 2011. Online: <http://www.oecd.org/greengrowth/48536972.pdf>.

- 2011: Linee Guida per l'*SPP Buying Social* sui criteri sociali (Gennaio 2011);

 Manuale europeo *Buying Green!* sul *GPP*;

 Comunicazione 21/2011 della Commissione "*Un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse – Iniziativa faro della strategia Europa 2020*";

 Comunicazione 571/2011 della Commissione Europea "*Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*".

 Comunicazione 206/2011 della Commissione Europea "*Atto per il mercato unico: dodici leve per stimolare la crescita e rafforzare la fiducia*";

 Comunicazione 109/2011 della Commissione Europea "*Piano di efficienza energetica 2011*";
- 2012: Programma generale di azione della UE "*Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta*"¹⁷;
- 2013: Comunicazione "*Costruire il mercato unico dei prodotti verdi*" (COM(2013)196) – (OEF e PEF);
- 2014: Comunicazione 440/2014 "*Verso un'economia circolare*";

 Comunicazione 445/2014 "*Opportunità per migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizia sul metodo comune per valutare prestazioni ambientali*".

Dall'elenco qui sopra, si evince chiaramente come oggi il *GPP* rappresenti una priorità per l'Europa, ma non è sempre stato così.

¹⁷ Tratta di appalti pubblici verdi per "trasformare l'Unione in un'economia a basse emissioni di carbonio, efficiente nell'impiego delle risorse, verde e competitiva".

Infatti, le Direttive Comunitarie dei primi anni '90 mostravano una certa ritrosia ad introdurre le variabili verdi all'interno delle norme, nonostante a livello mondiale, come abbiamo visto, ci fosse una progressiva e crescente attenzione generale per le tematiche ambientali e per il concetto di sviluppo sostenibile.

Le Direttive Comunitarie, quindi, limitavano la loro attenzione soltanto alla fase di aggiudicazione, per assicurarsi che venissero rispettati i classici principi di trasparenza e non discriminazione.

Questo è ciò che si evince dalle Direttive¹⁸ n. 92/50/CEE (aggiudicazione di Appalti Pubblici di servizi), la n. 93/36/CEE (aggiudicazione di Appalti Pubblici di forniture) e la n. 93/37/CEE (aggiudicazione di Appalti di lavori pubblici), in cui non è possibile riscontrare alcun interesse per le variabili ambientali o aspetti eco-compatibili.

Pochi anni più tardi, qualcosa inizia a cambiare e nel 1996 viene emanato il Libro verde sugli Appalti Pubblici (COM(96)583), che rappresenta il primo Documento Comunitario in cui si manifesta l'apertura all'integrazione della politica del libero mercato con la politica ambientale, in ambito di Appalti Pubblici.

Il punto di svolta vero e proprio è però rappresentato dal Trattato di Amsterdam¹⁹, del 1997. Questo documento è fondamentale nella storia degli Appalti Verdi, poiché con esso si impone l'obbligo per gli organismi comunitari di considerare gli interessi ambientali e di integrarli all'interno di tutte le altre politiche da perseguire²⁰.

È da questo momento in poi che lo sviluppo della politica degli Appalti Verdi si diffonde sempre più, rappresentando costante oggetto di dibattito nazionale ed internazionale, dando origine ad una serie di adempimenti e strategie organizzative dei vari Paesi, per l'inclusione delle tematiche ambientali all'interno delle politiche economiche.

¹⁸ Eur- Lex. Online: <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=it>.

¹⁹ Online: <http://www.europarl.europa.eu/topics/treaty/pdf/amst-en.pdf>.

²⁰ Lombardo F., Farì A., *Appalti verdi: i criteri ambientali nel diritto comunitario degli appalti pubblici*. Online: <http://www.professioni-impres24.ilsole24ore.com/art/edilizia-e-ambiente/news/2013-08-28/appalti-verdi-criteri-ambientali-114116.php>.

Fondamentale risulta la Direttiva Europea 2004/18/CE del 31 marzo 2004, relativa al “coordinamento delle procedure di aggiudicazione degli Appalti Pubblici di forniture, di servizi e di lavori” che, a livello normativo, riconosce la possibilità di inserire la variabile ambientale come criterio di valorizzazione dell’offerta.

Da questo momento, ciascuno Stato membro ha mosso i propri passi per adeguarsi alle prescrizioni comunitarie, con notevoli progressi. La stessa Commissione ha fornito, negli anni, diverse edizioni di un manuale sugli Appalti Pubblici Verdi, che fosse un valido strumento di supporto alle Pubbliche Amministrazioni.



Fig. 5 – Ciclo sostenibile di produzione e consumo²¹

In conclusione, gli acquisti verdi si configurano come una parte del più vasto gruppo di acquisti sostenibili²² (*Sustainable Procurement*) e si inseriscono tra gli interventi volti ad accelerare il passaggio alla produzione ed al consumo sostenibili, per promuovere lo sviluppo sociale ed economico in modo tale che gli

²¹ Online: www.unep.org.

²² *Gli acquisti sostenibili sono un processo attraverso il quale le organizzazioni soddisfano i loro bisogni di beni, servizi e lavori generando valore lungo l'intero ciclo di vita, in termini di benefici non solo per l'organizzazione ma anche per la società e l'economia, minimizzando al tempo stesso gli impatti sull'ambiente.* Definizione dal sito www.gpp2020.eu.

impatti rientrano nella capacità di carico degli ecosistemi, sganciando crescita economica e degrado ambientale²³.

1.1.3.1 La Direttiva Comunitaria in ambito di Appalti (2004/18/CE)

Nella Direttiva 2004/18/CE²⁴, vengono riprese ed ufficializzate alcune considerazioni sulle procedure di aggiudicazione degli Appalti Pubblici già contenute nella Comunicazione Interpretativa del 2001, in particolare per quanto riguarda l’inserimento di criteri ambientali. Infatti, nelle considerazioni iniziali, il Parlamento Europeo ed il Consiglio affermano che la Direttiva:

“[...] chiarisce le possibilità per le amministrazioni aggiudicatrici di soddisfare le esigenze del pubblico interessato, tra l’altro in materia ambientale e sociale [...]”

e

“[...] in che modo le amministrazioni aggiudicatrici possono contribuire alla tutela dell’ambiente e alla promozione dello sviluppo sostenibile, garantendo loro al tempo stesso di poter ottenere per i loro appalti il miglior rapporto qualità/prezzo”.

Al punto 6, sottolinea inoltre che:

“nessuna disposizione della presente Direttiva dovrebbe vietare di imporre o di applicare misure necessarie alla tutela dell’ordine, della moralità e della sicurezza pubblici, della salute, della vita umana e animale o alla preservazione dei vegetali, in particolare nell’ottica dello sviluppo sostenibile, a condizione che dette misure siano conformi al trattato”.

Nei diversi articoli vengono evidenziate le stesse possibilità di inserimento dei criteri ambientali viste nella Comunicazione Interpretativa:

²³ Online: www.gpp2020.eu.

²⁴ S. Bilato, *Acquisti Verdi – Le Amministrazioni Pubbliche per l’Ambiente*; Supplemento n.1 a Gaia n.24 / 2005 - trimestrale edito dal Movimento dei Consumatori, pagg. 47/49.

• **Specifiche tecniche:** “fatte salve le regole tecniche nazionali obbligatorie, nella misura in cui sono compatibili con la normativa comunitaria, le specifiche tecniche sono formulate secondo una delle modalità seguenti: [...] in termini di prestazioni o di requisiti funzionali, che possono includere caratteristiche ambientali”²⁵; “le amministrazioni aggiudicatrici, quando prescrivono caratteristiche ambientali in termini di prestazioni o di requisiti funzionali [...] possono utilizzare le specifiche dettagliate o, all’occorrenza, parti di queste, quali sono definite dalle eco-etichettature europee (multi)nazionali o da qualsiasi altra eco-etichettatura, purché:

- esse siano appropriate alla definizione delle caratteristiche delle forniture o delle prestazioni oggetto dell’Appalto; [...];

- le eco-etichettature siano adottate mediante un processo al quale possano partecipare tutte le parti interessate, quali gli enti governativi, i consumatori, i produttori, i distributori e le organizzazioni ambientali;

- siano accessibili a tutte le parti interessate.

Le amministrazioni aggiudicatrici possono precisare che i prodotti o servizi muniti di eco-etichettatura sono presunti conformi alle specifiche tecniche definite nel capitolato d’oneri; essi devono accettare qualsiasi altro mezzo di prova appropriato, quale una documentazione tecnica del fabbricante o una relazione di prova di un organismo riconosciuto”²⁶.

• **Condizioni di esecuzione dell’Appalto:** “le amministrazioni aggiudicatrici possono esigere condizioni particolari in merito all’esecuzione dell’Appalto purché siano compatibili con il diritto comunitario e siano precisate nel bando di gara o nel capitolato d’oneri.

Le condizioni di esecuzione di un Appalto possono basarsi in particolare su considerazioni sociali e ambientali”²⁷. “L’amministrazione aggiudicatrice può precisare o può essere obbligata da uno Stato membro a precisare nel capitolato

²⁵ Direttiva 2004/18/CE, art. 23, comma 3.

²⁶ Direttiva 2004/18/CE, art. 23, comma 6.

²⁷ Direttiva 2004/18/CE, art. 26.

d'oneri l'organismo o gli organismi dai quali i candidati o gli offerenti possono ottenere le pertinenti informazioni sugli obblighi relativi [...] alla tutela dell'ambiente [...] che sono in vigore nello Stato membro, nella regione o nella località in cui devono essere fornite le prestazioni e che si applicheranno ai lavori effettuati nel cantiere o ai servizi forniti nel corso dell'esecuzione dell'Appalto"²⁸.

- **Criteri di selezione qualitativa, capacità tecniche e professionali:** “le capacità tecniche degli operatori economici possono essere provate in uno o più dei seguenti modi, a seconda della natura, della quantità o dell'importanza e dell'uso dei lavori, delle forniture o dei servizi: [...] per gli appalti pubblici di lavori e di servizi e unicamente nei casi appropriati, indicazione delle misure di gestione ambientale che l'operatore economico potrà applicare durante la realizzazione dell'appalto [...]”;

- **Norme di gestione ambientale:** “qualora nei casi di cui all'articolo 48, paragrafo 2, lettera f), richiedano la presentazione di certificati rilasciati da organismi indipendenti per attestare il rispetto da parte dell'operatore economico di determinate norme di gestione ambientale, le amministrazioni aggiudicatrici fanno riferimento al sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS) o a norme di gestione ambientale basate sulle pertinenti norme europee o internazionali certificate da organismi conformi alla legislazione comunitaria o alle norme europee o internazionali relative alla certificazione. Le amministrazioni aggiudicatrici riconoscono i certificati equivalenti in materia rilasciati da organismi stabiliti in altri Stati membri. Esse accettano parimenti altre prove relative a misure equivalenti in materia di gestione ambientale, prodotte dagli operatori economici”²⁹.

- **Aggiudicazione dell'Appalto:** “i criteri sui quali si basano le amministrazioni aggiudicatrici per aggiudicare gli Appalti Pubblici sono:

- quando l'Appalto è aggiudicato all'offerta economicamente più vantaggiosa, diversi criteri collegati all'oggetto dell'Appalto Pubblico in questione, quali, ad esempio, la qualità, il prezzo, il pregio tecnico, le caratteristiche estetiche

²⁸ Direttiva 2004/18/CE, art. 27, comma 1.

²⁹ Direttiva 2004/18/CE, art. 50.

e funzionali, le caratteristiche ambientali, il costo d'utilizzazione, la redditività, il servizio successivo alla vendita e l'assistenza tecnica, la data di consegna e il termine di consegna o di esecuzione;

- esclusivamente il prezzo più basso³⁰.

1.1.3.2 Le nuove Direttive Comunitarie in ambito di Appalti e concessioni (2014/23/CE, 2014/24/CE e 2014/25/CE)

Sono recentissime le nuove Direttive Comunitarie in ambito di Appalti e concessioni:

- Direttiva 2014/24/UE³¹ (che abroga la direttiva 2004/18/CE) sugli Appalti Pubblici;

- Direttiva 2014/25/UE³² (che abroga la direttiva 2004/17/CE) sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali.

Completamente nuova è invece la Direttiva 2014/23/UE³³, sull'aggiudicazione dei contratti di concessione.

Gli Stati membri saranno obbligati, entro il 18 aprile 2016, a recepire le nuove disposizioni nella legislazione nazionale.

La strategia Europa 2020³⁴ punta a rilanciare l'economia dell'Unione Europea nel prossimo decennio.

³⁰ Direttiva 2004/18/CE, art. 53, comma 1.

³¹ Direttiva sugli Appalti Pubblici.

³² Direttiva sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali.

³³ Online: <http://www.politicheeuropee.it/attivita/18862/appalti-pubblici-pubblicate-nuove-direttive-ue>.

³⁴ "Gli appalti pubblici verdi svolgono un ruolo fondamentale nella strategia Europa 2020, giacché costituiscono uno degli strumenti basati sul mercato che possono contribuire alla realizzazione dei suoi obiettivi." -

Secondo quest'ottica, gli Appalti Pubblici sono considerati fondamentali nel quadro delle politiche dell'Unione Europea, rappresentando allo stesso tempo un fulcro e uno strumento non solo per gli investimenti pubblici e privati in infrastrutture e servizi strategici in condizioni che assicurino un'accresciuta efficienza della spesa generata dalla domanda pubblica di contratti di lavori, servizi e forniture, a fronte di una ridotta disponibilità di risorse, ma anche di ulteriori politiche pubbliche, a proposito delle quali le commesse pubbliche possano rivestire un ruolo strategico, promuovendo l'innovazione, l'accesso al mercato delle Piccole e Medie Imprese (PMI), la tutela ambientale e la responsabilità sociale³⁵.

In un mondo che cambia, l'Unione Europea si propone di diventare un'economia:

- intelligente;
- sostenibile;
- solidale.

Questi tre obiettivi si rafforzano a vicenda ed intendono agevolare l'Unione Europea e gli Stati membri a raggiungere elevati livelli di occupazione, produttività e coesione sociale. In pratica, entro il 2020, l'Unione si è posta i seguenti cinque ambiziosi obiettivi:

1. Occupazione

- innalzamento al 75% del tasso di occupazione (per la fascia di età compresa tra i 20 e i 64 anni).

2. Ricerca & Sviluppo

- aumento degli investimenti in ricerca e sviluppo al 3% del PIL dell'Unione Europea.

Comunicazione della Commissione Europea n. 15/2011 del 27.01.11 – LIBRO VERDE sulla modernizzazione della politica dell'UE in materia di appalti pubblici.

³⁵ N. Torchio, *Le nuove direttive europee in materia di appalti e concessioni*. Online: <http://www.lineavcp.it/wp-content/uploads/2014/06/leggi-il-documento-completo5.pdf>

3. Cambiamenti climatici e sostenibilità energetica

- riduzione delle emissioni di gas serra del 20% (o persino del 30%, se le condizioni lo permettono) rispetto al 1990;
- 20% del fabbisogno di energia ricavato da fonti rinnovabili;
- aumento del 20% dell'efficienza energetica.

4. Istruzione

- Riduzione dei tassi di abbandono scolastico precoce al di sotto del 10%;
- aumento al 40% dei 30/34enni con un'istruzione universitaria;

5. Lotta alla povertà e all'emarginazione

- almeno 20 milioni di persone a rischio o in situazione di povertà ed emarginazione in meno.

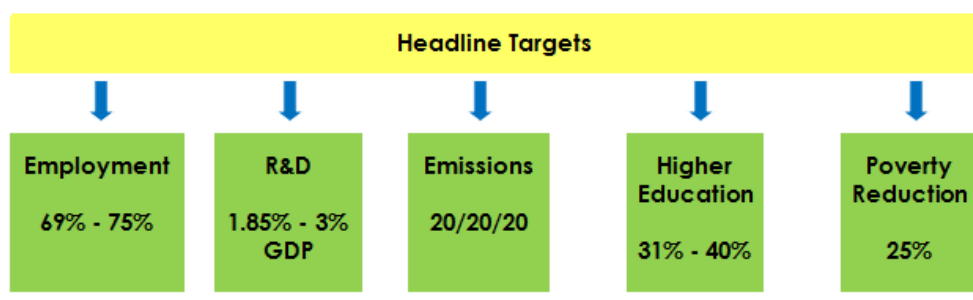


Fig. 6 – Obiettivi Europa 2020, in sintesi³⁶

Ogni Stato membro dovrà adottare, per ciascuno di questi settori, i propri obiettivi nazionali³⁷.

Questa riforma della legislazione europea offrirà agli Stati membri l'opportunità di intervenire sulle criticità esistenti e avviare misure di rilancio del

³⁶ Online: <http://orpheuspublicaffairs.eu/glossary/2013/03/04/europes-2020-strategy/>.

³⁷ Online: http://ec.europa.eu/europe2020/index_it.htm.

settore, primo tra tutti la semplificazione, importante per l'abbattimento dei costi delle imprese, certezza del diritto, ecc.

Tra la priorità da perseguire, rientra l'esigenza di semplificare e consolidare il mercato unico dei prodotti e dei servizi anche attraverso una maggiore apertura del mercato degli Appalti Pubblici e l'attuazione del pacchetto di riforme recentemente adottato ha un ruolo fondamentale per rimuovere le barriere transfrontaliere. Anche l'attuale Presidenza del Consiglio dell'Unione Europea ha sottolineato l'importanza per gli Stati membri di utilizzare le nuove Direttive Appalti per intraprendere riforme dei rispettivi sistemi, in modo da garantire che il settore degli Appalti possa contribuire pienamente alla ripresa economica³⁸.

L'individuazione del settore degli Appalti Pubblici come uno degli strumenti trasversali per raggiungere gli obiettivi strategici, potrà consentire di creare le condizioni per le imprese di innovare, incoraggiando un uso estensivo del *Green Public Procurement* (appalti verdi), e supportando il passaggio a un uso più efficiente delle risorse e a un'economia a basso impatto ambientale. La visione strategica principale identifica la necessità di perfezionare il mercato unico, giacché crescita e occupazione si sviluppano in mercati sani e ben collegati, dove la concorrenza e l'accessibilità possano stimolare l'attività imprenditoriale e l'innovazione. Inoltre, le Direttive recepiscono il portato delle sentenze della Corte di giustizia e introducono definizioni giuridiche più dettagliate per chiarire alcuni concetti di base, al fine di contribuire alla certezza del diritto³⁹.

I principali obiettivi perseguiti dalle Direttive si possono così sintetizzare:

1. Uso più efficiente dei fondi pubblici. Le sfide sono quelle di realizzare maggiore semplificazione, maggiore flessibilità delle procedure, e attuare procedure corrette;
2. Mercato degli Appalti aperto a livello dell'Unione. Le sfide sono quelle di realizzare un generalizzato favor verso le PMI e gli offerenti transfrontalieri;

³⁸ Diana Agosti, Capo Dipartimento Politiche Europee. Seminario "Appalti pubblici e nuove direttive europee", Roma, 13.02.2015.

³⁹ N. Torchio, *Le nuove direttive europee in materia di appalti e concessioni*. Online: <http://www.lineeavcp.it/wp-content/uploads/2014/06.pdf>

3. Promuovere l'innovazione, comprensiva della cd. eco-innovazione – definita dalla Commissione (COM (2011) 899 definitivo) *“qualsiasi forma d'innovazione che riduce impatti negativi per l'ambiente, aumenta la resistenza alle pressioni ambientali e consente un uso più efficace e responsabile delle risorse naturali”*- e la tutela ambientale e la responsabilità sociale. Le sfide sono quelle di realizzare un più vantaggioso rapporto qualità/prezzo nelle acquisizioni pubbliche e maggiori benefici economici ambientali e per la società.

La semplificazione e la flessibilità si attuano attraverso le seguenti principali misure:

- eliminazione della tradizionale distinzione tra cosiddetti servizi prioritari e non prioritari (servizi di tipo A o B), con individuazione di norme specifiche per i servizi sociali e per specifici servizi;
- un più ampio ventaglio di strumenti a disposizione;
- promozione comunicazioni elettroniche e appalti elettronici e aggregazione della domanda;
- modernizzazione delle procedure;
- lotta alle prassi commerciali scorrette⁴⁰.

È importante segnalare che queste nuove Direttive si contraddistinguono per l'attenzione che il legislatore europeo ha dedicato ad alcuni obiettivi, che possono essere perseguiti attraverso le procedure di gara relative agli Appalti Pubblici ed alle concessioni: uno dei più rilevanti è l'impulso alla partecipazione al sistema dei contratti pubblici delle PMI.

L'attenzione che l'UE pone alle PMI non deve meravigliare. Il ruolo di tali Imprese nel mercato europeo ed il loro contributo alla creazione di ricchezza ed occupazione sono stati sottolineati con sempre maggiore evidenza a partire dal 2000 (con l'adozione, in data 13 giugno, da parte del Consiglio Europeo, della

⁴⁰ N. Torchio, *idem*.

“Carta per le piccole e medie imprese”) e per tutto il corso del decennio appena trascorso: basti ricordare l’adozione della COM/2008/394 def., “Uno «*Small Business Act*» per l’Europa”; della COM/2011/78 def., “Riesame dello «*Small Business Act*» per l’Europa”; della SEC/2008/2193, “Codice europeo di buone pratiche per facilitare l’accesso delle PMI agli appalti pubblici”⁴¹.

La volontà di promuovere l’effettiva partecipazione delle PMI al sistema degli Appalti Pubblici e delle concessioni ha portato il legislatore europeo a:

- predisporre un quadro giuridico nel quale possano essere inserite procedure “*PMI friendly*”, tese a semplificare la pubblicazione dei bandi di gara e ad accrescere l’efficacia e la trasparenza delle procedure di Appalto e di concessione;
- incoraggiare la suddivisione e la suddivisibilità degli Appalti (anche quelli “sopra-soglia” di dimensioni contenute) in lotti più piccoli;
- agevolare la disarticolazione del ciclo produttivo degli appaltatori e dei concessionari pubblici attraverso il ricorso al subappalto, anche grazie a previsioni quali quelle che introducono la possibilità di pagamento diretto da parte delle stazioni appaltanti a favore dei subappaltatori⁴².

Il *favor* nei confronti delle PMI si attua attraverso le seguenti principali misure:

- suddivisione degli appalti in lotti;
- individuazione dei requisiti di partecipazione pienamente rispettosi del principio di proporzionalità e divieto di imporre requisiti di fatturato per un importo superiore al doppio del valore dell’appalto;

⁴¹ Vedi la SEC/1991/1286, “*Verso un mercato europeo dei subappalti*”. Sul tema, M. Cozzio, *Le nuove direttive appalti e l’accesso delle piccole e medie imprese al mercato degli appalti pubblici*. Online: www.osservatorioappalti.unitn.it.

⁴² S. Costantini, *Il subappalto nelle recenti direttive europee in materia di appalti pubblici e concessioni*. Online: http://www.diprist.unimi.it/reti_impresa/papers/13.pdf.

- pagamento diretto dei subappaltatori⁴³.

Accanto a questi aspetti, centrale si pone anche l'esigenza di innovazione e di tutela ambientale e responsabilità sociale, il cui raggiungimento si ritiene conseguibile attraverso le seguenti principali misure:

- introdurre il calcolo dei costi del ciclo di vita e del processo di produzione all'interno delle variabili da prendere in considerazione per l'aggiudicazione dell'Appalto;
- sanzionare le violazioni degli obblighi derivanti dal diritto del lavoro, di previdenza sociale e dell'ambiente;
- introdurre il partenariato per l'innovazione.

Ancora, all'interno della nuove Direttive, possiamo ritrovare degli ammodernamenti al *modus operandi* finora seguito, secondo le seguenti parole chiave:

- FLESSIBILITÀ

Accanto alle tradizionali procedure (aperta e ristretta, per le quali la riformulazione prevede un maggior grado di dettaglio per quanto attiene alle definizioni e alla procedura) il ventaglio degli strumenti d'individuazione del contraente si amplia con le modifiche apportate alla procedura negoziata previa pubblicazione, ora definita procedura competitiva con negoziato con pubblicazione -prevista solo dalla direttiva 2014/24/UE- i cui presupposti sono equiparati a quelli del dialogo competitivo, e il partenariato per l'innovazione, una nuova forma di procedura per gli appalti innovativi, per commesse il cui oggetto non è disponibile sul mercato. Rimane, subordinata a determinate condizioni, la procedura negoziata senza previa pubblicazione⁴⁴;

⁴³ N. Torchio, *Le nuove direttive europee in materia di appalti e concessioni*. Online: <http://www.lineavcp.it/wp-content/uploads/2014/06/leggi-il-documento-completo5.pdf>

⁴⁴ N. Torchio, *Le nuove direttive europee in materia di appalti e concessioni*. Online: <http://www.lineavcp.it/wp-content/uploads/2014/06/leggi-il-documento-completo5.pdf>

- SEMPLIFICAZIONE

Maggiore spinta verso l'uso di comunicazione elettronica, appalti elettronici ed aggregazione della domanda;

- AMMODERNAMENTO DELLE PROCEDURE

- Riduzione dei termini di ricezione delle offerte;
- possibilità di verificare le offerte prima di verificare che siano assetti cause di esclusione;
- ampliamento delle possibilità di ricorso al soccorso istruttorio;
- possibilità di consultazioni di mercato da parte delle Stazioni Appaltanti prima del Bando di gara;
- introduzione del Documento di Gara Unico Europeo (DGUE), attraverso cui gli operatori economici possano dichiarare il possesso dei requisiti di partecipazione nel mercato unico;
- privilegio del criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, a discapito del criterio al massimo ribasso, per cui comunque occorrerà effettuare il calcolo del costo del ciclo di vita dell'intervento.

- CORRETTEZZA DELLE PROCEDURE

Lotta alla corruzione e ricorso a misure di prevenzione.

- AUMENTO COMPETITIVITÀ TRA LE IMPRESE: LIMITI AL FATTURATO RICHIESTO

Non potrà essere richiesto all'operatore economico un requisito di fatturato superiore al doppio dell'importo dell'appalto.

- INTRODUZIONE CALCOLO COSTI DEL CICLO DI VITA⁴⁵

⁴⁵ Direttiva 2014/24/UE: artt.67, 68.

Dovranno essere presi in considerazione, da un lato, i costi sostenuti dall'amministrazione aggiudicatrice (costi di acquisizione, costi correlati all'utilizzo, costi di manutenzione e costi di fine vita) e, dall'altro, i costi relativi alle esternalità ambientali, (costi di emissione e di attenuazione dei cambiamenti climatici).

- INTEGRAZIONE REQUISITI AMBIENTALI, SOCIALI E DEL LAVORO

Il rispetto di tali requisiti sarà valutato dalle stazioni appaltanti in fase di selezione, di aggiudicazione, di verifica dell'offerta anomala, nonché nei riguardi del subappaltatore.

In sintesi, quindi, le nuove Direttive in materia di Appalti Pubblici e concessioni dovrebbero assicurare una qualità ed un rapporto qualità-prezzo superiori rispetto a quelli raggiunti con l'applicazione delle Direttive superate.

Inoltre, sembrerebbe più fattibile per le PMI (piccole e medie imprese) avere la possibilità di presentare le proprie offerte, con disposizioni più severe in materia di subappalto ad ulteriore tutela.

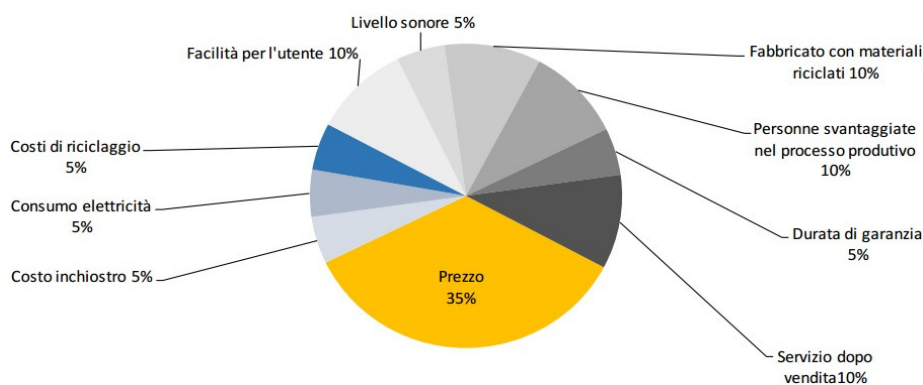


Fig. 7 - Esempi di altri criteri per il calcolo del ciclo di vita⁴⁶

⁴⁶Online:http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/conferenza_economia_sostenibile_kracun_25112014.pdf.

1.1.4 Il GPP in Italia⁴⁷

Dalla fine degli anni '90, con Il Libro Verde *“Gli appalti pubblici nell’Unione Europea”* del 1996, la Commissione Europea ha progressivamente aumentato la propria attenzione verso lo strumento del GPP (*Green Public Procurement* - Acquisti Pubblici Verdi).

Il GPP è uno strumento di politica ambientale volontario che intende favorire lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale, attraverso la leva della domanda pubblica.

Abbiamo già introdotto prima il concetto di prodotti “ambientalmente preferibili” e possiamo dire che si tratti di quelli meno *energivori*, costituiti da materiale riciclato e/o privi di sostanze nocive, di facile riciclabilità, di maggior durata oppure che siano risultato di processi produttivi meno impattanti.

Dato il peso rilevante degli Acquisti Pubblici sull’intero sistema economico dei Paesi Europei (si ricorda che, in base alle stime della Commissione Europea, la spesa pubblica nei paesi membri per l’acquisto di beni, servizi e lavori ammonta annualmente a circa il 19% del relativo PIL), è evidente l’efficacia del GPP nel promuovere le condizioni per favorire la diffusione di un modello di produzione e consumo sostenibile.

Per questo motivo, già dal 2003, il GPP è stato riconosciuto dalla Commissione Europea uno strumento cardine della Politica Integrata dei Prodotti, nell’ambito della relativa Comunicazione COM 2003/302 . In tale comunicazione, venivano invitati gli stati membri ad adottare dei Piani d’azione nazionali sul GPP per assicurarne la massima diffusione.

Per rispondere in modo più concreto al vivace contesto politico in cui ci collochiamo oggi (ricordiamo le nuove Direttive Europee di inizio anno) ed in riferimento agli oneri che gli stati membri si assumono in tema di GPP, la

⁴⁷ Fonte: <http://www.minambiente.it>.

Commissione europea ha emanato una Comunicazione⁴⁸, denominata "*Acquisti pubblici per un ambiente migliore*", che accompagna il Piano d'Azione europeo sul consumo e sulla produzione sostenibili e sulla politica industriale sostenibile (SCP/SIP)⁴⁹, fornendo quindi un'ulteriore spinta verso la diffusione del *GPP*, prescrivendo precisi target quantitativi, indicatori e sistemi di monitoraggio comuni a tutta l'Unione Europea e proponendo come obiettivo da conseguire entro il 2020 il 50% di acquisti "*verdi*" (sia come numero di Appalti che come volume di acquisti).

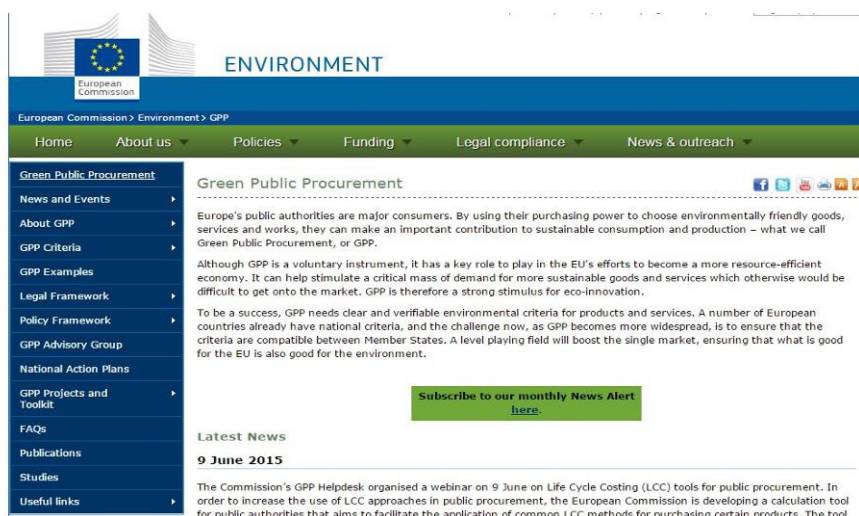


Fig. 8 – Homepage del sito dedicato al *GPP* dall'UE⁵⁰

Per quanto sopra, quindi, possiamo dire a buona ragione che gli Appalti Pubblici verdi svolgono un ruolo fondamentale nella strategia Europa 2020, giacché costituiscono uno degli strumenti basati sul mercato che possono contribuire alla realizzazione dei suoi obiettivi⁵¹.

⁴⁸ Comunicazione n.400 del 16 giugno 2008 – COM (2008) 400.

⁴⁹ Comunicazione n.397 del 16 giugno 2008 – COM (2008) 397.

⁵⁰ Online: http://ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.htm.

⁵¹ Comunicazione della Commissione Europea n. 15/2011 del 27.01.11 – LIBRO VERDE sulla modernizzazione della politica dell'UE in materia di appalti pubblici.

L'Italia, con il D.Lgs. 163/2006 (Codice dei Contratti Pubblici), ha recepito le Direttive comunitarie ed ha fornito, in qualche passaggio, input ancor più vigorosi di quelli di matrice comunitaria. In particolare, l'art. 2 stabilisce la possibilità di "subordinare il principio di economicità, a criteri ispirati da esigenze sociali, dalla tutela dell'ambiente e della salute e dalla promozione dello sviluppo sostenibile".

Infatti, l'art. 68 introduce nel nostro ordinamento l'obbligo di definire le specifiche tecniche "Ogniqualevolta sia possibile", "in modo da tenere conto dei criteri di accessibilità per i soggetti disabili, di una progettazione adeguata per tutti gli utenti, della tutela ambientale".

Successivamente, con l'emanazione del Decreto Interministeriale di approvazione del Piano d'Azione Nazionale sul *Green Public Procurement*, che fa seguito alla delega conferita al governo dall'art. 1, comma 1126 della L. 296/2006 (finanziaria per l'anno 2007), è stato delineato anche a livello nazionale un quadro di riferimento complessivo utile a facilitare l'adozione e l'implementazione di pratiche *GPP* sia dal punto di vista tecnico che metodologico.

1.1.4.1. Il Piano di Azione Nazionale per il *GPP* (*PAN GPP*) e la definizione dei Criteri Ambientali Minimi (*CAM*)

Una delle conseguenze principali che la sopracitata Comunicazione della Commissione Europea "*Politica integrata dei prodotti, sviluppare il concetto di ciclo di vita ambientale*"⁵² ha determinato nel nostro ambito nazionale è che il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha elaborato, attraverso un ampio processo di consultazione con enti locali e parti interessate e con la collaborazione degli altri Ministeri Competenti (Economia e Finanze e Sviluppo Economico) e degli enti e strutture tecniche di supporto (CONSIP, ENEA,

⁵² COM(2003)302: "... a dotarsi di piani d'azione accessibili al pubblico per l'integrazione delle esigenze ambientali negli appalti pubblici ... elaborati per la prima volta nel 2006 ...".

ISPRA, ARPA), il “Piano d’azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della Pubblica Amministrazione” (da ora in poi *PAN GPP*)⁵³.

Tale Piano è stato adottato con il Decreto Interministeriale dell’11 aprile 2008⁵⁴ e si pone come finalità quella di promuovere la conoscenza e la propulsione all’adesione ai principi del GPP da parte di tutti gli Enti Pubblici nazionali, in modo da incoraggiarne appieno l’applicazione, con il conseguente ottenimento di benefici in termini economici ed ambientali.

Il *PAN GPP* è stato aggiornato nel 2013, con apposito Decreto⁵⁵, e delinea un quadro generale sui principi e le azioni tipici del *Green Public Procurement*, definendo gli obiettivi nazionali ed individuando le categorie di beni, servizi e lavori di intervento prioritarie per gli impatti ambientali e i volumi di spesa, sulla base dei quali definire i “Criteri Ambientali Minimi” (da ora in poi *CAM*).

All’interno del *PAN GPP*, possiamo individuare tre principali obiettivi:

- Efficienza e risparmio nell’uso delle risorse (in particolare, energia ed emissioni di CO₂);
- Riduzione dell’uso di sostanze pericolose;
- Riduzione quantitativa dei rifiuti prodotti.

E due approcci particolari:

- Il principio della *dematerializzazione* della nostra economia, ovvero la riduzione degli sprechi e ottimizzazione delle risorse impiegate (materiali ed energetiche);
- la diffusione di modelli di acquisto e di consumo attenti agli impatti ambientali e all’uso di risorse attraverso pratiche di buona gestione.

⁵³ Online: <http://www.minambiente.it/pagina/il-piano-d-azione-nazionale-il-gpp-pan-gpp>.

⁵⁴ G.U. n. 107 dell’8 maggio 2008.

⁵⁵ D.M. 10/2013 (G.U. n. 102 del 3 maggio 2013).

Inoltre, possiamo individuare alcune grandi potenzialità del *GPP* come di seguito elencate:

1. PROMUOVE la diffusione di modelli di acquisto e di consumo sostenibili;
2. FAVORISCE la razionalizzazione della spesa pubblica;
3. AGEVOLA l'inserimento delle considerazioni ambientali all'interno delle altre politiche e strategie perseguite dall'Ente Pubblico;
4. STIMOLA le Imprese ad investire nell'innovazione dei propri processi, nonché a proporre soluzioni eco innovative;
5. RIDUCE gli impatti ambientali dei consumi;
6. FAVORISCE il controllo degli aspetti sociali all'interno del processo produttivo.

In Italia, il *Green Public Procurement* non è obbligatorio, ma esistono diverse norme che ne sollecitano l'adozione, stabilendo dei requisiti specifici per l'acquisto di determinati prodotti o servizi.

L'Italia si è dotata del Piano d'Azione Nazionale⁵⁶ (*PAN GPP*) nel 2008, aggiornato nel 2013, ed ha definito i *CAM* (Criteri Ambientali Minimi) da utilizzare negli Appalti Pubblici per l'acquisto di diverse tipologie di prodotti/servizi.

Ma ancora lunga è la strada percorrere.

Come noto, oggi in Italia, i principali strumenti normativi vigenti di riferimento per gli Appalti Pubblici sono rappresentati dal Codice degli Appalti (D. Lgs. 163/2006 e ss.mm.ii.) e dal suo Regolamento di attuazione (D.P.R. 207/2010 e ss.mm.ii.).

⁵⁶ Online: <http://www.minambiente.it/pagina/il-piano-dazione-nazionale-il-gpp-pan-gpp>.

In essi, non si prescrive nessun obbligo di inserimento di requisiti verdi, ma si lascia la possibilità a tutte le Stazioni Appaltanti di effettuare scelte che tengano conto delle ricadute sugli aspetti sociali ed ambientali.

Come detto, in Italia vige un “Piano d’Azione per la sostenibilità dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione (PAN GPP)” dal 2008, a seguito del quale è stato istituito un sistema di monitoraggio degli Appalti Verdi istituito e gestito dall’Autorità di Vigilanza sui Contratti Pubblici, ex AVCP e oggi Autorità Nazionale Anticorruzione, ANAC.

Il Piano d’Azione definisce i principi ed i Criteri Ambientali Minimi (CAM) che le Stazioni Appaltanti dovranno prevedere nei bandi di gara per poter realizzare Appalti Verdi, concentrandosi sulla definizione di 5 punti fondamentali:

1. Oggetto dell’appalto;
2. Specifiche tecniche (definite, se possibile, “in modo da tenere conto ... della tutela ambientale”⁵⁷);
3. Requisiti di partecipazione;
4. Criteri di valutazione delle offerte (in caso di aggiudicazione con il criterio dell’offerta economicamente più vantaggiosa, si impone alle stazioni appaltanti di prevedere un punteggio minimo di 65 punti per le “caratteristiche ambientali”⁵⁸);
5. Condizioni di esecuzione del contratto (si impone alle Stazioni Appaltanti di definire il contenuto dei capitolati e dei contratti tenendo in considerazione i criteri di tutela ambientale di cui al *PAN GPP*⁵⁹).

⁵⁷ Online:

http://www.anticorruzione.it/portal/public/classic/Comunicazione/News/_news?id=2be3dbfb0a7780a500e0b01d27214cfe.

⁵⁸ D. Lgs. 163/2006 e ss.mm.ii., art. 68.

⁵⁹ D.P.R. 207/2010 e ss.mm.ii., art. 120.

1.1.5 Il GPP in Sardegna: il marchio “*Sardegna compra verde*”

La regione Sardegna si interessa da anni delle tematiche ambientali e già da tempo sta portando avanti iniziative volte a sensibilizzare e incoraggiare gli Enti Locali all’adozione dei principi *green*.

Nello specifico, è l’Assessorato della Difesa dell’Ambiente della Regione Sardegna⁶⁰, al fine di dare attuazione al PAPERS (Politica di Acquisti Pubblici Ecologici nella Regione Sardegna), che ha attivato un processo di accompagnamento al cambiamento delle modalità di acquisto e consumo dei beni e servizi, nonché di razionalizzazione dei fabbisogni⁶¹.

Le attività si susseguono dal 2011 e si sono distinte in:

- Seminari informativi;
- Laboratori tecnici di approfondimento sul Green Public Procurement;
- Piani di intervento settoriali;
- Help Desk (servizio di assistenza a distanza);
- Azioni di comunicazione e diffusione attraverso portale web, comunità di pratica, eventi di settore, opuscoli informativi e glossari tecnici rivolti agli enti pubblici e alle imprese, brochure e similari.

È all’interno di questo contesto che nasce il marchio “*Sardegna compra verde*”⁶², che si configura come un riconoscimento per gli Enti Pubblici sardi che abbiano intrapreso una politica di *Green Public Procurement* (GPP) e/o effettuato acquisti di beni e servizi verdi, con l’obiettivo di integrare i criteri ambientali in tutte le fasi del processo di acquisto.

⁶⁰ In particolare, si tratta del Servizio Sostenibilità Ambientale (SAVI).

⁶¹ Online: <http://www.regione.sardegna.it/sardegnaconpraverde>.

⁶² Online: <http://www.regione.sardegna.it/sardegnaconpraverde>.

Il Marchio è suddiviso in tre categorie, distinte in base al grado di impegno espresso dall'Ente nell'attuazione della propria strategia di *GPP* ed alla quantità di acquisti verdi effettuati:

1. La Sardegna Compra Verde A: è il livello base di certificazione e viene attribuito qualora l'Ente dimostri di:

- a) aver adottato formalmente una politica di *GPP*;
- b) aver realizzato attività di informazione e/o formazione sul *GPP*;
- c) aver effettuato acquisti verdi in almeno 2 delle categorie merceologiche indicate nel Disciplinare, di cui almeno una nelle categorie merceologiche previste dal *PAN GPP*.

2. La Sardegna Compra Verde AA: è il livello intermedio di certificazione e viene attribuito qualora l'Ente dimostri di:

- a) aver adottato formalmente una politica di *GPP*;
- b) aver realizzato attività di informazione e/o formazione sul *GPP*;
- c) aver effettuato acquisti verdi in almeno 2 delle categorie merceologiche indicate nel Disciplinare, di cui almeno una nelle categorie merceologiche previste dal *PAN GPP*;
- d) aver raggiunto una percentuale di acquisti verdi superiore al 20% del totale degli acquisti o, in alternativa, aver adottato formalmente un Piano di Azione per gli acquisti verdi.

3. La Sardegna Compra Verde AAA: è il livello superiore di certificazione che viene attribuito solo agli Enti che dimostrino di:

- a) aver adottato formalmente una politica di *GPP*;
- b) aver realizzato attività di informazione e/o formazione sul *GPP*;

- c) aver effettuato acquisti verdi in almeno 2 delle categorie merceologiche indicate nel Disciplinare, di cui almeno una nelle categorie merceologiche previste dal *PAN GPP*;
- d) aver raggiunto una percentuale di acquisti verdi superiore al 40% del totale degli acquisti o, in alternativa, aver adottato formalmente un Piano di Azione per gli acquisti verdi e raggiunto una percentuale di acquisti verdi compresa tra il 20% e il 40%.

Agli Enti che hanno ottenuto il Marchio, viene concesso l'uso del logo per 1 anno, da usare su tutti i materiali di comunicazione e di promozione dell'Ente, ed ottengono spazi di approfondimento dedicati nelle iniziative di diffusione del Piano per gli Acquisti Pubblici Ecologici della Regione Sardegna, sia a livello regionale che nazionale.



Fig. 9 – Copertina della brochure informativa "Sardegna compra verde".

1.1.5.1 Con il Comune di Cagliari verso l'ottenimento del marchio "Sardegna compra verde": collaborazione e (possibili) sviluppi futuri

Anche il Comune di Cagliari si pone da anni in un'ottica di sostenibilità nell'adozione dei provvedimenti che riguardano l'amministrazione del proprio territorio.

Nello specifico, ha aderito al Patto dei Sindaci del 2008⁶³, con conseguente impegno a realizzare una serie di obiettivi di definizione europea. Il Patto dei Sindaci, infatti, è una iniziativa nata nel 2008 in sede europea, con lo scopo di coinvolgere le comunità locali nell'attuazione di politiche per la riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera.

L'adesione al Patto è volontaria da parte dei Sindaci e comporta l'impegno a predisporre un documento, il Piano di Azione per l'Energia Sostenibile - PAES.

In questo documento sono indicate le azioni che l'Amministrazione comunale programma di attuare in un orizzonte temporale fino al 2020 nel campo del risparmio energetico, del ricorso alla produzione di energia da fonti rinnovabili, nelle attività di formazione, informazione e partecipazione dei cittadini e delle realtà sociali con la finalità di ridurre il quantitativo di anidride carbonica emessa nel proprio territorio comunale e contribuire così, su scala globale ciascuno per la sua parte, alla salvaguardia dell'ambiente in cui vivranno le generazioni future.

Ogni due anni deve essere preparato e inviato all'ufficio del Patto dei Sindaci, presso la Comunità Europea, un rapporto che illustra lo stato di attuazione degli interventi programmati e la quantità di anidride carbonica risparmiata.

L'attuale Sindaco di Cagliari ha firmato il Patto dei Sindaci il 30 novembre 2012⁶⁴.

⁶³ Online: www.pattodeisindaci.eu.

⁶⁴ Online: http://www.comune.cagliari.it/portale/it/energia_solare_cagliari.page?contentId=SCH690.

In base a quanto sopra, quindi, il Comune di Cagliari si è dotato di un PAES, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 46, in data 22.07.2014.

In questo utilissimo documento, sono contenute tutte le analisi che sono state fatte sulla situazione attuale del Comune di Cagliari, per ciò che concerne usi e consumi del territorio. Partendo da tale analisi, sono stati formulati quindi degli obiettivi di riduzione dei dati di partenza, in allineamento con le prescrizioni comunitarie e le velleità di miglioramento dell'utilizzo delle risorse con orizzonte temporale 2020.

Tra tutte, una delle azioni sicuramente più significativa è la “EE – Riduzione dei consumi ed efficienza energetica”, che si propone di articolarsi nei seguenti punti:

EE	Riduzione dei consumi ed efficienza energetica
EE 01	illuminazione pubblica
EE 01.1	Riqualificazione a LED dell'illuminazione pubblica - Convenzione CONSIP
EE 01.2	Riqualificazione a LED dell'illuminazione pubblica - Interventi vari
EE 01.3	Riqualificazione a CPO dell'illuminazione pubblica - Interventi vari
EE 01.4	Riqualificazione dell'illuminazione pubblica - Implementazione di sistemi di regolazione del flusso luminoso
EE 01.5	Riqualificazione tecnologica del sistema semaforico comunale
EE 02	Riqualificazione energetica degli edifici della P.A.
EE 02.1	Miglioramento dell'efficienza energetica nella piscina Terramaini
EE 02.2	Efficientamento energetico di 40 scuole comunali
EE 02.3	Gestione centralizzata degli impianti clima negli uffici comunali
EE 02.4	Riqualificazione del Borgo Vecchio Sant'Elia - I° Stralcio
EE 02.5	Riqualificazione edifici Via Donizetti
EE 02.6	Riqualificazione edifici Quartiere Santa Teresa - Pirri
EE 03	Azioni di sistema
EE 03.1	Politiche GPP
EE 03.2	Acquisti energia verde certificata per i fabbisogni dei fabbricati comunali
EE 03.3	Realizzazione di un'Agenda Digitale Comunale
EE 03.4	Adozione di buone pratiche per il risparmio energetico negli uffici dell'Ente Locale
EE 04	Soluzioni per l'ottimizzazione dell'occupazione delle abitazioni
EE 04.1	Promozione del Cohousing

Delibera: 46 / 2014 del 22/07/2014

PIANO DI AZIONE PER L'ENERGIA SOSTENIBILE DEL COMUNE DI CAGLIARI



EE 05	Maggior efficienza energetica nei consumi degli edifici ad uso residenziale
EE 05.1	Miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici residenziali
EE 05.2	Promozione e diffusione di buone pratiche di controllo del consumo energetico negli edifici ad uso residenziale
EE 06	Maggior efficienza energetica nei consumi degli edifici ad uso del terziario
EE 06.1	Miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici del terziario
EE 06.2	Promozione e diffusione di buone pratiche di controllo del consumo energetico negli edifici ad uso terziario

Fig. 10 – Stralcio del PAES del Comune di Cagliari – Politiche GPP.

Nella figura sopra, in rosso sono state evidenziate le attività oggetto di collaborazione tra l'Università e l'Amministrazione Comunale, all'interno di questo percorso di studio e ricerca.

Nello specifico, ci siamo occupati della divulgazione dei principi del *Green Public Procurement*, settore per settore, ufficio per ufficio, compiendo un'intensa attività porta-a-porta, divulgativa da un lato e propositiva dall'altro. L'obiettivo, infatti, era quello di far conoscere ai più le nuove tendenze "verdi" della normativa italiana, nonché i prossimi adempimenti cui tutti gli uffici dovranno adeguarsi, in ambito di Appalti di lavori, servizi e forniture.

Si è riscontrata una totale predisposizione all'ascolto e al dialogo, seppur con una certa riluttanza verso il "nuovo", dovuto sicuramente alla percezione che qualcosa sta cambiando e quindi una certa ritrosia a lasciare la strada fin qui percorsa, oramai assodata e fatta propria, a discapito di un percorso nuovo e quindi ancora sconosciuto e foriero di interrogativi.

Attraverso questo percorso, studiando l'organigramma degli uffici e ricostruendo di cosa ciascuno si occupasse e secondo quali modalità e tempistiche, si è giunti alla formulazione della Delibera di Consiglio che porterà il Comune di Cagliari all'ufficializzazione dell'adesione alla politica del *Green Public Procurement*. Questo passo è molto importante, poiché consentirà al Comune di Cagliari di ottenere il marchio "*Sardegna compra verde*" e porsi quindi come Comune capofila a livello regionale in questo percorso.

Attualmente, tale Delibera è al vaglio dei Funzionari preposti, ma si è certamente vicini alla fine, quindi entro l'anno la politica *GPP* diventerà realtà concreta e prassi ordinaria anche per il Comune di Cagliari.

Inoltre, sempre all'interno di questa esperienza di collaborazione con il Comune di Cagliari, è emersa la possibilità concreta di collaborare all'altro grande obiettivo del PAES: la riqualificazione di una buona parte degli immobili di proprietà comunale, aventi svariate destinazioni d'uso, come riportato nella stessa scheda del PAES mostrata prima.

EE	Riduzione dei consumi ed efficienza energetica
EE 01	Illuminazione pubblica
EE 01.1	Riqualificazione a LED dell'illuminazione pubblica - Convenzione CONSP
EE 01.2	Riqualificazione a LED dell'illuminazione pubblica - Interventi vari
EE 01.3	Riqualificazione a CPO dell'illuminazione pubblica - Interventi vari
EE 01.4	Riqualificazione dell'illuminazione pubblica - Implementazione di sistemi di regolazione del flusso luminoso
EE 01.5	Riqualificazione tecnologica del sistema semaforico comunale
EE 02	Riqualificazione energetica degli edifici della P.A.
EE 02.1	Miglioramento dell'efficienza energetica nella piscina Terramaini
EE 02.2	Efficientamento energetico di 40 scuole comunali
EE 02.3	Gestione centralizzata degli impianti clima negli uffici comunali
EE 02.4	Riqualificazione del Borgo Vecchio Sant'Elia - 1° Stralcio
EE 02.5	Riqualificazione edifici Via Donizetti
EE 02.6	Riqualificazione edifici Quartiere Santa Teresa - Pirri
EE 03	Azioni di sistema
EE 03.1	Politiche GPP
EE 03.2	Acquisti energia verde certificata per i fabbisogni dei fabbricati comunali
EE 03.3	Realizzazione di un'Agenda Digitale Comunale
EE 03.4	Adozione di buone pratiche per il risparmio energetico negli uffici dell'Ente Locale
EE 04	Soluzioni per l'ottimizzazione dell'occupazione delle abitazioni
EE 04.1	Promozione del Cohousing

Delibera: 46 / 2014 del 22/07/2014

PIANO DI AZIONE PER L'ENERGIA SOSTENIBILE DEL COMUNE DI CAGLIARI



EE 05	Maggior efficienza energetica nei consumi degli edifici ad uso residenziale
EE 05.1	Miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici residenziali
EE 05.2	Promozione e diffusione di buone pratiche di controllo del consumo energetico negli edifici ad uso residenziale
EE 06	Maggior efficienza energetica nei consumi degli edifici ad uso del terziario
EE 06.1	Miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici del terziario
EE 06.2	Promozione e diffusione di buone pratiche di controllo del consumo energetico negli edifici ad uso terziario

Fig. 11 – Stralcio del PAES del Comune di Cagliari – riqualificazione edifici della P.A.

Questo rimanda al tema di riqualificazione dell'esistente di cui parleremo in seguito, argomento oggi al centro della scena e inevitabile in ambito di messa a punto di attività strategiche per l'abbattimento dei consumi energetici, nonché le emissioni in atmosfera da parte delle Amministrazioni locali.

1.2 I nuovi punti cardine dell'appalto

1.2.1 La valutazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa

In uno scenario di numeri e aspettative come quello appena descritto, appare significativo soffermarsi sull'importanza del criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, poiché esso rappresenterà un punto nevralgico per l'affidamento degli appalti nel prossimo futuro. Di conseguenza, i bandi per i lavori di riqualificazione dell'esistente non potranno non prevedere al loro interno i dati specifici di prestazione richiesta per questo o quell'aspetto, e sarà sulla base di tali valori che dovranno essere poi formate le griglie di valutazione.

Fino ad oggi, il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa è coesistito con quello del prezzo più basso, seppure abbia visto la sua applicazione in misura assai inferiore ad esso; ciò è dovuto sicuramente alla maggiore immediatezza del secondo rispetto al primo, ma anche al fatto che non si era obbligati, se non in certi casi specifici, al ricorso ad esso. Quindi, vuoi per comodità, vuoi per maggiore velocità della procedura (nonché per ripararsi da ricorsi spesso lunghi e affannosi), le Stazioni appaltanti hanno continuato ad applicare il criterio del prezzo più basso nella stragrande maggioranza dei loro appalti.

Oggi, qualcosa sta cambiando.

Infatti, come già detto all'inizio del capitolo, il 28 marzo 2014 sono state pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea le tre nuove Direttive Comunitarie in materia di contratti pubblici, entrate in vigore il 17 aprile 2015.

In particolare, facendo riferimento alla Direttiva 2014/24/UE, nei *considerando*⁶⁵ 88 e 89, possiamo leggere come il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa venga elevato a rango prioritario, assumendo una connotazione innovativa e diversa fino a quella posseduta finora: economicamente più vantaggioso inteso come **miglior rapporto qualità/prezzo**. Di conseguenza, si scardina il concetto di equivalenza e libertà nella scelta di uno

⁶⁵ I *considerando* sono le premesse al corpus normativo delle Direttive vere e proprie; sono considerate assai importanti, perché è in esse che vengono enunciati i principi generali su cui si fondano le norme stesse.

dei due criteri, poiché *“al fine di incoraggiare maggiormente l’orientamento alla qualità...”*, dovrebbe essere consentita la possibilità, per gli Stati membri, di *“proibire o limitare il ricorso al solo criterio del prezzo o del costo per valutare l’offerta economicamente più vantaggiosa”*⁶⁶. Quindi, la novità introdotta riguarda, da un lato, la nuova concezione del criterio dell’offerta economicamente più vantaggiosa e, dall’altro, la preferenza della sua applicazione rispetto all’adozione del criterio del prezzo più basso.

Il concetto di **qualità** diventa così, per la prima volta, centrale nella scelta del criterio di aggiudicazione dell’appalto e, nel *considerando* 93, si sostiene addirittura la possibilità che *“...resta possibile valutare il rapporto qualità prezzo sulla base di fattori diversi dal solo prezzo o dalla sola remunerazione.”* Questo è un punto di vista certamente innovativo e rivoluzionario e consentirebbe, in futuro, di evitare il manifestarsi dei ribassi eccessivi cui siamo abituati oggi, che vanno solo a svantaggio dei lavori stessi, poiché si potrà aggiudicare la gara solo sulla base della qualità degli altri fattori richiesti da bando.

Per la scelta di tali fattori, le Stazioni Appaltanti sono lasciate libere di *“fissare norme di qualità adeguate utilizzando le specifiche tecniche o le condizioni di esecuzione di un appalto”*⁶⁷, ma si sottolinea l’importanza di inserire, tra loro, i fattori ambientali e sociali⁶⁸.

Com’è noto, infatti, la tutela ambientale e la promozione dello sviluppo sostenibile sono tra le priorità della politica europea e permeano appieno queste nuove Direttive.

Oltre al concetto di qualità, viene rivisto anche il concetto di **prezzo**, inteso non più come mero corrispettivo di denaro, quanto costo del **ciclo di vita**, ossia di *“...tutti i costi che emergono durante il ciclo di vita dei lavori, delle forniture o dei servizi”*; per esempio, troviamo tra essi i costi interni (ricerca,

⁶⁶ Direttiva 2014/24/EU, *considerando* 90.

⁶⁷ Id.

⁶⁸ Direttiva 2014/24/EU, *considerando* 91: le Stazioni appaltanti potranno valutare l’offerta, tenendo conto *“dell’integrazione sociale di persone svantaggiate o di membri di gruppi vulnerabili tra le persone incaricate dell’esecuzione dell’appalto”*.

sviluppo, produzione, trasporto) e i costi di smaltimento finale, nonché i costi imputabili alle esternalità ambientali, quali l'inquinamento⁶⁹.

L'analisi dei fattori che concorrono alla valutazione del ciclo di vita viene indicata all'art. 68 della Direttiva e va precisato che, al comma 2, si fa proprio riferimento all'obbligo per le stazioni appaltanti di indicare nei documenti di gara i dati che gli offerenti dovranno comunicare per la valutazione dei costi del ciclo di vita, stabilendo, per quanto riguarda quelli legati alle esternalità ambientali, tre condizioni per la loro valutazione: obiettività (criteri oggettivi e non discriminatori), accessibilità (tutte le parti interessate devono aver accesso al metodo di valutazione) e relativa facilità di reperimento dei dati necessari.

In conclusione, ciò che emerge da quanto detto è certamente una spinta maggiore verso l'analisi dell'offerta non soltanto al momento della gara vera e propria, quanto mirata ad una valutazione più ampia dei costi/benefici dell'offerta proposta. La valutazione di un'offerta che sia davvero economicamente più vantaggiosa e che consenta l'aggiudicazione ad operatori meritevoli e non solo temerari, che troppo spesso azzardano ribassi eccessivamente alti, a discapito solo della qualità e del progetto stesso.

1.2.2 Il Life Cycle Assessment

In base a quanto detto, uno dei Fattori oggi fondamentali per la valutazione degli impatti di un intervento è rappresentato dall'analisi del costo di ciclo di vita, o, più comunemente *Life Cycle Assessment (LCA)*.

Si tratta di uno strumento che è nato e si è sviluppato nel settore industriale, per analizzare gli impatti ambientali di un'attività, processo o prodotto lungo tutte le fasi del suo ciclo di vita:

FASE 1: estrazione materie prime;

⁶⁹ Direttiva 2014/24/EU, *considerando* 96.

FASE 2: lavorazione dei materiali;

FASE 3: trasporto;

FASE 4: assemblaggio;

FASE 5: uso e gestione;

FASE 6: scenario di fine vita

Questo tipo di analisi rimanda un valore sintetico, quindi un numero, che quantifica in maniera oggettiva gli impatti negativi di un prodotto sull'ambiente naturale.

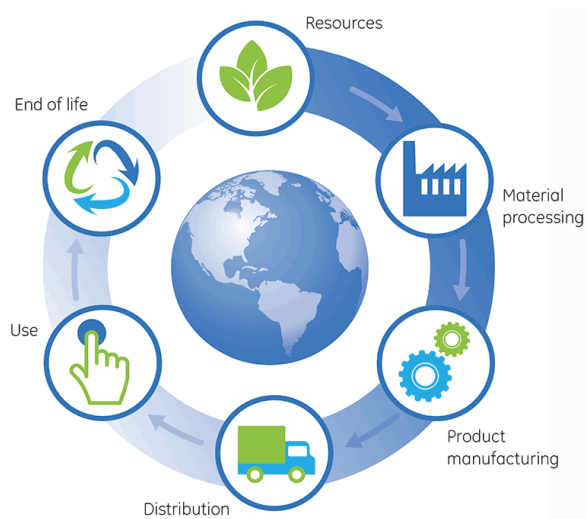


Fig. 12 – Fasi del *Life Cycle Assessment*⁷⁰.

⁷⁰ Online: <http://www.greenreport.it/nome-rubrica/lca/>.

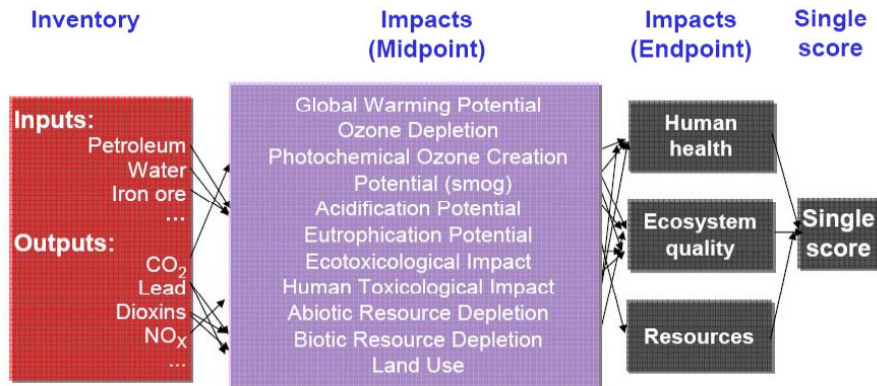


Fig. 13 – Esempio di analisi degli impatti⁷¹.

1.2.2.1 Il Life Cycle Assessment in edilizia: vantaggi e limiti

In edilizia, *l'obiettivo principale dell'applicazione del metodo LCA è quello di fornire informazioni di natura ambientale di supporto alle scelte progettuali, attraverso una valutazione integrale dei consumi e delle emissioni inquinanti derivanti, a livello di sistema edificio, dalla scelta dei materiali e dei componenti edilizi e delle soluzioni tecnico-costruttive e impiantistiche.*

Un aspetto peculiare del settore edilizio è il fatto che il prodotto edilizio che esce dallo stabilimento non costituisce il prodotto finale, ma solo un componente che deve essere integrato all'interno del sistema edificio.

Per quanto un edificio possa essere costituito da componenti prefabbricati, molte operazioni "produttive" avvengono in cantiere, un luogo difficilmente monitorabile e con lavorazioni semiartigianali difficilmente controllabili, e dunque

⁷¹ Online: <http://www.uniroma2.it/didattica/DIN/deposito/LCA.pdf> - "L'ecobilancio (LCA): descrizione della metodologia e applicazione ad un caso studio ad un caso studio Giulia Costa, Renato Baciocchi, Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Roma "Tor Vergata". Dinamica degli inquinanti, a.a. 2009-2010.

sfuggendo alle rilevazioni ambientali e all'implementazione dell'inventario (e soprattutto alla verifica della qualità finale del sistema).

Sia la fase di costruzione sia la fase di demolizione contengono processi impattanti, ma poco controllabili, che tendono quindi ad essere omessi.

L'edificio è un prodotto non solo complesso, ma soprattutto non replicabile: nonostante i processi edilizi possano essere sempre gli stessi, ogni edificio è diverso, in base alla collocazione geografica, climatica, alle specificità del sito, alle esigenze di progetto, alle modalità d'uso ecc. Questo determina anche una difficoltà di valutazione del ruolo in fase d'uso dei componenti edilizi utilizzati.

*Di conseguenza, ipotizzando di riuscire nel tempo a collezionare dati attendibili relativi alla fase di produzione, i profili ambientali dei prodotti edilizi non sono sufficienti a rendere completa e affidabile la valutazione alla scala dell'edificio. La somma degli impatti dei singoli prodotti non corrisponde agli impatti del sistema edificio realizzato in opera. Inoltre, **sono ogni volta difficili da stimare gli impatti ambientali della fase d'uso dell'edificio** (gestione energetica, manutenzione, adeguamenti), che variano in relazione dello specifico progetto.*

La pulizia, la manutenzione, le ristrutturazioni, gli adeguamenti impiantistici generano attività durante l'uso che attivano nuove filiere di impatti, difficilmente quantificabili al momento del progetto. La valutazione degli impatti lungo il ciclo di vita dei singoli componenti e la valutazione degli impatti lungo il ciclo di vita dell'intero edificio sono due livelli di analisi distinti, ma in realtà correlati. Le responsabilità rispetto a questi due livelli ricadono su operatori diversi: i produttori sono responsabili dei cicli di vita dei componenti edilizi (e dell'eventuale certificazione di prodotto), i progettisti e i costruttori sono responsabili del sistema edificio nel suo complesso (e dell'eventuale certificazione dell'edificio). In fase di scelta progettuale dei materiali e componenti, vanno evidenziate le interrelazioni del componente rispetto al sistema edificio e va valutato non solo il profilo ambientale del singolo componente, ma anche il comportamento ambientale del sistema edificio, prima di poter esprimere un giudizio sull'eco-compatibilità di un prodotto o di una soluzione tecnica.

Il metodo LCA, esauriente nell'analisi del processo produttivo dei prodotti edilizi, risulta meno completo invece se utilizzato come strumento di valutazione ambientale alla scala dell'intero edificio. Questo metodo ha dei confini molto rigidi, prende in considerazione solo alcuni aspetti e non la complessità dei temi che investono la progettazione di edifici e riguarda gli oggetti che compongono l'edificio.

Per esempio, nel metodo LCA non rientrano tutte quelle verifiche di tipo "macroambientale" che riguardano il corretto rapporto dell'edificio con il contesto, la qualità ambientale dell'insediamento, la vicinanza ai servizi, la permeabilità dei suoli, l'uso di materiali per evitare la formazione di isole di calore, e così via⁷².

1.2.2.2 Il Life Cycle Assessment in edilizia: fase gestionale⁷³

Negli edifici la fase d'uso è quella di maggior durata e che comporta i maggiori consumi energetici e gli impatti legati alle attività di adeguamento, manutenzione e riqualificazione.

Con un termine oggi molto in voga viene definita come la fase più "energivora" del processo edilizio. Nota come fabbisogno energetico, essa è necessaria per garantire e mantenere le condizioni di confort e benessere (temperatura, illuminamento, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria ecc.) all'interno degli edifici durante il loro ciclo di vita.

Essa quindi è costituita dall'energia per il funzionamento degli impianti e l'energia per la manutenzione del manufatto edilizio.

⁷² Dalla dispensa del Prof. Arch. Antonio Carbonari, IUAV Venezia. Corso di Studi: *Innovazione Tecnologica e Design per i Sistemi Urbani e il Territorio*, Insegnamento: *Audit e progettazione energetica*. a.a. 2013/2014. Tratto dalla Tesi di Laurea di Alberto Guidolin (A.A. 2011-2012).

⁷³ Id.

Occorre sottolineare che la lunga durata degli edifici permette di “diluire” nel tempo gli impatti generati per la produzione e costruzione dell’edificio.

La durata dell’edificio nel tempo è dunque l’aspetto che ha maggiore incidenza sulla riduzione degli impatti sull’ambiente. A patto che si tratti di un edificio a basso consumo energetico e che sia realizzato con materiali e componenti durevoli (a bassa manutenzione).

L’efficacia delle scelte tecnico-costruttive dipende anche dai tempi previsti d’uso e sostituzione e che esista un versante progettuale legato alla temporaneità che ha bisogno ancora di più di essere oggetto di una progettazione attenta all’ambiente. In genere i prodotti edilizi vengono scelti per le loro prestazioni, soprattutto termiche, piuttosto che per il loro profilo ambientale e per i ridotti impatti generati in fase di produzione.

Pur essendo fondamentale la scelta dei materiali ad alte prestazioni, occorre però verificare, in un bilancio complessivo, se gli impatti generati dai prodotti ad alte prestazioni sono compensati dalle prestazioni in uso.

*Questo è il ruolo fondamentale svolto dalle valutazioni LCA, che, per questo, andrebbero maggiormente integrate nella fase decisionale. **Estendere la vita degli edifici diventa un obiettivo primario:** se un edificio ha un ciclo di vita ridotto, o perché ne decade la funzione e viene abbandonato (come le industrie dismesse) o perché i materiali e componenti con cui è stato costruito sono di scarsa qualità e ne hanno comportato un rapido decadimento prestazionale, l’impatto nei confronti dell’ambiente è elevato, poiché occorrono più cicli di produzione e costruzione per garantire il parco di edifici in uso. Se un edificio invece ha un lungo ciclo di vita, riuscendo a mantenere le sue capacità prestazionali, l’impatto sull’ambiente si riduce.*

*Per consentire all’edificio di mantenersi efficiente a lungo nel tempo e di conservare le sue capacità prestazionali, è necessario che venga progettato in modo da garantire una facile manutenibilità e adeguabilità, facendo diventare di primaria importanza il tema della **manutenzione** in edilizia.*

1.2.3 La riqualificazione e gestione dell'esistente

Ecco allora che il patrimonio edilizio pubblico rappresenta oggi una grande sfida per la gestione dei consumi, rispetto ai quali influiscono in modo significativo soprattutto gli edifici a valenza storico-culturale (per i quali sono note e frequenti le difficoltà d'intervento).

Il nostro territorio nazionale, infatti, è disseminato di fabbricati vetusti e di vecchia concezione progettuale, per cui diventa difficile che soddisfino gli alti standard prestazionali oggi richiesti.

Di conseguenza, è sotto gli occhi di tutti come municipi, uffici, scuole e palestre siano pericolosi dal punto di vista sismico e dispendiosi in termini di energia, vista la scarsa efficienza energetica dei loro componenti (caldaie, infissi, coibentazione ed involucro in generale).

Secondo le stime dell'ENEA⁷⁴ (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), in Italia gli edifici della Pubblica Amministrazione ammontano ad oltre 13.000 unità e consumano ogni anno 4,3 TWh di energia, determinando una spesa complessiva di circa 644 milioni di euro. Secondo la sua stima, gli interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti consentirebbero una riduzione dei consumi di circa il 40%, con un risparmio di 73 milioni di euro.

Per raggiungere questo risultato, sarebbe certamente necessario un ulteriore dispendio di risorse economico-finanziario (sempre secondo le stime ENEA, l'investimento necessario sarebbe di circa 158 milioni euro/anno), ma questa appare l'unica strada possibile per i prossimi anni, visti gli obiettivi posti in sede europea a seguito dell'adozione di strategie internazionali per l'abbattimento dei consumi negli stati membri.

Infatti, gli esperti ENEA confermano che, dal 1 gennaio 2019, scatterà l'obbligo per tutti gli edifici della Pubblica Amministrazione di rispettare il nuovo

⁷⁴ Online: www.enea.it

standard energetico, che prevede consumi molto bassi e l'impiego di fonti rinnovabili.

Questo percorso ha già visto il suo avvio dal 2014, poiché è in quell'anno che si è ufficializzato l'avvio della riqualificazione energetica della Pubblica Amministrazione Centrale, come previsto dalla Direttiva europea 27/2012 sull'efficienza energetica ed il suo Decreto legislativo di recepimento, il 102/2014.

In generale, gli edifici della Pubblica Amministrazione centrale (come uffici, caserme, carceri e presidi PS) ammontano a circa 3000 immobili. Per essi, oltre la metà del totale dei consumi, pari a 1,1 miliardi di kWh, è imputabile al gas naturale, mentre poco più di un terzo all'energia elettrica. Nel complesso, i consumi energetici per il riscaldamento (metano, gasolio, carbone e GPL) ammontano ad oltre 730 milioni di kWh.

Sempre secondo le stime ENEA, considerata una superficie totale di circa 14 milioni di m², la quota da ristrutturare ogni anno sarebbe di oltre 2,5 milioni di m², a cui corrisponde un consumo energetico complessivo poco superiore ai 400 GWh/a. Una stima dei risultati conseguibili al 2016 prevede un risparmio annuale complessivo di circa 50 GWh/a e di circa 109 GWh/a al 2020 (76 GWh/a di risparmio per i consumi termici e 33 GWh/a per quelli elettrici).

Sempre secondo l'ENEA, servirebbero investimenti per 300 milioni di euro l'anno per una superficie da riqualificare di 450.000 m² l'anno.

Anche in questo caso, il dispendio delle risorse economiche è indubbio e sarebbe uno sforzo notevole, ma, viste le stime degli ottimi risultati conseguibili, appare quantomeno ragionevole provare ad attuare una simile politica di riqualificazione del costruito, che, tra gli altri aspetti, determinerebbe anche della ricadute occupazionali notevoli (per un intervento del genere, si stimano circa 3.500 nuovi occupati).

Infine, anche gli edifici delle scuole non sono da sottovalutare.

Per essi, l'ENEA stima che ammontino a circa 43.000 unità e che il loro consumo annuo sia pari a 9,6 Twh, determinando una spesa di 1,3 milioni di euro.

Anche in questo caso, circa il 20% è della spesa è attribuibile ai maggiori consumi energetici, pari a 2,6 TWh, che determinerebbero una spesa di 351 milioni di euro l'anno.

Allora, intervenendo anche su questi edifici, la riduzione dei consumi arriverebbe fino al 45%, consentendo un risparmio di 169 milioni di euro.

L'investimento stimato per le scuole sarebbe di circa 3,6 miliardi di euro (580 milioni di euro/anno), ma l'ENEA considera che, anche in questo caso, si avrebbero circa 53.700 posti di lavoro in più, nonché una riduzione della CO₂ pari a circa 312.000 t.

Numeri, questi, che potrebbero e dovrebbero certamente fare la differenza in sede decisionale!

Capitolo 2

L'IMPORTANZA DEGLI APPALTI VERDI NELLA RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI: LA SIMULAZIONE COME SUPPORTO ALLA GARA D'APPALTO

2.1 La simulazione nella filosofia *BIM*

Quando si progetta un intervento edilizio, che sia esso più o meno complesso, si segue sempre un percorso che parte da un'idea progettuale, passa attraverso varie analisi sotto differenti punti di vista e termina con la realizzazione dell'opera stessa. Tra i documenti predisposti, vi è qualcosa certamente in merito al "dopo" realizzazione, ossia alla fase di manutenzione e gestione, ma spesso questo non si dimostra sufficiente.

Ecco allora che capita sovente di incontrare opere incompiute, oppure abbandonate perché non idonee all'uso prefissato.

Per questo motivo, è oggi viva più che mai l'esigenza di una progettazione completa, "integrata" nel vero senso della parola, che assuma in essa davvero tutti gli aspetti caratteristici di quell'opera, non solo costruttivi e realizzativi, ma anche e soprattutto funzionali e gestionali. In particolare, il problema energetico non può essere un aspetto lasciato al "dopo si vedrà", ma già in fase decisionale si dovrebbero stabilire i valori prestazionali che si ambisce raggiungere con quell'intervento, in riferimento soprattutto alla fase di vita del bene stesso; prestando attenzione, quindi, ai suoi consumi in fase di esercizio, ai costi di gestione e manutenzione, nonché a quelli finali di eventuale smaltimento.

Da un punto di vista concettuale, questi aspetti non sono certo nuovi, ma la realtà che ci circonda ci mostra come la loro applicazione non sia poi così facile e scontata. Per questo, l'esigenza forte che si sente oggi è di potersi avvalere di strumenti tecnologici che consentano una progettazione pianificata in tutte le fasi, in cui tutti gli attori coinvolti possano contribuire in modo decisivo, ciascuno per la propria competenza, realizzando un tavolo tondo virtuale che colleghi ogni componente e che consenta lo scambio delle informazioni e dei dati. Un sistema di cui potersi avvalere sia in fase di progettazione che di realizzazione, con un

cantiere che sia gestibile in tempo reale, in modo da arginare il più possibile errori nell'esecuzione e ritardi nei tempi contrattuali. Non solo, molto importante sarebbe anche la possibilità di disporre di un sistema che sia sempre aggiornato e implementato in tempo reale con i dati che aumentano di pari passo alla vita utile dell'edificio, in modo tale che, in qualsiasi momento, sia più agevole intervenire e lo si possa fare in modo mirato, con successo (molte volte, infatti, quando si interviene in una struttura datata o per cui non si dispone di disegni specifici, si va "a caccia" dei punti in cui intervenire, perché magari non si conosce bene quale sia il passaggio degli impianti e così via...).

Tutto questo oggi si sta concretizzando con la tecnologia *BIM*, in costante ascesa nel panorama mondiale e oramai anche in Italia.

2.1.1 Il *Building Information Modelling*: nuovo approccio al processo

Il *Building Information Modelling (BIM)* rappresenta oggi il protagonista assoluto nel cambiamento della concezione del processo edilizio in tutte le sue fasi, dalla concezione dell'idea iniziale, passando per la sua evoluzione e gestione per tutta la sua durata.

La richiesta odierna di una progettazione sempre più performante da un punto di vista tecnico, materico e impiantistico, nonché l'aumento della complessità dell'intero processo, vista anche la moltitudine degli attori coinvolti, ha determinato in modo significativo un'evoluzione dell'intero processo, sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni e, in generale, gli interventi sull'esistente.

In un simile quadro di contesto, ecco che il *Building Information Modelling (BIM)* si pone come lo strumento che può consentire tale sviluppo del processo. Nello specifico, infatti, il *Building Information Modelling (BIM)* rappresenta quel sistema che consente di generare il modello di un edificio, che possa essere gestito per tutta la sua vita utile, dalla progettazione alla gestione (ciclo di vita).

Questo modello si presenta come un contenitore di dati e informazioni utili su quel dato oggetto (geometria, materiali, strutture, fasi realizzative, ecc...),

continuamente implementabili ed aggiornabili di pari passo con l'avanzare del processo.

Il suo ruolo, quindi, è considerabile un ruolo chiave, in quanto si basa su **collaborazione** e **condivisione** dei dati, favorendo l'ottimizzazione di un progetto lungo tutto il suo ciclo di vita.

In base a quanto detto, va specificato che non si sta parlando di una mera innovazione tecnologica, quale per esempio poteva essere considerata la fase di passaggio dal disegno su carta a quello su cad o, meglio ancora, dalla rappresentazione 2d a quella 3d, poiché qui siamo di fronte ad una vera e propria innovazione della filosofia di approccio all'intero processo. Infatti, alla iniziale generazione di un modello 3d, con un sistema *Building Information Modelling (BIM)* è possibile connettere in modo dinamico e sinergico tutte le informazioni che lo caratterizzano (analisi strutturali, materiali, prestazionali da un punto di vista energetico e sismico, ecc...), consentendo così una valutazione del processo più produttiva ed efficiente.

Questo perché i sistemi *Building Information Modelling (BIM)* sono in grado di gestire le diverse informazioni di un edificio, entrando nel merito della quantità e della qualità dei suoi componenti, dalla fase progettuale e costruttiva (*construction management*) a quella gestionale (*facility management*).

Uno dei Paesi sicuramente più all'avanguardia in merito all'applicazione dello strumento *Building Information Modelling (BIM)* è il Regno Unito ed è ad esso che si deve la definizione dei livelli di maturità del processo di progettazione e costruzione, relativi all'adozione dei sistemi *BIM*.

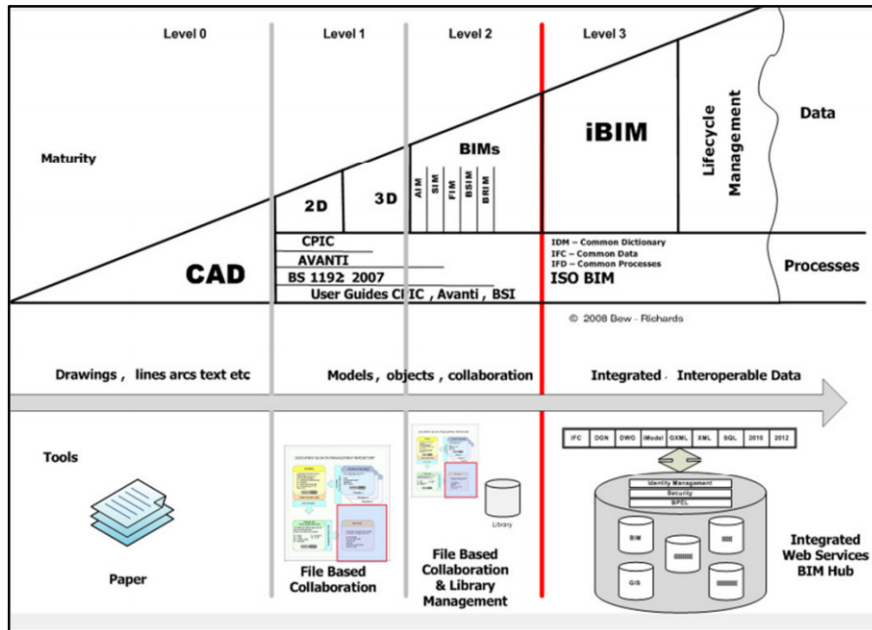


Fig. 14 – Livelli di sviluppo del processo, secondo il *Department of Business*, 2011.

Dall'immagine qui sopra, si evince la definizione dei seguenti livelli di sviluppo:

- livello 0: materiale cartaceo, caratterizzato da disegni cad 2d. Nessuna condivisione di dati, ma al massimo scambio di carte.
- livello 1: si introduce un modello 3d, ma con il solo scopo di visualizzazione. Nessuna condivisione di dati.
- livello 2: introduzione del *BIM* in ogni disciplina. Condivisione dei dati.
- livello 3: processo integrato *BIM*. Condivisione dei dati mediante applicazioni web con supporti IFC/IFD.

Quindi, da un punto di vista organizzativo, per gli operatori coinvolti, passare ad una gestione di tipo *BIM* rappresenta ben più che scegliere solamente un nuovo software da studiare e applicare, ma comporta l'adesione ad una nuova filosofia di approccio al processo, basata certamente su una nuova concezione del progetto, che non potrà essere più visto in modo rigido secondo la definizione di un preliminare, definitivo ed esecutivo cui siamo abituati, poiché già in fase di rappresentazione del modello gli operatori coinvolti sono chiamati a compiere delle scelte progettuali precise, "definitive" fin dal principio. Inoltre, aderire al *BIM* significa essere disposti a **condividere** i dati, nonché a scambiarli con gli altri stakeholders (tecnici incaricati, ma in generale tutte le persone coinvolte in quel processo).

Fondamentale in questo cambio di paradigma diventa quindi l'**interoperabilità** del modello, che rappresenta la possibilità di avere i dati e le informazioni sempre corrette ed aggiornate, in tempo reale! La mancanza di ciò, infatti, ha finora rappresentato uno dei principali talloni d'Achille nel mondo delle costruzioni, che sempre ha lamentato una frammentarietà delle informazioni, nonché una notevole dispersione dei dati nei vari passaggi del processo nelle sue diverse fasi.

Quindi, se prima la parte più complessa del processo era quella costruttiva, poiché era in essa che venivano fuori tutte le mancanze di un processo così organizzato, adesso invece, con il passaggio all'approccio *BIM based*, la fase più complessa, e certamente più laboriosa, diventerà quella progettuale, visto che la **simulazione** consentirà l'emergere dei problemi in tempo assai anticipato rispetto alla fase di cantiere. La simulazione, pertanto, diverrà il nuovo fulcro dell'attenzione per gli attori coinvolti nel processo e perché essa sia attendibile è necessario che tutte le scelte a monte siano state impostate con informazioni condivise e sempre aggiornate.

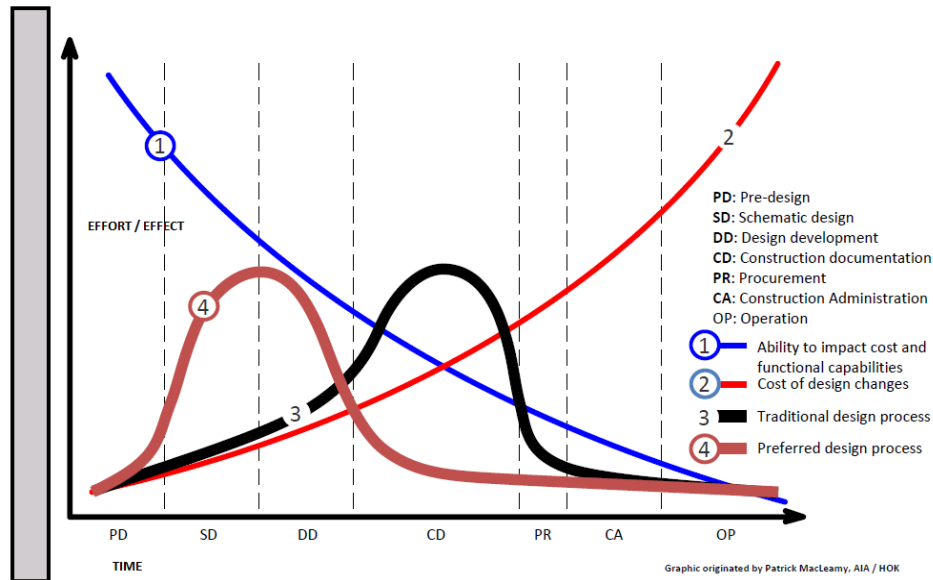


Fig. 15 – Curva di Patrick MacLeamy⁷⁵.

In una tale visione, le previsioni sono certamente di notevole risparmio di tempi e costi nella fase operativo-costruttiva, a vantaggio del loro aumento in fase progettuale, ma ripagata da un processo che, essendo *BIM based*, risulterà certamente più efficace e attendibile.

2.1.2 Interoperabilità e informazione condivisa

*Il settore delle costruzioni è da sempre stato un ampio palcoscenico con una moltitudine di attori coinvolti. Ciascuno “recita” il proprio ruolo secondo la propria professionalità e questo determina una delle principali esigenze dell’intero processo, spesso disattesa: la **condivisione** delle informazioni.*

⁷⁵ Questo grafico è stato presentato per la prima volta nel 2005 e mostra come il BIM determini lo spostamento del picco degli sforzi e delle risorse dalla fase costruttiva a quella progettuale.

*Così, Architetti, Ingegneri, Geometri, Periti, Imprese e Committenti (pubblici o privati) si ritrovano spesso a lavorare ciascuno con i propri strumenti, non sempre comunicanti con quelli degli altri attori coinvolti, sia per volontà propria che non; ecco allora che diventa fondamentale la **comunicazione** bilaterale tra architettura, ingegneria e costruzioni.*

È necessario che i dati possano essere letti, condivisi e scambiati, avendo a disposizione un apparato strumentale che lo consenta, in modo che ci possa essere una interazione tra professionista e professionista, ma anche tra applicazione e applicazione.

*Questo concetto definisce appieno la concezione di **interoperabilità**.*

Questo aspetto non può portare ad altro se non ad una maggiore valorizzazione dell'intero processo, poiché consente di non apportare ogni volta delle modifiche manuali a dei dati che sono già stati inseriti in precedenza, né tantomeno permette che si perdano informazioni già acquisite e "memorizzate" nel sistema.

Ecco perché attualmente il mondo dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni richiede sempre più che ci sia una svolta all'interno del processo, perché si avverte in modo molto forte l'esigenza di uno scambio automatico di modelli e dati su una (o più) piattaforma che sia accessibile da più softwares di partenza.

Per definire le condizioni di scambio delle informazioni, sono necessari dettagliati standard tecnici proprio perché i vari utenti utilizzano software differenti. Questo lavoro è stato realizzato negli Stati Uniti dall'IAI (International Alliance for Interoperability), fondato nel 2001 e rinominato "buildingSMART" nel 2007, un'associazione senza scopo di lucro con sedi in Europa, Nord America, Australia e Medio oriente⁷⁶.

⁷⁶ Online: <http://www.ithinkbim.net/bim-building-information-modeling-interoperabilita/>.

L'obiettivo è quello di definire, pubblicare e promuovere delle norme chiamate *Industry Foundation Classes* (IFC) come base per la condivisione globale delle informazioni di progetto per il settore delle costruzioni.

Le norme si suddividono in tre categorie in base al tipo di informazioni richieste:

1. *Informazioni sul modello MVD (Model View definition): definiscono un unico modello di dati relativo ad un edificio, condiviso da tutte le applicazioni conformi alle IFC.*
2. *Informazioni sui termini IFD (International Framework for Dictionary) Library: è una libreria di riferimento che ha l'obiettivo di consentire una migliore interoperabilità nell'industria delle costruzioni e fornire un metodo solido e flessibile per collegare le esistenti banche dati di informazioni di edifici ad un building information model basato sul buildingSMART.*
3. *Informazioni sui processi IDM (Information Delivery Manual): specifica quando sono richiesti certi tipi di informazioni durante la realizzazione di un progetto o il funzionamento di un edificio esistente, fornisce specifiche dettagliate delle informazioni che un certo utente deve fornire ad un certo punto del progetto e raggruppa le informazioni necessarie per attività collegate.*

Attualmente sono disponibili due approcci per lo scambio dei dati:

- *utilizzare applicazioni fornite da un unico produttore di software;*
- *utilizzare software di diversi produttori che possono scambiare dati attraverso il formato IFC (Industry Foundation Classes) ovvero elementi standardizzati forniti dal mondo produttivo.*

Il successo del Building Information Modelling (BIM) è massimo se tutte le parti coinvolte nel processo integrano il modello utilizzando lo stesso linguaggio, un protocollo condiviso ed oggetti intelligenti basati su standard di scambio ben

definiti. Deve migliorare quindi la qualità della comunicazione tra i vari soggetti coinvolti nel processo edilizio e perché ciò avvenga deve esistere una comprensione comune dei processi e delle informazioni richieste.

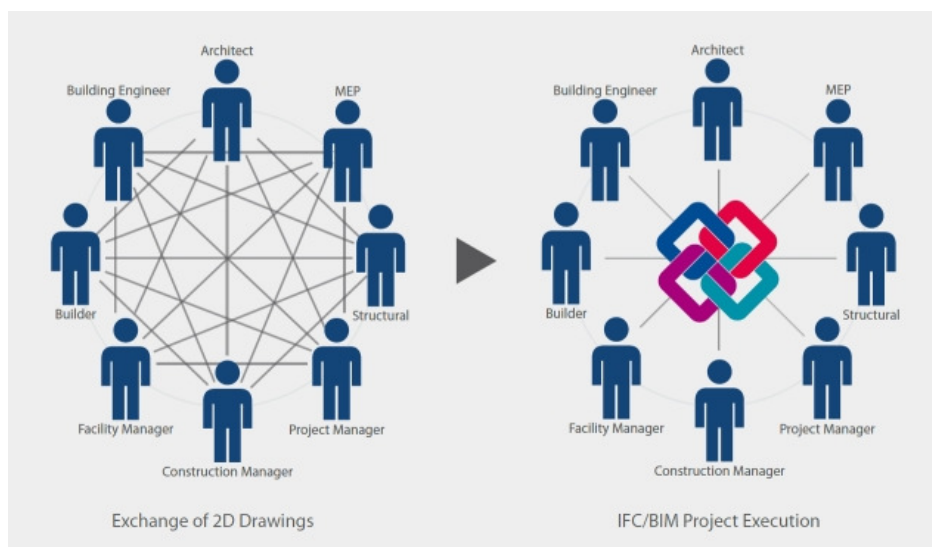


Fig. 16 – Lo scambio delle informazioni senza e con approccio BIM

2.1.3 Il *Model Checking* e la *BIM Validation*, per un controllo efficace del progetto

L'adesione alla filosofia del *Building Information Modelling* (BIM), in base a quanto detto, appare certamente un vantaggio se si guarda ad essa da un punto di vista del controllo sul progetto.

Infatti, il Building Information Modelling (BIM) consente di attivare facilmente delle operazioni di Model Checking, grazie allo sviluppo di una nuova generazione di softwares per il Quality Assurance e Quality Control (QA/QC), basati su regole parametriche (rule-based). Il Model Checking si configura così come punto nevralgico del processo di Information Modelling, ma anche del Management nelle fasi successive.

Infatti, in base a quanto detto finora, un approccio BIM based consente di interfacciarsi con un modello che non è solamente geometrico e tridimensionale, ma un vero e proprio database di informazioni relative alla programmazione, progettazione, realizzazione e gestione/manutenzione di un determinato prodotto.

Tali dati contenuti nel modello devono allora essere validati, in modo da garantire risultati attendibili nelle successive fasi del processo.

Il momento della validazione è anche utile in termini economico/contrattuali, poiché è in questa fase che si può (e deve) verificare che le informazioni contenute nel modello rispecchino le esigenze della committenza e che il modello sia quindi perfettamente corrispondente ai requisiti richiesti.

La digitalizzazione del settore delle costruzioni, infatti, presuppone che la committenza sia in grado di definire le condizioni e i contenuti degli interventi da commissionare e che la successiva validazione del modello parametrico progettato, rappresenti, di conseguenza, la soluzione progettuale coerente con i bisogni della committenza, in modo da ridurre al massimo il numero di modifiche progettuali necessarie durante la realizzazione dell'opera ed assicurare come prodotto finale un edificio funzionale e di qualità, aumentando contestualmente la trasparenza del processo.

In processi di progettazione tradizionale, solo il 5-10% del contenuto informativo del progetto viene sistematicamente controllato. Il Model Checking permette di raggiungere una validazione automatizzata per il 40-60% del progetto, operando attraverso controlli puntuali e specifici e non a campione.

Naturalmente, in base alla complessità del progetto, i punti critici da verificare, cosiddetti checkpoint, possono essere più o meno numerosi e solo la loro

valutazione consente di individuare in anticipo potenziali criticità e garantire un risultato finale (più) affidabile.

Così definito, il processo di controllo della qualità, Quality Assurance (QA), di un modello, e quindi di un progetto, risulta utile non solo alla committenza per verificare che il modello contenga tutti i dati da essa richiesti, ma anche per il progettista, il quale potrà certamente compiere in modo efficace una più oggettiva autovalutazione.

Durante la fase di Model Checking, il Building Information Model viene analizzato da differenti punti di vista. Il set di regole di controllo, cosiddetto rule-set, che viene applicato al modello è di solito organizzato in tre⁷⁷ fasi di verifica consequenziali:

1. BIM Validation, per il controllo di attributi e procedure di modellazione.

In questa fase, attraverso la definizione di un apposito set di regole parametriche e sulla base di analisi logiche e semantiche, si analizza il livello di qualità e coerenza interna di un Building Information Model. La validazione positiva del contenuto informativo del modello in questa fase garantirà l'estrazione di risultati affidabili nelle successive fasi di analisi. Questo processo di Quality Assurance assicura che il modello contenga tutte le informazioni necessarie per un controllo avanzato, inclusi tutti quegli attributi alfanumerici che, in un processo di Information Management correttamente strutturato, rientrano tra i BIM Requirement individuati in fase di redazione del BIM Execution Plan (BEP) e che sono fondamentali per lo scambio informativo tra le parti, nonché per la completezza ed affidabilità dei documenti estratti dal Building Information Model. Si tratta di un passaggio essenziale, preliminare ad altre fasi del Rule-based Model Checking, in quanto verifica che il modello sia costruito in accordo con i requisiti specifici di progettazione, in funzione dei BIM Use definiti dalla committenza e delle finalità da perseguire.

⁷⁷ Online: <http://www.agenziaentrate.gov.it/> - "La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based" di Angelo Luigi Camillo Ciribini, Silvia Mastrolemba Ventura, Marzia Bolpagni.

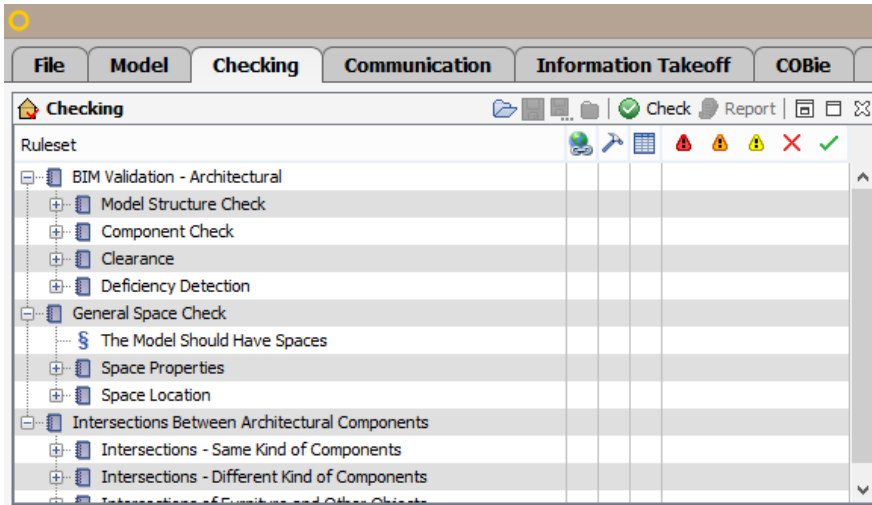


Fig. 17 – Esempio di finestra di dialogo per la *BIM validation* di un architettonico

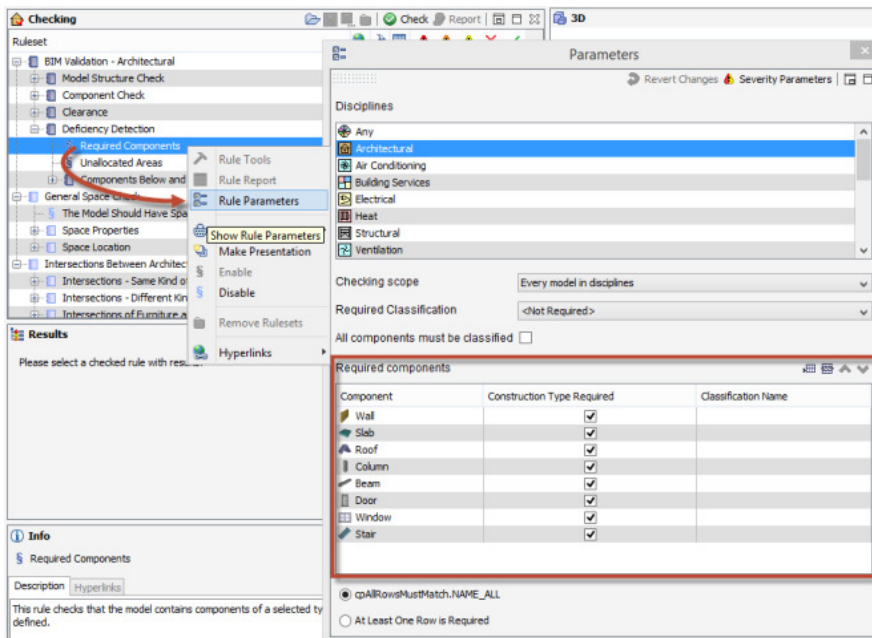


Fig. 18 – Definizione parametri per la *BIM validation* di un architettonico

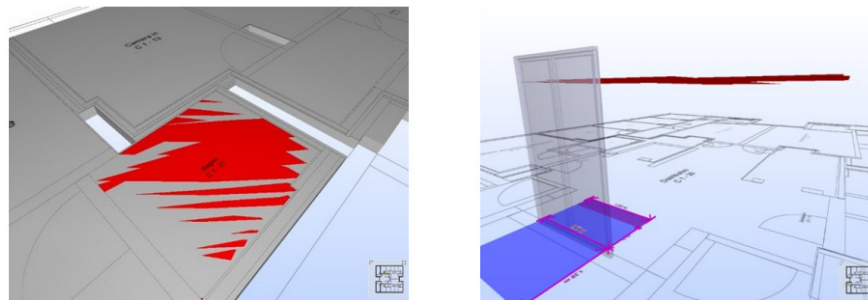


Fig. 19⁷⁸ – Visualizzazione di eventuali incongruenze e sovrapposizioni nel modello

2. **Clash Detection**, per il controllo delle interferenze⁷⁹.

Il controllo delle interferenze nasce come analisi di coerenza geometrica e spaziale ed è ad oggi uno degli usi più diffusi del Building Information Modelling, in quanto i vantaggi che si ottengono da questa analisi sono considerevoli, a fronte di investimenti ridotti in termini di tempo e sforzi per l'implementazione del processo.

Si parla di Advanced Clash Detection quando le capacità di analisi logica dello strumento di Model Checking sono in grado di distinguere e classificare diversamente le interferenze rilevate. Saranno, quindi, classificati a diversi gradi di severità, preliminarmente definiti nel BIM Execution Plan, interferenze tra impianti ed elementi strutturali piuttosto che tra impianti ed elementi architettonici, in quanto anche nella stessa fase progettuale le due casistiche richiederebbero di essere affrontate necessariamente con un'attenzione diversa⁸⁰. In questo caso, affinché i risultati ottenuti tramite un rule-set di Clash Detection siano affidabili e ad effettivo supporto del processo decisionale, è necessario, dapprima, procedere a una serie di controlli manuali ed, inoltre,

⁷⁸ Online: <http://www.agenziaentrate.gov.it/> - "La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based" di Angelo Luigi Camillo Ciribini, Silvia Mastrolemba Ventura, Marzia Bolpagni.

⁷⁹ Online: <http://www.agenziaentrate.gov.it/> - "La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based" di Angelo Luigi Camillo Ciribini, Silvia Mastrolemba Ventura, Marzia Bolpagni.

⁸⁰ Ciribini et al., ISARC 2015.

definire chiaramente i BIM requirement relativi alla modellazione geometrica. Il controllo interferenze, infatti, prevede una prima parte di gestione manuale del processo di verifica relativo al controllo delle versioni progettuali dei modelli informativi e della loro localizzazione in un corretto sistema di coordinate cartesiane. Prosegue poi con la validazione dei singoli modelli disciplinari e del Merged Model. Per individuare eventuali incoerenze, per esempio tra la progettazione impiantistica e quella strutturale, è indispensabile modellare i sistemi impiantistici con un alto grado di accuratezza geometrica. Solo in questo modo, sarà possibile individuare e correggere eventuali problematiche che altrimenti sorgerebbero nella fase di installazione degli impianti. Le BIM guidelines finlandesi⁸¹, uno dei paesi leader nell'implementazione dell'Information Modelling, sottolineano come l'accuratezza geometrica delle reti impiantistiche debba essere tale che l'installazione dei componenti Mechanical, Electrical e Plumbing (MEP) all'interno dell'edificio possa essere condotta sulla base del Building Information Model.

L'obiettivo della modellazione geometrica, in questo caso, deve essere la creazione di un modello senza intersezioni.

Il progettista dovrebbe provvedere a rilevare eventuali interferenze per la parte di propria competenza nella stessa piattaforma di BIM Authoring: al giorno d'oggi, la maggior parte dei software di modellazione parametrica dispone di applicativi di questo tipo o plug-in per un controllo preliminare delle interferenze o una parziale BIM Validation relativa ad aspetti geometrici.

⁸¹ COBIM 2012.

Clash Detection			
Requisiti minimi			
Tutti i modelli richiesti sono disponibili			
Rappresentazione BIM dei progetti (Arch, Struct, MEP) nella stessa versione progettuale			
I modelli sono localizzati nel corretto sistema di coordinate cartesiane			
+	Intersezioni tra componenti architettonici	⚠	✓
+	Intersezioni tra componenti strutturali		OK
+	Intersezioni in modelli MEP	⚠ ⚠ ⚠	✗
Clash detection - Merged BIM (il modello completo)			
+	Modello strutturale vs Modello architettonico	⚠ ⚠ ⚠	✗
+	Modello MEP vs Modello architettonico		
+	Modello MEP vs Modello strutturale	⚠ ⚠	✗

Fig. 20⁸² – Visualizzazione di una maschera di controllo per il *clash detection*

Per la successiva fase di coordinazione multidisciplinare esistono BIM Viewer e BIM Coordination tool, come Tekla BIMsight, Solibri Model Viewer, Autodesk Navisworks o Autodesk BIM 360 Glue, alcuni dei quali funzionano anche su dispositivi mobili. Al fine di effettuare controlli più avanzati sulla base di rule-set personalizzabili, invece, è necessario usare BIM tool dedicati come Solibri Model Checker, leader in questo settore, che promuove un approccio Open BIM attraverso l'uso del formato interoperabile IFC.

Va detto che le clash e le criticità rilevabili non sono riconducibili esclusivamente ad interferenze fisiche, ma attraverso uno strumento di Rule-based Model Checking è possibile verificare anche la vicinanza tra oggetti e determinare la tolleranza minima, ad esempio, per l'installazione o manutenzione dei diversi componenti presenti nell'edificio. Il controllo iterativo delle interferenze è anche un processo ad effettivo supporto della fase costruttiva di un manufatto, in quanto permette di verificarne la costruibilità sulla base della documentazione progettuale proposta.

⁸² Online: <http://www.agenziaentrate.gov.it/> - "La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based" di Angelo Luigi Camillo Ciribini, Silvia Mastrolemba Ventura, Marzia Bolpagni.



Fig. 21⁸³ – Esempio di *clash detection*

3. **Code Checking**, per la verifica di conformità del progetto alle normative di riferimento⁸⁴.

Attraverso un sistema di controllo rule-based, l'utente è in grado di eseguire un check i cui risultati consistono in "approvato" ("pass"), "bocciato" ("fail"), "attenzione" ("warning") e "sconosciuto" ("unknown"), nel caso in cui i dati necessari al controllo fossero incompleti o mancanti.

Con i metodi di progettazione tradizionali, la verifica di conformità alle norme, basata sulla rappresentazione grafica bidimensionale, è condotta manualmente, a campione, e richiede numerosi incontri e momenti di confronto. Inoltre, una specifica fase del processo di progettazione non è valutata fino a che tutti gli elaborati progettuali non sono stati completati. Questo approccio spesso comporta discrepanze, ambiguità e soggettività nell'interpretazione dei documenti, oltre ad un aumento di costi e tempi. Per queste ragioni, la possibilità di semi-automatizzare il processo di verifica dovrebbe essere uno degli obiettivi prioritari nel processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni.

Tuttavia, innovazioni di questo tipo sono possibili solo modificando il metodo di lavoro, passando dalla definizione di un progetto come somma di molteplici

⁸³ Online: <http://www.agenziaentrate.gov.it/> - "La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based" di Angelo Luigi Camillo Ciribini, Silvia Mastrolemba Ventura, Marzia Bolpagni.

⁸⁴ Id.

documenti, alla realizzazione di un singolo e coerente Building Information Model a supporto del processo decisionale lungo tutto il ciclo di vita di un'opera e dal quale estrarre la documentazione e le informazioni necessarie.

Diverse ricerche a livello internazionale si sono focalizzate da una parte sul trasferimento delle prescrizioni contenute nei testi normativi in regole applicabili a strumenti di rule-based Model Checking e dall'altra sullo sviluppo di un modello parametrico completo degli attributi alfanumerici necessari per valutarne la conformità alle norme. Grazie alla creazione di rule-set il processo di validazione risulta essere più oggettivo, in quanto le richieste sono definite in modo univoco.

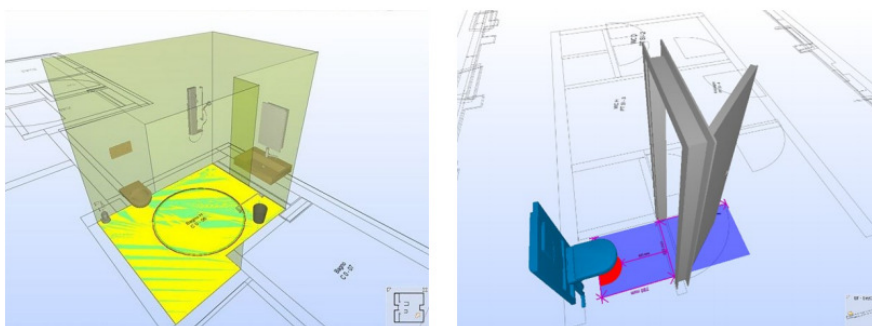


Fig. 22⁸⁵ – Esempio di code checking

In questo modo si riduce il margine di interpretazione soggettiva del testo normativo, spesso generico e privo di una serie di dettagli. Inoltre, uno stesso set di regole, una volta analizzato e parametrizzato un codice o un regolamento, può essere utilizzato per la verifica di Building Information Model rappresentanti lo stesso ambito progettuale. Questo è ancora più evidente se si pensa a casi come l'edilizia scolastica, l'edilizia ospedaliera o le strutture ricettive, esempi per i quali la standardizzazione di verifiche funzionali, relazionali e qualitative permetterebbe la comparazione tra diversi modelli, e quindi progetti, in modo più veloce e trasparente⁸⁶.

⁸⁵ Online: <http://www.agenziaentrate.gov.it/> - "La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based" di Angelo Luigi Camillo Ciribini, Silvia Mastrolemba Ventura, Marzia Bolpagni.

⁸⁶ Online: <http://www.agenziaentrate.gov.it/> - "La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based" di Angelo Luigi Camillo Ciribini, Silvia Mastrolemba Ventura, Marzia Bolpagni.

2.2 BIM e retrofitting: digitalizzazione e gestione del patrimonio esistente

2.2.1 La riqualificazione del patrimonio edilizio esistente⁸⁷

Come abbiamo visto nel capitolo 1, le fondamenta su cui poggia l'evoluzione degli appalti verdi sono sicuramente rappresentate dall'attenzione mondiale, sempre più crescente, nei confronti dei due grandi temi di ambiente ed energia che, nell'ottica di salvaguardia del Pianeta, si configura come tra le principali protagoniste delle politiche attuali, nazionali ed internazionali.

Tra le azioni messe a punto per migliorare la situazione energetica europea, il riferimento principale è l'iniziativa "20-20-20", definita nel Consiglio del 2007, che prevede da parte dell'UE il raggiungimento dei seguenti obiettivi entro il 2020:

- ridurre i gas ad effetto serra del 20%;
- ridurre i consumi energetici del 20% attraverso un aumento dell'efficienza energetica;
- soddisfare il 20% del fabbisogno energetico mediante l'utilizzo delle energie rinnovabili.

È in questo contesto che si inserisce la "questione" della riqualificazione energetica del patrimonio pubblico esistente.

Infatti, l'attuale crisi del settore delle costruzioni non mostra segni di cedimento e sembra non voler finire, tanto che pare siamo tornati ai livelli produttivi di 40 anni fa! Nel 2012 gli investimenti nelle costruzioni, secondo ANCE, hanno registrato una flessione del 7,6% in termini reali e a fine 2013 il settore delle costruzioni ha perso, in sei anni, circa il 30% degli investimenti.

⁸⁷ "Building Process Management in Green Public Procurement", B. Orgiano, E. Quaquero, M. Basciu, ISARC 2015.

Solo il comparto della riqualificazione degli immobili residenziali mostra una tenuta dei livelli produttivi del + 12,6%. Si vede infatti dal grafico sotto come la manutenzione straordinaria sia l'unico segmento in crescita nel contesto nazionale al giorno d'oggi.

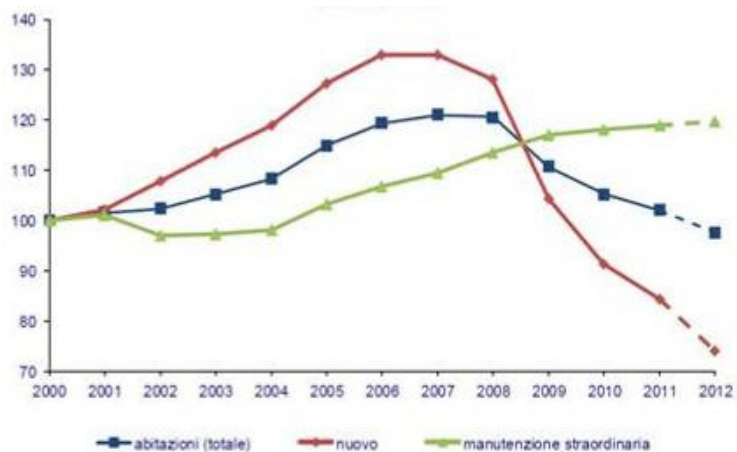


Fig. 23 – Investimento settore delle costruzioni⁸⁸

Se si considera che il parco edilizio nazionale è costituito da edifici per il 78% costruiti precedentemente la prima legge sull'efficienza energetica in edilizia⁸⁹ e si arriva all'89% se si considera la più recente Legge 10/1991, si può comprendere quale sia la situazione attuale dell'efficienza energetica degli immobili in Italia.

Riqualificare anche solo una minima parte dei 10 milioni di edifici costruiti prima del 1991 sarebbe già un grosso successo: per l'ambiente, per la qualità della vita,

⁸⁸ Fonte: ANCE.

⁸⁹ Legge 373 del 1977.

per la sicurezza e non ultimo per l'economia sia del singolo utente che del paese che potrebbe svincolarsi più facilmente dai Paesi fornitori di energia⁹⁰.

Su questi aspetti, anche la Direttiva 2012/27/UE mette in evidenza alcuni concetti fondamentali, dai quali si capisce benissimo come questo non sia un problema solo per il nostro Paese, ma generale per tutti gli Stati:

- Gli immobili rappresentano il 40% del consumo finale di energia dell'Unione, quindi gli Stati membri dovrebbero mettere a punto una strategia a lungo termine al di là del 2020 per mobilitare gli investimenti nella ristrutturazione di edifici residenziali e commerciali al fine di migliorare la prestazione energetica del parco immobiliare.

- Gli edifici di proprietà degli enti pubblici rappresentano una quota considerevole del parco immobiliare e godono di notevole visibilità nella vita pubblica. È pertanto opportuno fissare un tasso annuo di ristrutturazione per gli edifici di proprietà del governo centrale nel territorio di uno Stato membro in modo da migliorarne la prestazione energetica. Inoltre, la diminuzione del consumo di energia grazie a misure che permettono di migliorare l'efficienza energetica può liberare risorse pubbliche da destinare ad altri fini.

Di conseguenza sono posti i seguenti obiettivi:

- Avviare una rassegna del parco immobiliare pubblico localizzato nel territorio regionale.
- Individuare approcci alle ristrutturazioni efficaci in termini di costi, pertinenti al tipo di edificio e alla zona climatica.
- Avviare politiche e misure volte a stimolare ristrutturazioni degli edifici profonde ed efficaci in termini di costi-benefici.
- Stimare il risparmio energetico atteso e i benefici derivanti.

⁹⁰ Online: <http://www.infobuildenergia.it/>. Ing. Valeria Erba, Presidente ANIT.

Dal 1 gennaio 2014 ristrutturare ogni anno il 3% della superficie coperta utile totale degli edifici riscaldati e/o raffreddati di proprietà regionale, al fine di rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica

Per quanto riguarda le prestazioni degli edifici, la Direttiva 2010/31/UE, nell'ottica di evitare l'imposizione di requisiti onerosi e promuovere in maniera efficace la diffusione dell'efficienza energetica, sarà necessario definire requisiti minimi di rendimento energetico per tutti gli edifici in modo tale che raggiungano perlomeno un "livello ottimale in funzione dei costi" intendendo il livello di prestazione energetica che comporta il costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato per un edificio ma anche per un singolo componente edilizio.

Il costo più basso è determinato tenendo conto dei costi di investimento legati all'energia, dei costi di manutenzione e degli eventuali costi di smaltimento.

2.2.2 La simulazione come base per la programmazione degli interventi

In base a quanto detto, come primo passo, sarebbe auspicabile per la Pubblica Amministrazione la creazione di una anagrafica del proprio patrimonio, che consenta di avere una visione d'insieme delle strutture su cui intervenire, stabilendo eventualmente le priorità e indirizzando quindi i fondi di investimento in maniera più razionale e motivata.

Ecco allora che la risposta giusta potrebbe essere proprio la simulazione tanto incoraggiata nelle ultime Direttive UE, ed in particolare nella 2014/24CE.

Infatti, come già esposto nel Capitolo 1, il 28 marzo 2014 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale della Comunità economica Europea la Direttiva 2014/24/CE sugli Appalti Pubblici, che ha abrogato la precedente 2004/18/CE.

Questa nuova Direttiva vuole rappresentare "una strategia per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva" alla spesa pubblica. Per cui, la Comunità Europea chiede agli stati membri di legiferare affinché le nuove procedure che

regolano la spesa pubblica favoriscano un aumento di efficienza, anche tramite un uso maggiore di procedure elettroniche, una spesa per soluzioni che considerano gli aspetti ambientali, sociali ed economici di lungo periodo nonché un occhio di riguardo alla difesa delle piccole e media Imprese (PMI).

In particolare l'articolo 22, comma 4, di questa Direttiva enuncia che:

“For public works contracts and design contests, Member States may require the use of specific electronic tools, such as of BUILDING INFORMATION electronic MODELLING tools or similar”.

Quindi, traducendo:

“Per gli appalti pubblici di lavori e di concorsi di progettazione, gli Stati membri possono richiedere l'uso di strumenti elettronici specifici, quali gli strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o strumenti analoghi”.

Ecco allora che si potrebbe accogliere l'invito della nuova Direttiva per utilizzare lo strumento della **simulazione** non solo per i progetti a venire, ma, visto quanto prima esposto circa l'esigenza oggi impellente di manutenzione dell'esistente, fare ricorso a modelli virtuali anche e soprattutto per la **gestione del costruito**.

È indubbio che questo comporterebbe uno sforzo non da poco per le Stazioni Appaltanti e quindi anche per la Pubblica Amministrazione in qualità di proprietaria di una vastissima quantità di immobili da riqualificare; ma è altrettanto vero che i benefici di una simile operazione sarebbero certi e, quel che più appare importante, a lungo termine.

Da un lato, si dovrebbero alfabetizzare ai nuovi strumenti gli impiegati della Pubblica Amministrazione addetti al controllo degli interventi sugli immobili e, dall'altro, anche tutti gli altri operatori coinvolti dovrebbero allinearsi su questi temi e competenze, in modo da parlare la stessa (nuova) lingua, ma i benefici di un simile impegno sarebbero indubbi.

Basti pensare al fatto che, spesso e volentieri, dopo qualche anno dal fine lavori, il reperimento del materiale di progetto relativo a un dato immobile risulta spesso difficoltoso, se non impossibile da completare, poiché i progetti si “perdono” nei

meandri di archivi impolverati e sotterranei. Questo determina, in caso di nuovi eventuali interventi in quell'immobile, una serie di tentativi "alla cieca" di indagini in situ, perché magari non si ha più traccia di dove passi questo o quell'impianto su cui si deve intervenire.

Questo è solo un esempio di quello che accade ogni giorno nella realtà del nostro Paese ed è per questo che la simulazione potrebbe contribuire al rovescio della medaglia. Infatti, con un'anagrafe degli immobili ben strutturata e condivisa, in qualunque momento sarebbero disponibili i dati e le informazioni relative a questo o quell'immobile, come se fosse stato appena costruito, tanto sarebbe l'aggiornamento sempre attuale del modello virtuale.

Non solo, ma anche in caso di programmazione dei futuri interventi, si potrebbero raffrontare immediatamente più immobili in modo da avere una visione chiara e più sicura delle priorità di intervento e dei costi cui si andrebbe incontro. Infatti, estrapolando dal modello i dati numerici di quantità e materiali, si avrebbe modo di redigere in breve tempo un computo delle lavorazioni con una stima precisa dei costi e dei tempi.

2.2.3 BIM SURVEYING: dal rilievo alla modellazione integrata⁹¹

Per BIM Surveying si intende l'integrazione tra rilievi tridimensionali laser-scanner e modellazione BIM ai fini della progettazione integrata di interventi sul costruito.

I sistemi di acquisizione tridimensionali sono già consueti in campo industriale già dalla fine degli anni Ottanta del secolo scorso, ma la loro applicazione nei settori delle costruzioni, dell'architettura e dell'ingegneria risale a meno di quindici anni fa quando furono messi in commercio strumenti più maneggevoli e relativamente economici.

⁹¹ Estratto da "Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico", S. D'Auria, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

Da allora la crescita del settore è stata rapida e profonda.

Volendo intervenire, ad esempio, su un impianto industriale, la fase di rilievo tradizionale è influenzata dalle numerose variabili in gioco, quali il posizionamento delle macchine, l'elevato numero e le diverse dimensioni delle tubazioni, la curvatura delle condotte, le sovrapposizioni, le interferenze, ecc. Ciò si ripercuote, naturalmente, sulla fase di progettazione che, quindi, non sarà esente da errori o da imprecisioni.

Per tale motivo, già da anni, il rilievo tridimensionale in questi ambiti è diventato prassi prima di ogni altra fase di intervento, in quanto la restituzione grafica del modello tridimensionale garantisce in ogni momento il perfetto controllo della realtà.

Diversamente, invece, avviene nel campo edilizio in cui, per il rilievo dei manufatti, gli strumenti tradizionali restituiscono dati che possiedono una precisione ancora accettabile per il settore e perciò, ancora oggi, il rilievo tradizionale diretto per il costruito, in molti ambiti applicativi, prevale su quello indiretto con laser-scanner.

Negli ultimi anni, questa tendenza è andata ampliandosi quando ci si è resi conto che, soprattutto in presenza di fabbriche antiche – non caratterizzate, quindi, da geometrie immediatamente discretizzabili o difficili da rilevare con accuratezza (si pensi agli edifici a rudere) – l'impiego di tecnologie laser risulta sempre più vantaggioso.

Considerando, poi, che la metodologia BIM determina numerosi vantaggi per la progettazione e, in generale, per l'intero ciclo di vita di un nuovo edificio, si è pensato di studiare una possibile integrazione delle due discipline per un ulteriore avanzamento tecnologico e di processo.



Fig. 24 – Esempio di utilizzo del laser-scanner per il rilievo dell'esistente⁹²

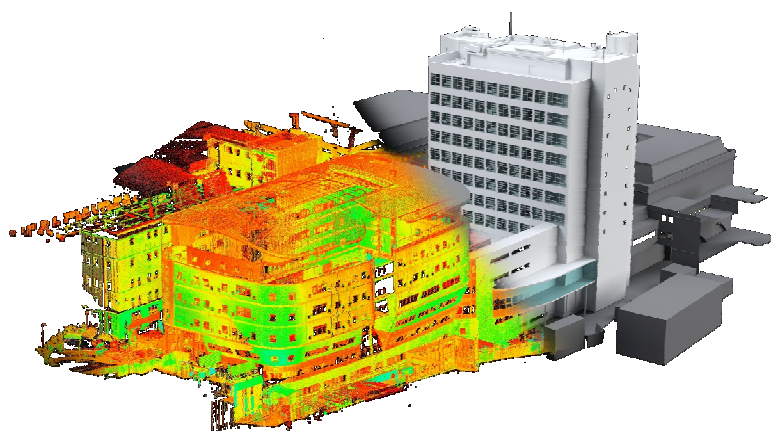


Fig. 25 – Il West Sussex Hospital dal 3D Laser Scan al modello BIM⁹³

⁹² Online: www.archicultura.it

⁹³ Online: <http://severnpartnership.blogspot.it/2012/01/reminder-scan2bim-presenting-at-wmcee.html>

Ad oggi, però, non sono ancora del tutto chiari e scientificamente condivisi i benefici, in termini economici e qualitativi, dell'impiego del BIM Surveying per il patrimonio storico ma molto si è già fatto per la sua applicazione in ambito industriale ed infrastrutturale.

2.2.4 IL LASER SCANNING: RILIEVO 3D E RESTITUZIONE⁹⁴

Il laser scanning è uno dei metodi più rapidi, precisi e innovativi per il rilievo indiretto, e negli ultimi anni sta conquistando sempre maggiori utenti di ogni settore produttivo. Infatti, come si evince nella sottostante figura 23, nell'arco dell'ultimo cinquantennio l'apprezzamento dei clienti e la qualità dei dati prodotti sono cresciuti in modo esponenziale in concomitanza all'abbattimento dei costi e della durata delle operazioni di scansione.

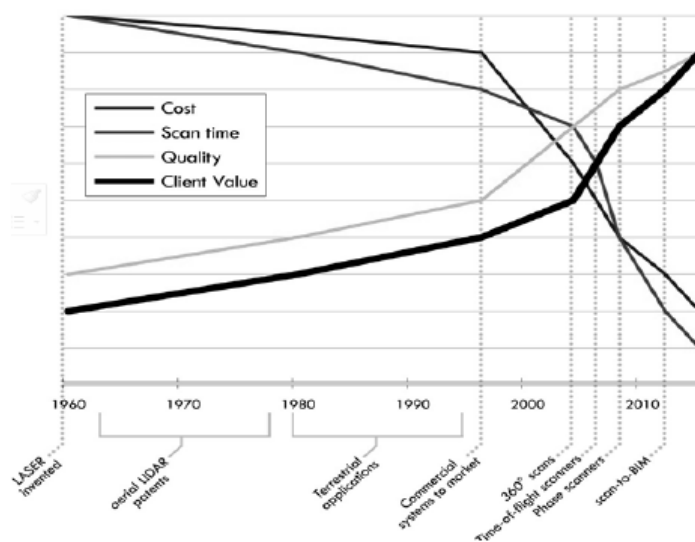


Fig. 26 – Sviluppo della Tecnologia laser-scanner

⁹⁴ Estratto da "Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico", S. D'Auria, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

La tecnologia utilizzata dagli attuali laser-scanner, operando in modo quasi automatico, consente di acquisire digitalmente oggetti tridimensionali di varie dimensioni sotto forma di “nuvole di punti”. L’acquisizione automatizzata annulla la preventiva operazione di discretizzazione, propria del rilevamento diretto o con stazione totale, che impone una conoscenza a priori degli elementi da rilevare.

Riducendo la distanza tra i punti acquisiti a valori molto piccoli (nell’ordine del centimetro o del millimetro) è possibile rilevare interi oggetti nella loro forma complessiva, senza bisogno di ridurle a linee individuate da predeterminati piani di sezione orizzontale e verticale.

I sistemi di acquisizione 3D attivi sono articolati e differenziati in funzione del principio di funzionamento.

In particolare, all’interno della famiglia dei laser-scanner utilizzati per il rilievo dell’architettura e del territorio, vi è la distinzione tra gli scanner a differenza di fase (Range Image Laser) e quelli a tempo di volo (Time Of Flight).

*Queste due tecnologie di strumentazione si differenziano per il principio di acquisizione, per la precisione ottenibile, per la portata e per la velocità di acquisizione. I **laser-scanner a tempo di volo** garantiscono una precisione fino ai 5 millimetri e una portata massima che varia tra gli 800 e i 1000 metri.*

*I **laser-scanner a differenza di fase**, invece, raggiungono una precisione maggiore (fino ai 2 millimetri), ma hanno una portata più limitata che raggiunge al massimo i 300 metri.*

I TOF sono caratterizzati da un principio di acquisizione che consente di calcolare le coordinate dei punti dell’oggetto rilevato misurando il tempo che il raggio laser emesso impiega per ritornare alla fonte dopo aver colpito l’oggetto.

Il funzionamento dei RIL si basa, invece, sull’emissione di una radiazione ottica caratterizzata da una certa lunghezza d’onda: lo strumento interpreta la differenza di fase tra l’onda emessa e quella ricevuta per acquisire la posizione dei punti.

Il rilievo indiretto con laser-scanner comporta un impegno notevole nella fase di post-processamento dei dati acquisiti dallo strumento (Fig. 24), rispetto, invece, al rilievo diretto di tipo tradizionale che richiede tempi considerevoli durante le misurazioni in situ. Inoltre, fornisce dati geometrici e, all'occorrenza, colorimetrici molto rigorosi del manufatto oggetto di analisi.

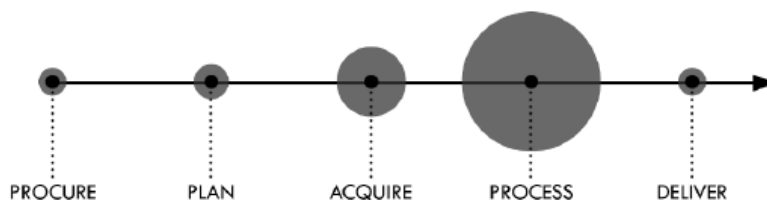


Fig. 27 – Livelli di impegno nel processo di rilievo con laser-scanner

Le informazioni associate ad ogni punto rilevato con laser-scanner sono di tipo metrico e ne determinano la posizione nello spazio con margine di errore inferiore al centimetro; oltre alla posizione del punto, la maggior parte dei laser-scanner acquisisce un altro dato, denominato riflettanza che indica la quantità di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere e che può determinare anche il colore con il quale il punto acquisito è rappresentato.

*Il prodotto finale delle scansioni, come detto, è una **nuvola di punti** che ricostruisce la forma complessiva dell'oggetto attraverso la visualizzazione delle sue superfici acquisite. In particolare, nella scelta dell'impostazione di scansione, il primo parametro da considerare è l'inquadratura del campo visivo che deve essere relazionata alla distanza tra lo strumento e l'oggetto da rilevare, all'angolo della scansione, alla velocità di emissione del raggio laser, nonché alle caratteristiche morfologiche della superficie da scansionare.*



Fig. 28 – Esempio di nuvola di punti tridimensionale –
Rilievo della Chiesa di San Giovanni Decollato - Manerba Del Garda (BS) –
Studio R.T.C., Cremona⁹⁵

Nel caso di un rilevamento con laser-scanner, occorre un accurato progetto preliminare delle fasi di rilievo, al fine di verificare le caratteristiche geometrico-dimensionali del manufatto e l'accessibilità ai luoghi.

Immaginando di paragonare lo scanner ad una sorgente luminosa, si devono prevedere sufficienti punti di acquisizione, in modo da coprire tutti i coni d'ombra che superfici sporgenti, sottosquadri, rientranze e impedimenti vari inevitabilmente proiettano. Nel calcolo preventivo della densità finale dei punti acquisiti, inoltre, bisogna considerare che la sovrapposizione di più scansioni aumenta la densità dei punti della nuvola e tale sovrapposizione deve essere pari a circa un terzo della superficie acquisita, al fine di garantire un sufficiente margine di registrazione finale.

⁹⁵ Online: <http://www.rtc-cremona.it/portfolio-esperienze/laser-scanner/san-giovanni-dec-manerba-del-g-bs/>

L'acquisizione dei dati sul campo con il laser-scanner viene effettuata molto rapidamente rispetto, ad esempio, ad un rilievo diretto tradizionale che fa uso di strumenti come il doppio metro, la rollina e il filo a piombo; viceversa, richiede tempi ben più lunghi ed un procedimento accurato la successiva fase di elaborazione dei dati al computer, il cosiddetto post-processamento, per il quale vengono impiegati software di reverse engineering dedicati alla gestione delle nuvole di punti.

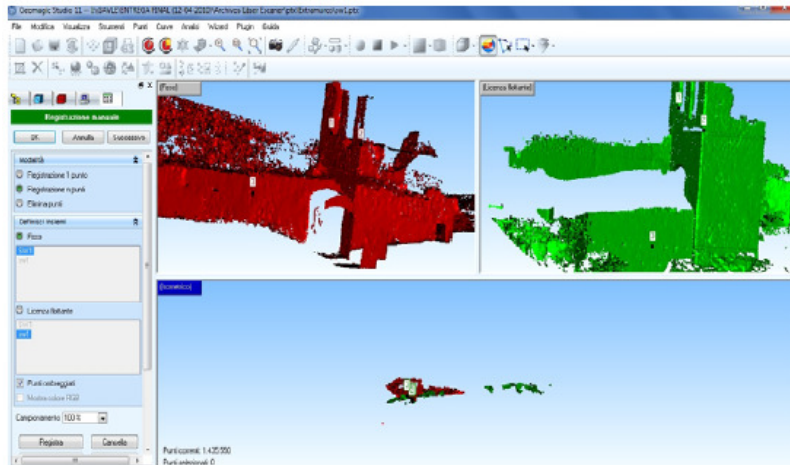


Fig. 29 – Registrazione manuale di due scansioni con software di reverse engineering⁹⁶

Questi programmi, oltre a consentire di disegnare ed elaborare figure vettoriali (punti, linee, superfici) all'interno di un sistema di coordinate spaziali, permettono innanzitutto di ricomporre le varie nuvole di punti che sono il prodotto delle varie scansioni dello stesso manufatto effettuate da differenti punti di vista, mediante la procedura di allineamento o

⁹⁶ Estratto da "Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico", S. D'Auria, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

registrazione. Tale fase può essere condotta manualmente, individuando almeno tre coppie di punti omologhi su due scansioni successive del manufatto (appunto nella regione di sovrapposizione di cui si è parlato) oppure, mediante l'impiego di target durante la fase di rilievo, è possibile alleggerire il lavoro facendo gestire al software (in maniera comunque controllata e non senza interventi da parte dell'operatore) la fase di allineamento. Prima di procedere alla registrazione, occorre però effettuare operazioni di pulizia del rumore e di decimazione delle nuvole di punti al fine di eliminare quei punti fuori posto o in eccesso. Per ottenere modelli tridimensionali ancora più rispondenti agli oggetti reali è possibile, inoltre, integrare il rilievo tridimensionale con le tecniche di fotogrammetria digitale.

La maggior parte degli apparecchi laser in commercio sono dotati di una camera interna che acquisisce immagini fotografiche. Gli stessi software di reverse engineering consentono di allineare le coordinate dei pixel delle fotografie con quelle dei punti rilevati, "spalmando" quindi la fotografia sul modello 3D.

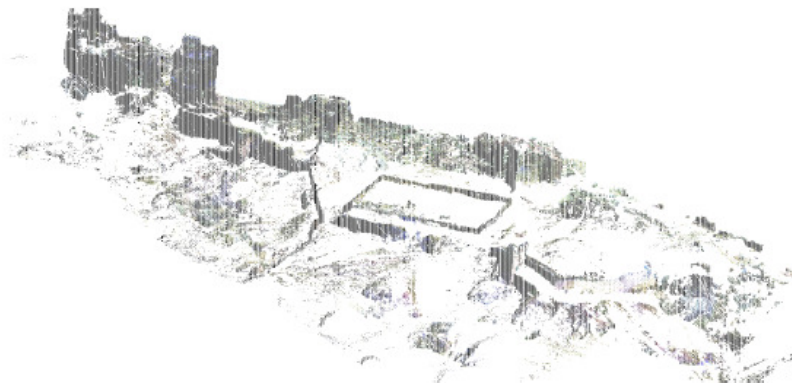


Fig. 30 – Il modello completo a nuvola di punti di un castello⁹⁷

⁹⁷ Estratto da "Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico", S. D'Auria, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

In alternativa, si possono produrre immagini fotografiche digitali utilizzando camere non integrate al laser-scanner.

In questo caso, la procedura di allineamento dei fotogrammi al modello 3D a nube di punti risulta più laboriosa, ma si possono ottenere immagini con maggior risoluzione. Il modello tridimensionale prodotto dell'oggetto rilevato servirà come strumento di lettura e di analisi di tutti gli aspetti acquisiti e indagati: volumetrici, materici, strutturali, di distribuzione degli spazi interni, cronologici.

È da considerare anche come un indispensabile strumento per la progettazione di interventi di manutenzione, di recupero, di restauro, di rifunzionalizzazione grazie al fatto di poter interrogare in qualsiasi momento il modello, potendo ricavare molto velocemente e riducendo gli errori degli elaborati grafici tradizionali (piante, sezioni e prospetti), le misure di distanze, angoli e volumi, i materiali presenti (grazie alla colorazione della nuvola di punti per mezzo della fotogrammetria), ecc.



Fig. 31 – Nuvola di punti texturizzata⁹⁸

⁹⁸ Rilievo Chiesa “ex Ospedale”, Casalmaggiore (CR), Studio R.T.C., Cremona

2.2.4.1 MODELLAZIONE E PROGETTAZIONE *BIM* PER IL COSTRUITO⁹⁹

L'applicazione della tecnologia di scansione laser è molto nota nell'industria geospaziale, automobilistica, meccanica, siderurgica e, in generale, in tutti i campi in cui si necessita di grande precisione.

I numerosi progressi della tecnologia (hardware e software) legati sia al laser-scanning che al Building Information Modeling stanno contribuendo ad inaugurare un nuovo scenario di approccio progettuale e processuale per il settore edilizio. Il BIM Surveying diventerà a breve un valore aggiunto per il workflow legato agli interventi sul patrimonio edilizio esistente, soprattutto se si tratta di opere di una certa complessità e di elevata rilevanza architettonica, storica e culturale.

La conversione delle nuvole di punti provenienti da scansioni tridimensionali in modelli BIM si attua attraverso un processo costituito prevalentemente da tre fasi, come in Figura 29.

In primo luogo, si effettua l'operazione di rilievo con strumentazione laser-scanner; in secondo luogo, nella cosiddetta fase di post-processamento dei dati, si registrano le singole scansioni per realizzare il modello tridimensionale a nuvola di punti completo del manufatto; infine, si modella l'oggetto in ambiente BIM (connotandolo, come visto, di tutte le specifiche tecniche necessarie alle successive fasi di progettazione degli interventi) avendo come "guida" la nuvola di punti del fabbricato stesso.

⁹⁹ Estratto da "Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico", S. D'Auria, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

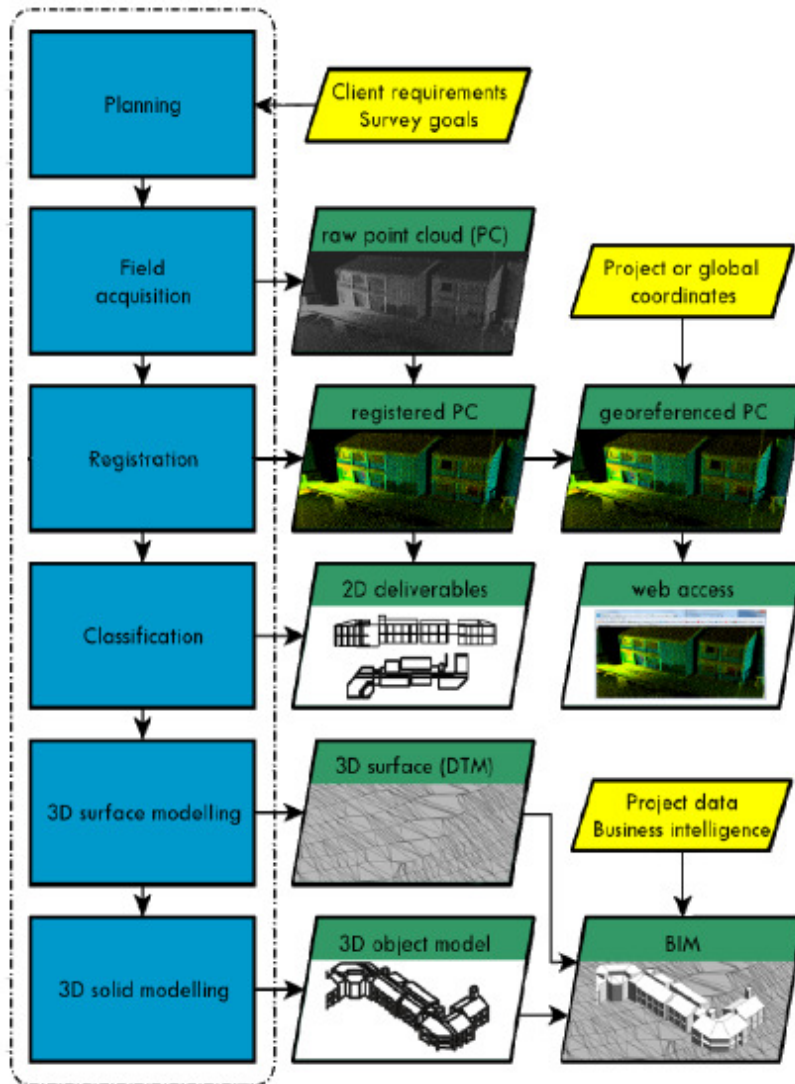


Fig. 32 – BIM surveying workflow¹⁰⁰

¹⁰⁰ Estratto da “Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico”, S. D’Auria, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

Ad una prima analisi del processo sopra descritto, sembrerebbe troppo macchinoso ed economicamente poco conveniente adottare una simile innovazione al processo progettuale sul costruito (sia esso architettonico, infrastrutturale, industriale, ecc.) se si pensa che nella pratica corrente tradizionale il rilievo è condotto in maniera diretta, la restituzione viene effettuata prevalentemente al CAD e la progettazione si basa su elaborati grafici bidimensionali e su relazioni e report cartacei, il tutto ormai sedimentato e “rodato” da tempo.

Il BIM Surveying, invece, ha come obiettivo principale quello di fornire al team di progettisti non solo una serie di elaborati grafici bidimensionali (e tridimensionali) di un edificio su cui intervenire, bensì il suo corrispondente modello BIM (portatore di tutti i benefici descritti nei capitoli precedenti) dimensionalmente corretto grazie al rilievo con laser-scanner.

Il modello 3D può essere utilizzato come validatore delle scelte progettuali architettoniche, la quarta dimensione sfruttata per estrapolare informazioni relative al tempo di realizzazione degli interventi, la quinta dimensione dà indicazioni sui costi e l'ultima, ma non meno importante, dimensione (la sesta) indispensabile per il facility management.

È chiaro, dunque, che i tradizionali elaborati CAD non possono fornire così tante informazioni e la gestione tradizionale del ciclo di vita di un manufatto (sia esso un edificio commerciale o residenziale, una fabbrica storica o un impianto industriale) è oltremodo complessa, poiché essenzialmente basata su documenti cartacei.

A tali scopi, sia le più note software house che alcuni appassionati programmatori informatici hanno implementato plug-in (in continuo aggiornamento e molti ancora in fase sperimentale) che si interfacciano con i più comuni programmi BIM in commercio per rendere l'operazione di “trasformazione” della nuvola di punti in modello BIM più agevole e rigorosa.

Lo scopo è quello di rimodellare in modo parametrico l'intero manufatto rilevato, mantenendo il rilievo laser-scanner e i dati fotogrammetrici come una sorta di "impalcatura" per gli oggetti BIM¹⁰¹.

Gli applicativi citati aiutano i tecnici ad individuare, all'interno di un modello tridimensionale a nuvola di punti, elementi geometricamente e tipologicamente ascrivibili a muri, solai, elementi strutturali, superfici topografiche e condotte impiantistiche che, semi-automaticamente, si trasformano in oggetti "intelligenti" BIM, per i quali occorre (in seconda analisi) definire le specifiche tecniche. Come si evince dalle immagini seguenti, Scan-to-BIM (implementato in ambiente Revit) consente, ad esempio, di individuare sulla nuvola di punti, mediante il comando "Wall Region Grow", le superfici coincidenti con le murature, una volta che l'operatore ha definito tre punti appartenenti al piano desiderato.

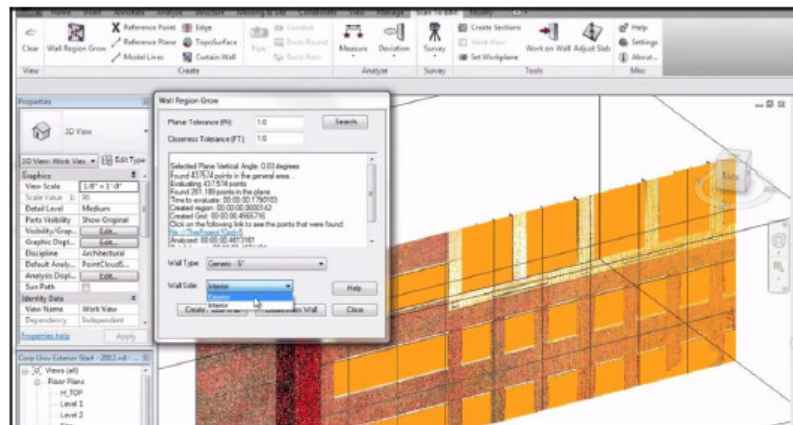


Fig. 33 – Modellazione automatica di un muro a partire da un nuvola di punti¹⁰²

¹⁰¹ Garagnani, S.; Luciani, S.; Mingucci, R. *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, in: DISEGNARECON, Rivista del Dipartimento di Architettura e Pianificazione territoriale dell'Università di Bologna, giugno 2011

¹⁰² Estratto da "Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico", S. D'Auria, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

Il BIM Surveying si sta diffondendo soprattutto all'interno di quegli ambiti caratterizzati da elementi standardizzati e di facile modellazione – le infrastrutture (Fig. 31), l'edilizia e gli impianti industriali (Fig. 33), l'edilizia residenziale moderna e contemporanea – che vedono la presenza di geometrie semplici e tutte riconducibili ad oggetti BIM, nella maggior parte dei casi, già presenti nelle librerie o nei database dei singoli software BIM.

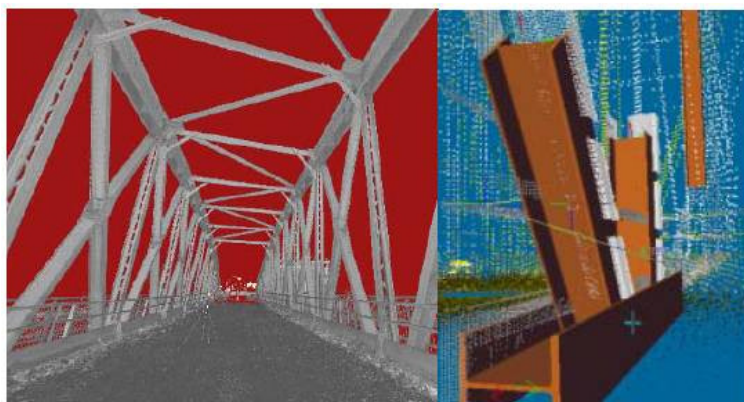


Fig. 34 – Rilievo con laser scanner e modello BIM di un ponte in acciaio



Fig. 35 – Rilievo con laser scanner e modello BIM di un ponte in acciaio

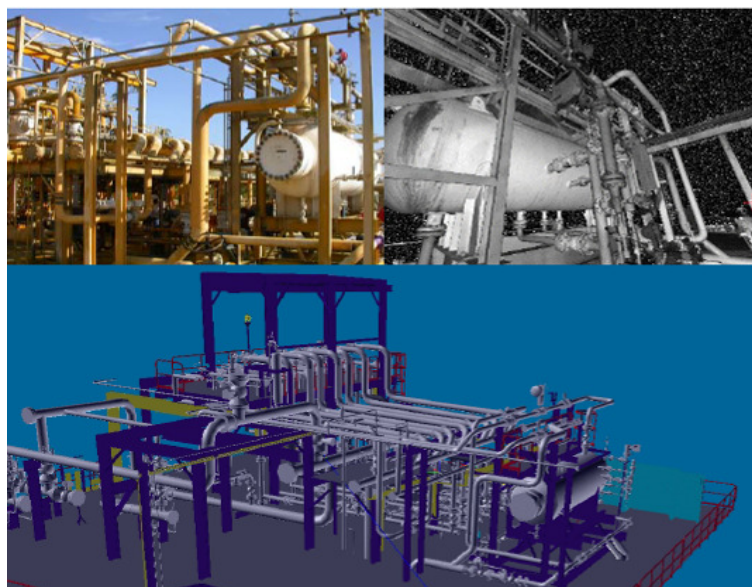


Fig. 36 – BIM Surveying di un impianto industriale

In questo modo, un modello BIM che riproduce fedelmente – in maniera informatica – la realtà, dà la possibilità di interfacciarsi in maniera completamente differente con gli interventi di progetto sul costruito.

Evitare di tornare più volte sui luoghi oggetto di trasformazione per acquisire informazioni metriche, tecnologiche e costruttive non sempre rilevate con completezza la prima volta con i metodi tradizionali, prendere decisioni progettuali basate non solo su un numero limitato di grafici bidimensionali bensì su un modello tridimensionale parametrico, effettuare in itinere valutazioni preliminari di carattere computativo, prestazionale ed economico, consentono ai tecnici coinvolti di impostare con maggior efficienza le fasi di progettazione, di realizzazione degli interventi e di manutenzione.

Capitolo 3

SIMULAZIONE E CONTROLLO DEI CONSUMI: PREMESSA STRATEGICA PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO PUBBLICO ESISTENTE

3.1 La simulazione delle prestazioni degli edifici

Quando si parla di “*riqualificazione energetica dell’edificio*”, si intende tutta una serie di attività, tecnologiche e di gestione, capaci di determinare una nuova o maggiore qualità nelle prestazioni delle costruzioni esistenti dal punto di vista dell’efficienza energetica, mirate quindi a razionalizzare i flussi energetici che intercorrono tra sistema edificio (involucro + impianti) ed ambiente esterno.

In generale, gli interventi di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente sono finalizzati a:

- aumentare il comfort interno degli ambienti;
- contenere i consumi di energia (in termini di costi e dispendio risorse);
- ridurre le emissioni di inquinati e quindi il relativo impatto sull’ambiente;
- consumare in modo razionale le risorse, sfruttando le fonti energetiche rinnovabili al posto dei combustibili fossili;
- ottimizzare la gestione dei servizi energetici;

Il concetto di riqualificazione energetica dell’esistente, fortemente collegato a quello di sostenibilità del costruito, è incoraggiato a livello internazionale, come abbiamo visto nel Capitolo 1, da politiche che riconoscono l’urgenza di un cambiamento concreto nel modo di costruire, di gestire e di mantenere gli edifici esistenti.

Un'ingente quantità di normative sul rendimento energetico del costruito delinea parametri di efficienza sempre più restrittivi e criteri di risparmio sempre più vincolanti, imponendo interventi di adeguamento del patrimonio esistente che mirino al raggiungimento di prestazioni più elevate.

Così, i governi di molti Stati membri hanno introdotto incentivi economici per agevolare interventi di riqualificazione energetica che consentano tempi di ritorno degli investimenti compatibili con le possibilità di affrontarli da parte dei proprietari degli immobili stessi.

Gli interventi principali, in grado di garantire un *retrofit* vantaggioso, possono riguardare sia il sistema tecnologico che la gestione energetica dell'edificio, come per esempio:

- il perfezionamento delle prestazioni dell'involucro;
- la sostituzione degli impianti di climatizzazione e di illuminazione, se datati, con altri più efficienti e prestanti da un punto di vista energetico e con minore impatto sull'ambiente in termini di emissioni prodotte;
- la corretta gestione della ventilazione naturale e del raffrescamento passivo, per diminuire il ricorso ad impianti di condizionamento estivo, fortemente responsabili dell'aumento dei consumi elettrici;
- la revisione della contrattualistica inerente i servizi energetici (meccanismi di incentivi/disincentivi finanziari);
- la sensibilizzazione alla riduzione dei consumi.

Per la scelta degli interventi da compiersi, allora diventa fondamentale poter contare sulla **simulazione delle prestazioni**, in modo da poter valutare in anticipo e con maggior precisione gli effetti degli interventi proposti, confrontando diverse possibilità e scegliendo tra esse la più vantaggiosa, in termini economici, temporali e tecnico-realizzativi, nonché "ambientalmente compatibili" (come ampiamente trattato nel Capitolo 1).

3.1.1 Regime stazionario *versus* regime dinamico

La simulazione energetica degli edifici consiste nell'esecuzione di un modello numerico che possa rappresentare le caratteristiche dell'edificio e degli impianti, per cercare di acquisire informazioni energetiche sul sistema edificio-impianto quando in funzione.

Affinché il modello funzioni, quindi, è necessario attribuirgli una procedura di calcolo corretta, che tenga conto della relazione tra i diversi parametri in gioco, inserendo tutte le informazioni geometriche e termofisiche dell'edificio da simulare, nonché tutte le informazioni prestazionali degli impianti.

Oggi sono disponibili vari metodi di calcolo, che si basano su procedure più o meno articolate in base al grado di simulazione che si vuole raggiungere.

Per scegliere la procedura più adeguata, è importante partire intanto dalla normativa prevista, caso per caso.

In generale, però, possiamo distinguere in due macro- categorie di calcolo:

- regime stazionario (o quasi stazionario);
- regime dinamico.

Le principali differenze tra essi hanno a che vedere innanzitutto con la questione temporale, visto che nel regime stazionario (o quasi stazionario), si considerano le variabili costanti nel tempo, mentre nel regime dinamico si studia il loro andamento proprio tenendo conto del fattore tempo (espresso in ore, giorni, mesi, stagioni, anni...).

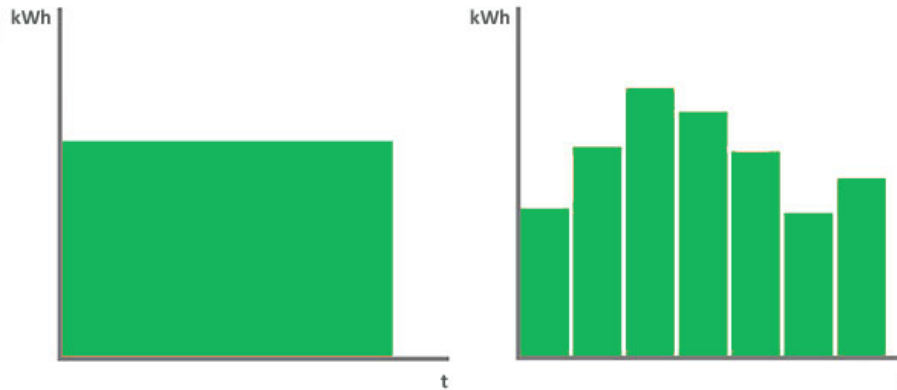


Fig. 37 – Regime stazionario (sx) e regime dinamico (dx)

Quindi, nella simulazione energetica calcolata in **regime stazionario**, l'intervallo di tempo considerato per effettuare la simulazione può coincidere con il singolo mese o addirittura con la stagione di interesse (per il riscaldamento o il raffrescamento).

Il modello numerico che si ottiene da questo calcolo ipotizza, quindi, un trasferimento di energia tra edificio e ambiente esterno in condizioni fisse, per le quali si considerano cioè costanti, nell'intervallo temporale t di simulazione, sia i modi con cui viene utilizzato l'edificio (occupazione, apporti interni, ecc.) che le condizioni climatiche (temperature e condizioni atmosferiche in genere).

Il calcolo energetico che ne risulta allora si configurerà come un mero bilancio termico tra condizioni interne ed esterne all'edificio, attraverso il ricorso alla analogia elettrica. Infatti, è noto come gli impianti termici e quelli elettrici siano due sistemi analoghi, essendo regolati da leggi i cui parametri presentano delle corrispondenze. Ciò è dovuto al fatto che il flusso di calore attraverso una resistenza termica è del tutto analogo al flusso di calore attraverso una resistenza elettrica, essendo i due tipi di flusso regolati dalle stesse leggi.

Tale analogia vale anche nel caso del **regime dinamico**.

In questo secondo caso, però, si tiene conto, oltre che delle caratteristiche dell'involucro considerate in regime stazionario, anche delle cosiddette caratteristiche "capacitive", ossia della capacità che hanno gli elementi dell'involucro di immagazzinare il calore che vi passa attraverso¹⁰³.

Questo risultato è concepibile impostando un intervallo temporale di simulazione più breve rispetto a quello in caso di regime stazionario e facendo sì che le condizioni di partenza nei calcoli energetici per ciascun intervallo di tempo sia il risultato dei calcoli effettuati per l'intervallo di tempo precedente.

In questo lavoro, l'attenzione sarà data proprio alla simulazione in regime dinamico e lo studio del caso pratico verterà proprio su un caso concreto di analisi di modello ridotto (vd. Capitolo 4).

3.1.2 La modellazione in regime dinamico

In base a quanto detto, il modello di calcolo che sta alla base dei software di simulazione energetica più comuni ed utilizzati oggi è basato sulla conoscenza delle leggi fisiche che governano il sistema oggetto di analisi.

Individuando i corretti dati di ingresso e le condizioni al contorno, si possono ottenere i dati di uscita richiesti.

Per calcolare le prestazioni energetiche degli edifici, grazie all'utilizzo di specifici algoritmi, è possibile distinguere essenzialmente tra:

- modelli di calcolo basati sulle funzioni di trasferimento;
- modelli ai volumi finiti.

¹⁰³ In sostanza, ci si riferisce alla cosiddetta "inerzia termica" dell'involucro edilizio opaco.

Il settore dell'edilizia, come detto fin dal Capitolo 1, è certamente uno dei più importanti settori industriali ed economici che influenzano la qualità della vita e dell'ambiente. Nonostante questo, sia in fase di progettazione che di realizzazione spesso gli operatori economici coinvolti prestano ancora poca attenzione ai costi di manutenzione e di esercizio relativi a tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Allora, ecco che la **simulazione dinamica** promette di poter sostenere in maniera idonea i problemi relativi alla prestazione dell'edificio in esercizio, così come del processo costruttivo.

Sempre più spesso, infatti, i modelli numerici sono impiegati come supporto nei processi decisionali relativi al progetto, all'esercizio o alla gestione.

Per questo motivo sono di crescente importanza lo sviluppo, la valutazione, l'uso nella pratica e la standardizzazione dei modelli e dei programmi.

Esistono vari procedimenti per l'analisi energetica degli edifici, ma possiamo riscontrare tra loro alcuni elementi comuni e sempre presenti:

- il calcolo del carico termico dell'ambiente costruito, legato alla prestazione del fabbricato;
- il calcolo del carico termico degli apparecchi secondari;
- il calcolo degli apparecchi del carico termico (generatori termici);
- l'analisi economica (eventuale).

Quindi, il primo step nell'analisi energetica di un edificio prevede la determinazione del carico termico dell'ambiente costruito, cioè la quantità di energia che deve essere raggiunta o sottratta da un ambiente per mantenere le condizioni prefissate di temperatura e umidità relativa.

Le procedure più semplici considerano l'energia richiesta per mantenere il comfort solo come funzione della temperatura esterna di bulbo secco, mentre

le procedure più articolate considerano gli effetti della radiazione solare, degli apporti termici interni, dell'accumulo di calore nelle pareti perimetrali di involucro e nelle partizioni interne e gli effetti del vento sia sullo scambio termico dell'involucro sia sull'infiltrazione.

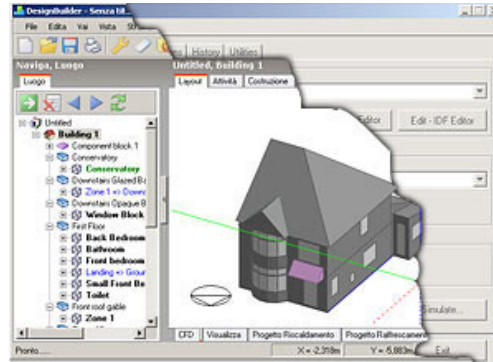


Fig. 38 – Esempio di imputazione dati in regime dinamico con *DesignBuilder*¹⁰⁴

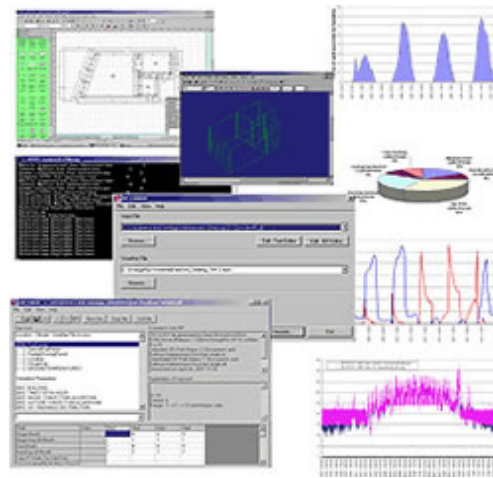


Fig. 39 – Esempio di imputazione dati in regime dinamico con *EnergyPlus*¹⁰⁵

¹⁰⁴ Online: www.mygreenbuildings.org.

¹⁰⁵ Online: www2.lbl.gov.

Fonte: <http://www.ingenio-web.it/>

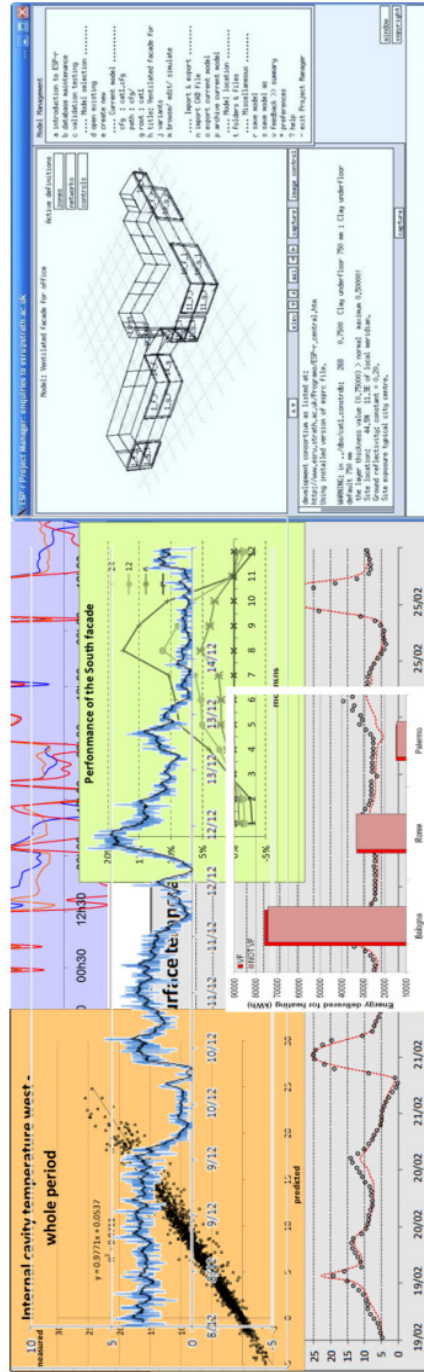


Fig. 40 – Esempio di output per modellazione in regime dinamico

3.1.3 Modellazione dettagliata e modellazione ridotta

Per poter prevedere quello che sarà il consumo energetico di un edificio, in base a quanto detto finora, è di fondamentale importanza disporre di un modello di riferimento virtuale che sia in grado di simulare il consumo dell'edificio stesso per il raffrescamento, il riscaldamento, nonché il mantenimento dell'aria a una certa temperatura e umidità, garantendo quindi un certo standard di comfort interno.

Per realizzare un modello dettagliato, in grado di raggiungere tali obiettivi, vanno certamente considerate tutte le seguenti componenti:

- geometria e dimensioni dell'edificio (volumi, ambienti, ecc...);
- ubicazione dell'edificio (latitudine, esposizione, ecc...);
- composizione dei componenti edilizi;
- ventilazione e ombreggiamenti;
- apporti termici;
- occupazione (destinazione d'uso, attività previste);
- apparecchiature e strumentazioni (ivi compresa illuminazione).

Realizzando un modello dettagliato siffatto, è possibile procedere poi con la simulazione del suo comportamento, ottenendo un *dataset* su cui poter impostare successivamente il modello ridotto.

Infatti, una caratteristica molto importante per la gestione di un modello dinamico per il controllo del consumo di energia in tempo reale è la semplicità.

I modelli particolarmente complessi, con grandi spazi di stato, rendono troppo lenta una previsione che perderebbe quindi di utilità. Ecco allora l'esigenza di individuare modelli semplificati per la valutazione delle prestazioni energetiche capaci di prevedere attendibilmente le prestazioni termiche in regime dinamico in breve tempo.

3.2 Caso studio: la modellazione di un Ospedale

All'interno di questo percorso di studio, è stata molto importante e proficua la collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche, Dicaa_ Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura, nello specifico con il Prof. Alessandro Carbonari e l'Ing. Massimo Vaccarini.

Infatti, abbiamo riscontrato nel loro lavoro di ricerca molti punti comuni con quello oggetto della presente tesi.

Come detto nella parte introduttiva, l'obiettivo del presente studio è di mettere in evidenza come il ruolo della simulazione possa essere fondamentale oggi nel processo edilizio, sia in fase progettuale che costruttiva e gestionale. Di conseguenza, alla luce dell'evoluzione "verde" degli appalti, pare interessante ragionare su quali fattori puntare per la gestione del patrimonio edilizio pubblico esistente, andando a ricercare i criteri più significativi e di cui tener conto per la redazione dei bandi, di volta in volta.

Nello specifico, siamo partiti dalla distinzione del patrimonio edilizio pubblico per categorie/ destinazione d'uso, in modo da poter organizzare gli immobili per gruppi: scuole, ospedali, uffici e amministrazioni, teatri, ecc...

Da qui, nell'ipotesi di dover prevedere degli interventi a medio e lungo termine, per consentire ai fabbricati di raggiungere dei livelli prestazionali in accordo con le prescrizioni delle attuali normative in vigore, si è ragionato sull'importanza di disporre dei modelli di questi stessi fabbricati, per poter simulare la convenienza o meno degli interventi possibili, determinando quelli più convenienti e stabilendo, quindi, i dati da mettere a bando.

Il punto in comune con l'Università di Ancona è stato proprio questo: anche loro sono interessati alla modellazione finalizzata alla simulazione delle prestazioni di un dato edificio ed è così che è nata questa "staffetta". Loro hanno realizzato il modello di un Ospedale esistente, individuando tutte le grandezze fisiche che entrano in gioco in un ambito simile, correlandole e stabilendo le relazioni e le connessioni, mentre noi ci siamo occupati dello studio del loro modello e della creazione di un modello ridotto, più facilmente

gestibile, poiché con meno variabili da considerare, seppure più articolato nella fase di riduzione del modello stesso.

Infatti, la realizzazione del modello è stato un lavoro complesso e lungo, vista la dovizia di dati da considerare come input di ingresso, nonché l'elaborazione necessaria della loro corretta relazione affinché il modello potesse essere considerato ben calibrato.

In una ipotesi applicativa concreta, appare più utile e fattibile sviluppare dei modelli ridotti, ottenuti a livello generale in base a determinate categorie, a casi particolari.

Nello specifico, auspichiamo che in futuro possano essere sviluppati dei modelli ridotti di ospedali, uffici, teatri, ecc..., ossia di tutte quelle categorie in cui è possibile raggruppare gli immobili del patrimonio edilizio pubblico, in modo che le Pubbliche Amministrazioni possano, di volta in volta, bando per bando, individuare e appaltare gli interventi più convenienti, avendo avuto come supporto nella scelta un modello ridotto, declinato al caso specifico, che abbia messo in luce i punti critici della struttura, simulando il comportamento delle caratteristiche direttamente interessate.

È questo il ruolo delle *reti bayesiane*, che hanno rappresentato il punto di approdo (momentaneo) della presente ricerca. Infatti, partendo dal modello dell'Ospedale elaborato dall'Università di Ancona, siamo approdati alla definizione di una *rete bayesiana* che contempla al suo interno tutte le variabili contenute nel modello dettagliato realizzato con *Dymola*, ma risulta essere assai più snello, vista la considerazione delle "sole" variabili davvero prioritarie nella determinazione dei consumi.

L'applicazione delle *reti bayesiane* nel mondo scientifico non è certo una novità, ma studiandole a fondo si è potuto constatare la grande possibilità di supporto che esse potrebbero offrire in ambito di risparmio energetico e ottimizzazione dei consumi.

Ecco un secondo perché di questa staffetta: la possibilità che il testimone passato dal modello al modello ridotto, possa progredire ulteriormente verso una generalizzazione applicabile all'occorrenza a casi specifici!

3.2.1 La modellazione di un Ospedale

3.2.1.1 Il software *Dymola*

Dymola è il software che è stato utilizzato ad Ancona per la modellazione dell'Ospedale e che ha permesso di simulare il comportamento dinamico dello stesso.

Dymola è distribuito in Italia da DOFWARE; è la piattaforma software di riferimento per la simulazione multidominio e la progettazione model-based di sistemi dinamici basata sul linguaggio di modellazione open source Modelica.

Dymola fornisce un ambiente grafico interattivo con librerie personalizzabili e può essere ampliato per applicazioni specializzate.

Con Dymola, grazie al nuovo e rivoluzionario solutore misto simbolico e numerico, sarà possibile simulare velocemente le interazioni complesse fra sistemi in molti campi dell'ingegneria: meccanica, elettrica, termodinamica, idraulica, pneumatica, termica e sistemi di controllo. Dymola permette quindi ai suoi utilizzatori di costruire modelli integrati e ottenere dalla simulazione risultati che rappresentano in modo più corretto e dettagliato il sistema reale¹⁰⁶.

Più nel dettaglio, *Dymola* consente di:

- Realizzare la modellazione e la simulazione di sistemi a parametri concentrati, multidisciplinari ed espandibili;
- Convalidare i sistemi di controllo su modelli integrati dell'impianto reale;
- Creare nuove librerie o modificare quelle già esistenti, per ottenere una migliore modellazione grazie al linguaggio open source *Modelica*.

¹⁰⁶ Online: <http://www.dofware.com/prodotti/dymola/>.

3.2.1.2 La definizione della struttura

Il primo passo che è stato fatto per poter ragionare sui consumi dell’Ospedale è stato certamente quello di rilevare la struttura e riportarla su *Dymola*, in modo da creare gli ambienti oggetto di interesse.

Come riportato nella Fig. 41, si è lavorato su 4 ambiti principali:

- architettonico;
- ventilazione;
- pompaggio (centrale termica);
- radiatori.

Si è passati poi all’inserimento dell’impianto di riscaldamento, fissando le caratteristiche della centrale termica e suddividendo il modello in zone riscaldate e non riscaldate.

Un grosso peso è stato assegnato anche agli apporti interni dovuti alla presenza di persone, attrezzature ed apparecchi di illuminazione, ritenuti fondamentali per il calcolo degli apporti termici complessivi.

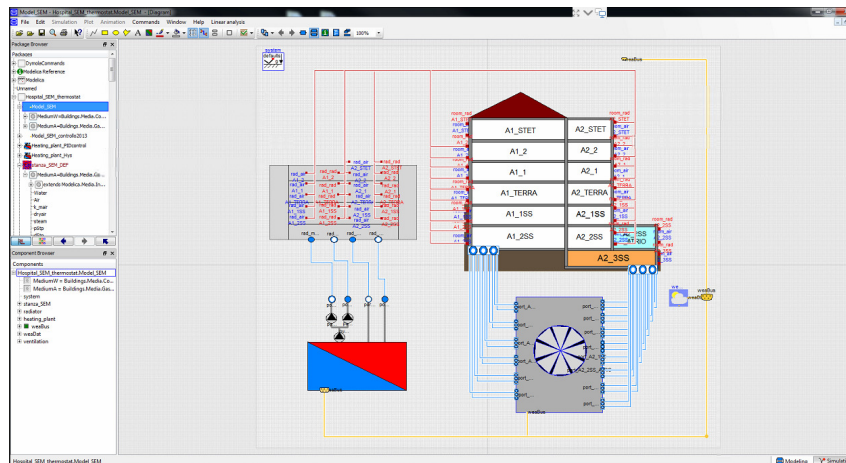


Fig. 41 – Modellazione dell’Ospedale con *Dymola* – interfaccia di sistema.

Per entrare più nel dettaglio, possiamo approfondire meglio ciascuno di questi 4 componenti, per coglierne appieno le caratteristiche.

Intanto, partiamo dall'elemento architettonico.

L'Ospedale è stato rilevato e "ridotto" ad un modello costituito di 2 corpi, A1 e A2, in base alla vetustà degli stessi, visto il differente anno di realizzazione.

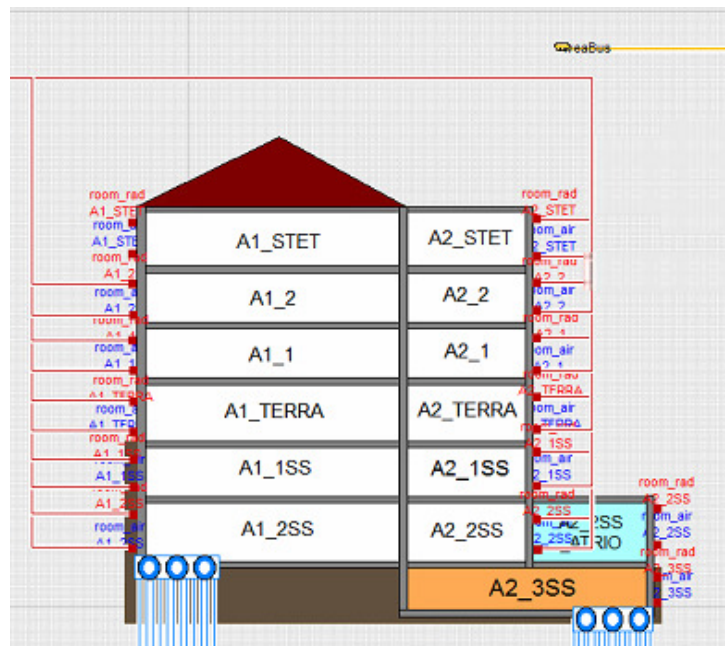


Fig. 42 – Architettura dell'Ospedale secondo il modello *Dymola*.

Come si evince dall'immagine qui sopra, non si è lavorato per ambienti, ma per piani, sicuramente per semplificare il ragionamento complessivo, ipotizzando una certa omogeneità dei dati di ingresso su ciascun livello.

Quindi, per ciascuno di questi ambienti virtuali, è stata analizzata e tradotta all'interno del programma la giusta composizione.

Si sono inseriti i pacchetti di involucro, considerando la tipologia dei materiali di tamponatura e gli infissi, quando presenti, ivi compresa la possibilità di segnalare al programma quando la parete fosse cieca, opaca, soleggiata o meno. Naturalmente, sono stati considerati anche tutti i fattori di ventilazione, esposizione, ecc..., imputando per ciascuna superficie specifici dati dimensionati con le opportune e corrette unità di misura.

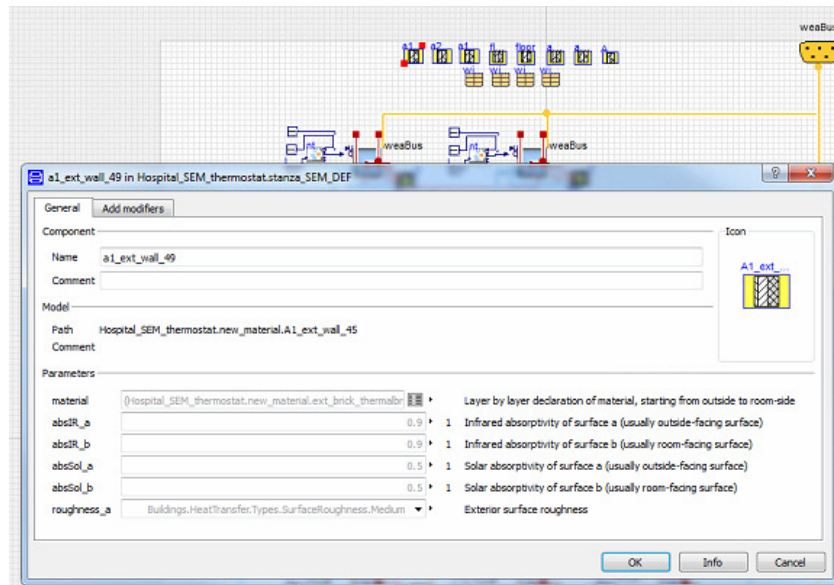


Fig. 43 – Caratterizzazione pacchetti murari nel modello *Dymola*.

Dall'immagine qui sopra, si evince come ciascuna delle pareti degli ambienti considerati nel modello *Dymola* siano stati rappresentati e caratterizzati in base all'esistente, inserendo all'interno del programma la precisa stratigrafia con le relative proprietà.

Questo è stato un passaggio fondamentale, poiché senza un modello ben calibrato, e quindi verosimile, non avrebbe alcun senso ricorrere alla simulazione delle prestazioni di un modello che non corrisponde alla realtà.

Ecco perché, una volta realizzato il modello, questo è stato “analizzato” per verificarne la corrispondenza con la realtà e, a seguito di una prima simulazione, dal confronto con i consumi reali si è visto che i risultati del modello si discostavano da quelli reali del 9,10%.

Quindi, si è proceduto attraverso due fasi successive di calibrazione del modello, per ridurre il più possibile questa distanza tra i dati reali e quelli virtuali.

Calibrazione 1: si è ottenuto un consumo minore della caldaia, attraverso la diminuzione della temperatura nominale di mandata e ritorno dei radiatori.

Calibrazione 2: si è intervenuti sul valore di input dei PID^{107} , ossia nell’attribuzione di un valore costante di temperatura alle valvole del circuito sia del corpo A1 che A2.

Così, si è ottenuto un modello caratterizzato da un’altissima percentuale di somiglianza tra dati reali e dati virtuali (simulati) e ciò ha permesso di poter procedere con le ulteriori fasi del progetto.

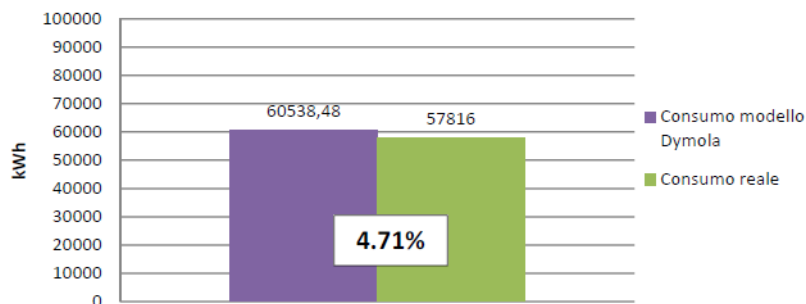


Fig. 44 – Confronto consumi reali e consumi del modello *Dymola*¹⁰⁸.

¹⁰⁷ Il PID è un controllo sulle valvole miscelatrici. Si tratta di un controllo che permette di regolare l’apertura della valvola lanciando un segnale compreso tra 0 e 1, in cui lo 0 consente la totale chiusura della valvola stessa e l’1 la totale apertura. Il controllo è possibile grazie alla lettura della temperatura di ritorno dai radiatori proveniente dal rispettivo sensore posizionato sulla colonna del ritorno di acqua. Dalla Tesi di laurea di Martina Giuliani, Ancona 2015.

¹⁰⁸ Immagine tratta dalla Tesi di laurea di Martina Giuliani, Ancona 2015, pag. 162.

3.2.1.3 La definizione degli impianti

Come detto, la definizione degli impianti è un passo fondamentale per la realizzazione di un modello che “funzioni”, quindi, nel caso dell’Ospedale, sono stati considerate le seguenti componenti:

- impianto di riscaldamento;
- impianto di acqua calda sanitaria.

Esse sono state studiate nel dettaglio, per arrivare alla corretta articolazione del modello, come di seguito visualizzabile:

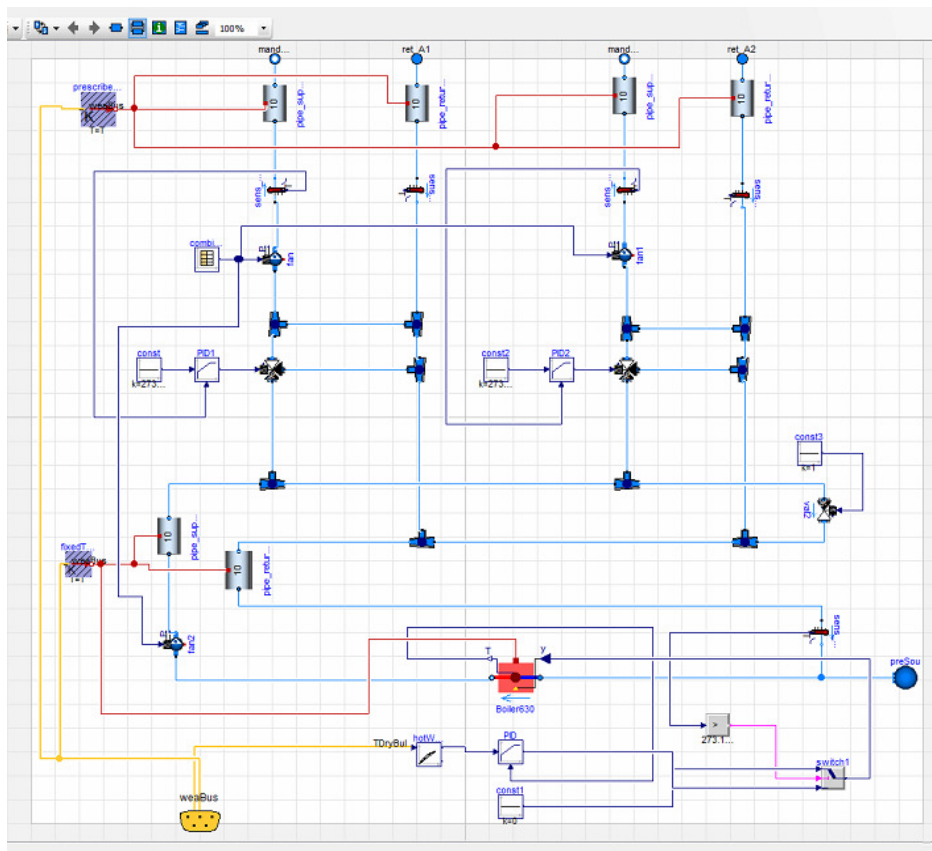


Fig. 45 – Composizione degli impianti nel modello *Dymola*.

Come si vede dalla Fig. 45, l'impianto di riscaldamento parte dalla centrale termica per poi dividersi, all'interno della sotto-centrale di pompaggio, nelle due colonne montanti che servono rispettivamente il Corpo A1 e il Corpo A2.

Ad ognuna delle due colonne è stata associata una pompa:

- la pompa UPC 65 – 120 (Corpo A1), con una potenzialità di 1350 W;

- la pompa UPC 50 – 60 (Corpo A2), con una potenzialità di 375 W.

Dal sopralluogo dei ricercatori di Ancona è emerso che¹⁰⁹ all'interno del Corpo A2 è stato creato un cavedio in cui passavano le tubazioni, ma solamente quelle relative ai radiatori dello stesso Corpo A2 erano convogliate in un collettore di piano; al contrario dell'impianto del Corpo A1 che, invece, ad ogni piano diramava semplicemente la colonna montante in funzione del fabbisogno del piano stesso.

I terminali dell'impianto di riscaldamento sono stati riconosciuti come classici radiatori in ghisa a quattro colonne per il Corpo A1 e radiatori a pannelli radianti a quattro colonne per il Corpo A2.

Gli studiosi, hanno poi rilevato che la temperatura del fluido termovettore veniva controllata attraverso una regolazione climatica della caldaia che, grazie ad una sonda esterna che misura la temperatura, era in grado di variare la potenza della caldaia in funzione della temperatura che il fluido deve raggiungere una volta scaldato. Inoltre, erano presenti valvole miscelatrici in ognuna delle due colonne montanti che permettevano di regolare la temperatura di mandata tramite la miscelazione tra l'acqua proveniente dalla caldaia e quella di ritorno proveniente dai piani.

Non si sono rilevati termostati all'interno dei vari piani dell'edificio e quindi la regolazione era solo climatica.

¹⁰⁹ La descrizione degli impianti è stata tratta e rivista dalla Tesi di laurea di Martina Giuliani, Ancona 2015, pagg. 36/38.

L'impianto di acqua calda sanitaria comprendeva una rete di mandata e una rete di ricircolo.

Il circuito ACS ha due pompe di distribuzione:

- *Una pompa principale di distribuzione da 340 W, a funzionamento continuo e velocità costante;*
- *Una pompa da 200 W relativa al laboratorio analisi, a funzionamento continuo e velocità costante.*

Le potenze relative a tali pompe sono state dedotte dallo schema dell'impianto fornito da GESTA, poiché non è stato possibile ai ricercatori di Ancona verificare l'effettiva corrispondenza in situ.

Tali pompe sono situate, a differenza dell'impianto di riscaldamento, nel vano inferiore della centrale. La distribuzione dell'impianto poi parte dalla sotto-centrale di pompaggio, come accade per il riscaldamento, dove sono presenti i tre stacchi che servono i vari piani.

Nella centrale termica, il circuito ACS acquisisce calore dal circuito primario tramite uno scambiatore di calore a piastre ALFA LAVA e successivamente miscela il flusso proveniente da quest'ultima con quello proveniente dalla rete di ricircolo attraverso una valvola a tre vie, gestita da una centralina di comando che legge la temperatura di mandata.

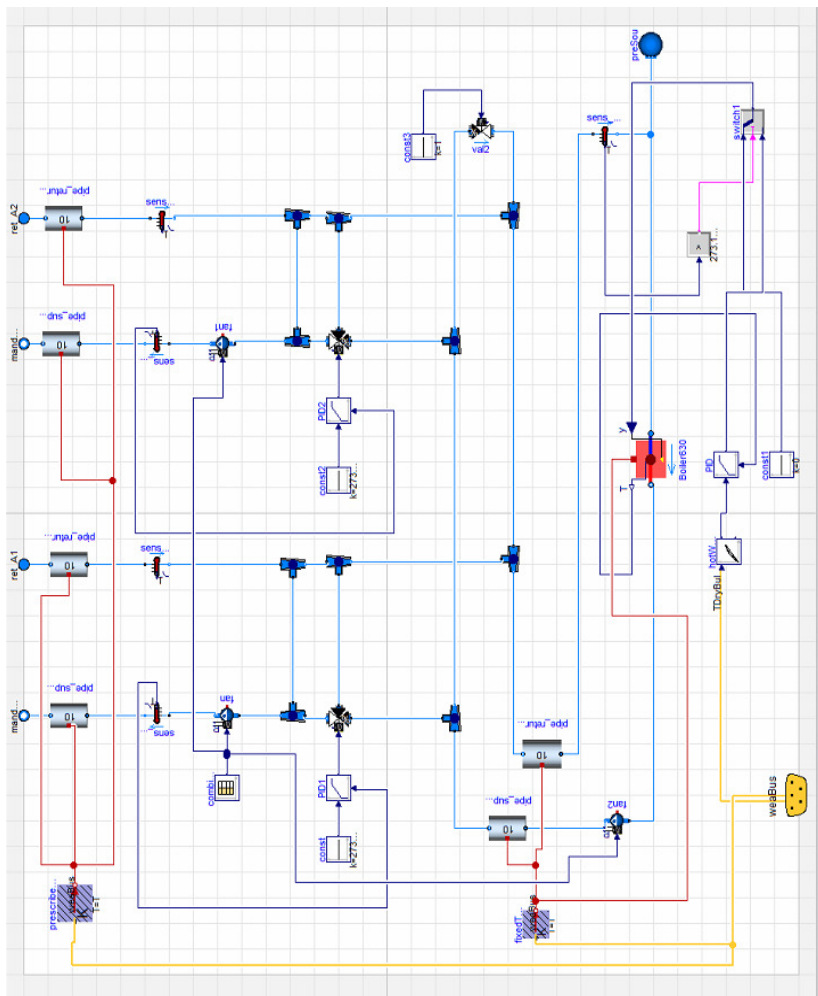


Fig. 46 – Connessioni degli impianti: HeatingPlant_PID Control

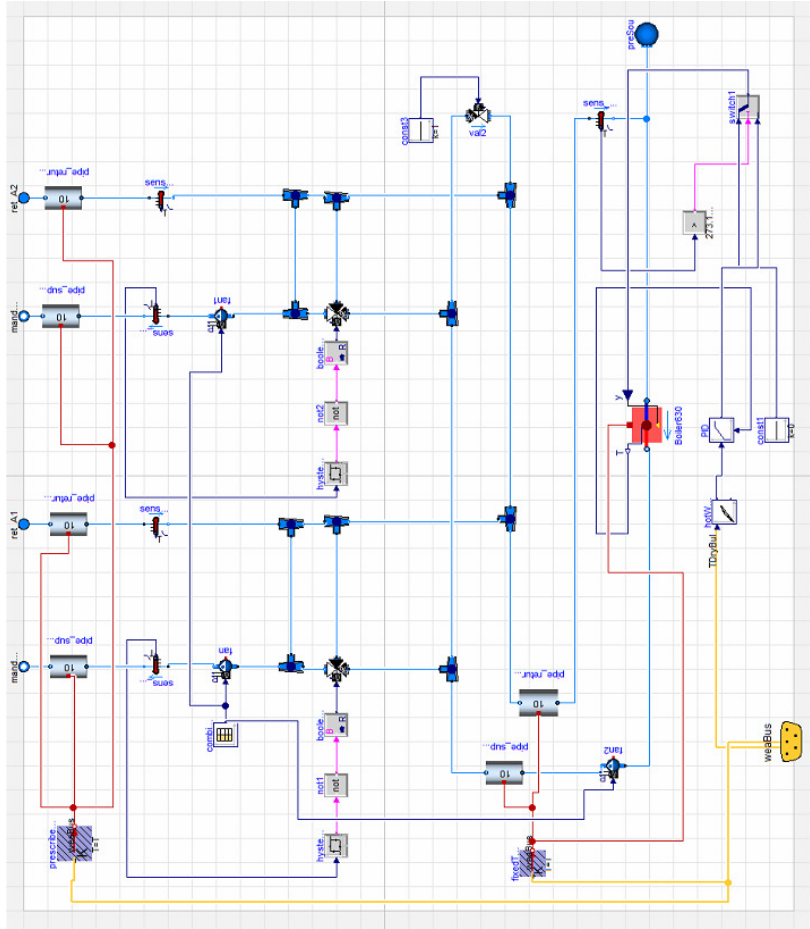


Fig. 47 – Connessioni degli impianti: HeatingPlant_Hys

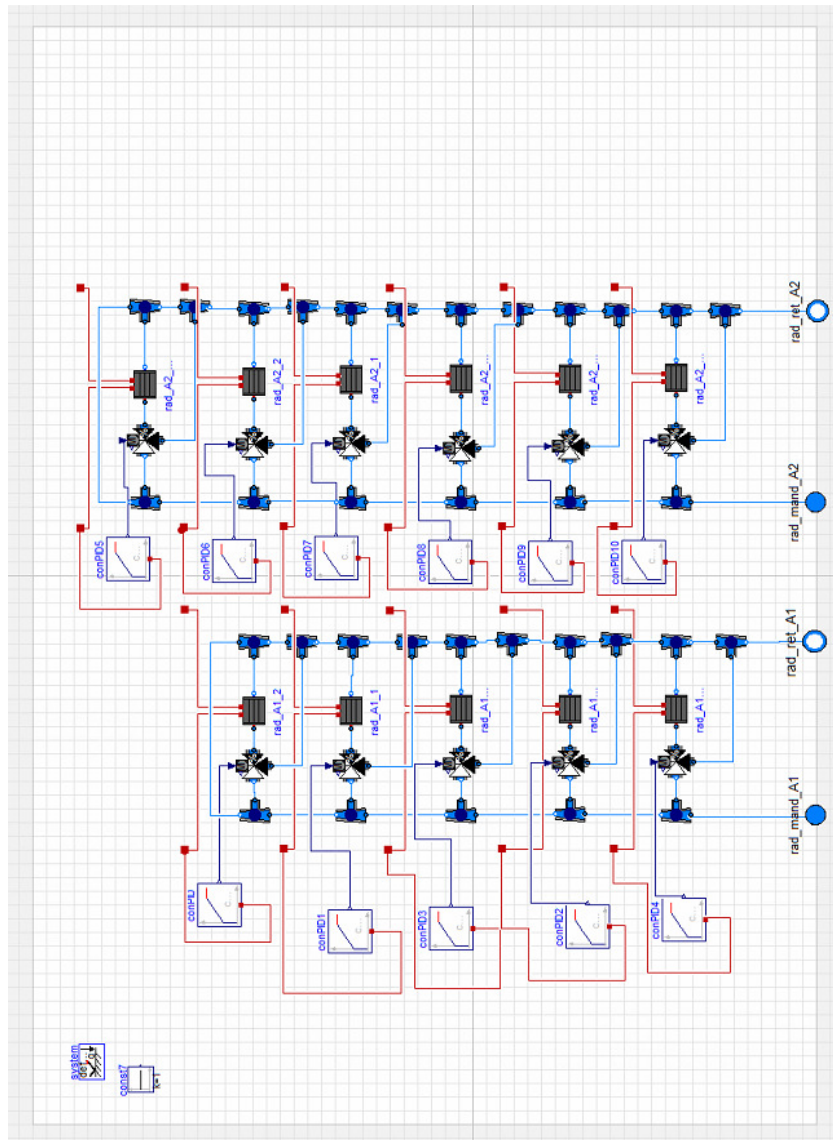


Fig. 48 – Connessioni degli impianti: Radiatori_PID

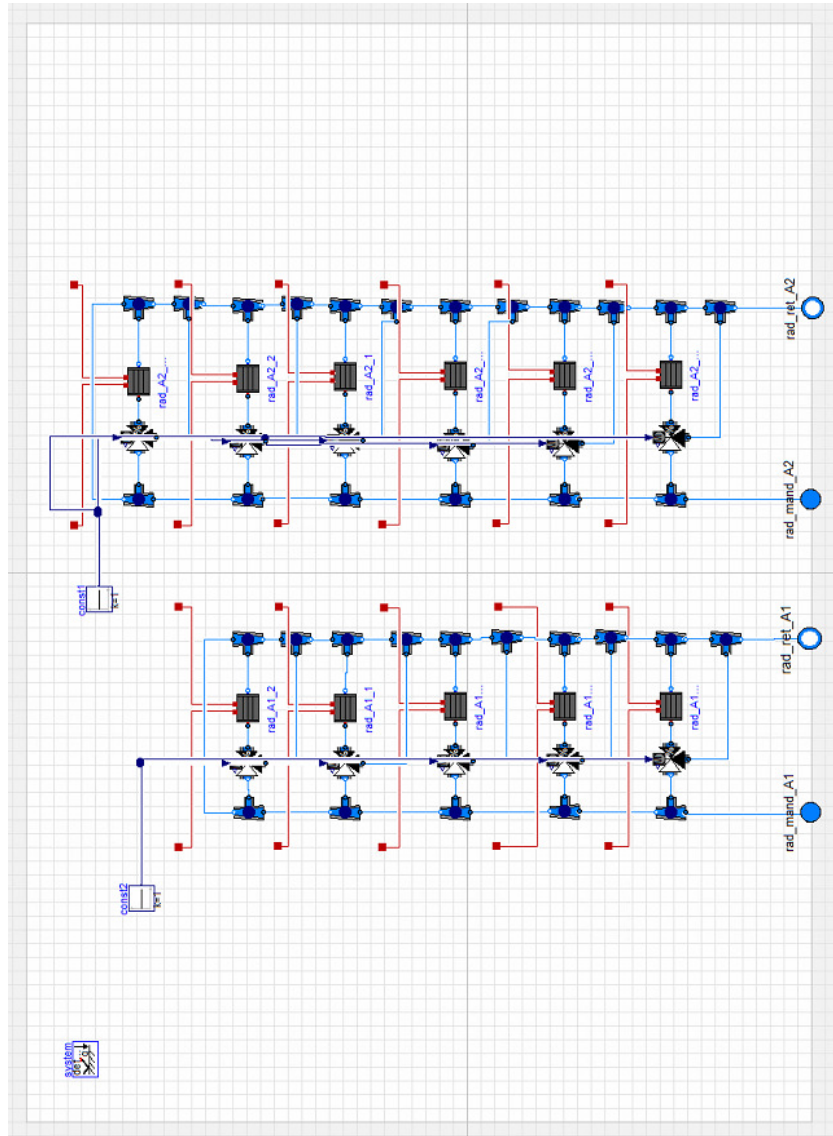


Fig. 49 – Connessioni degli impianti: *Radiator2_no control*

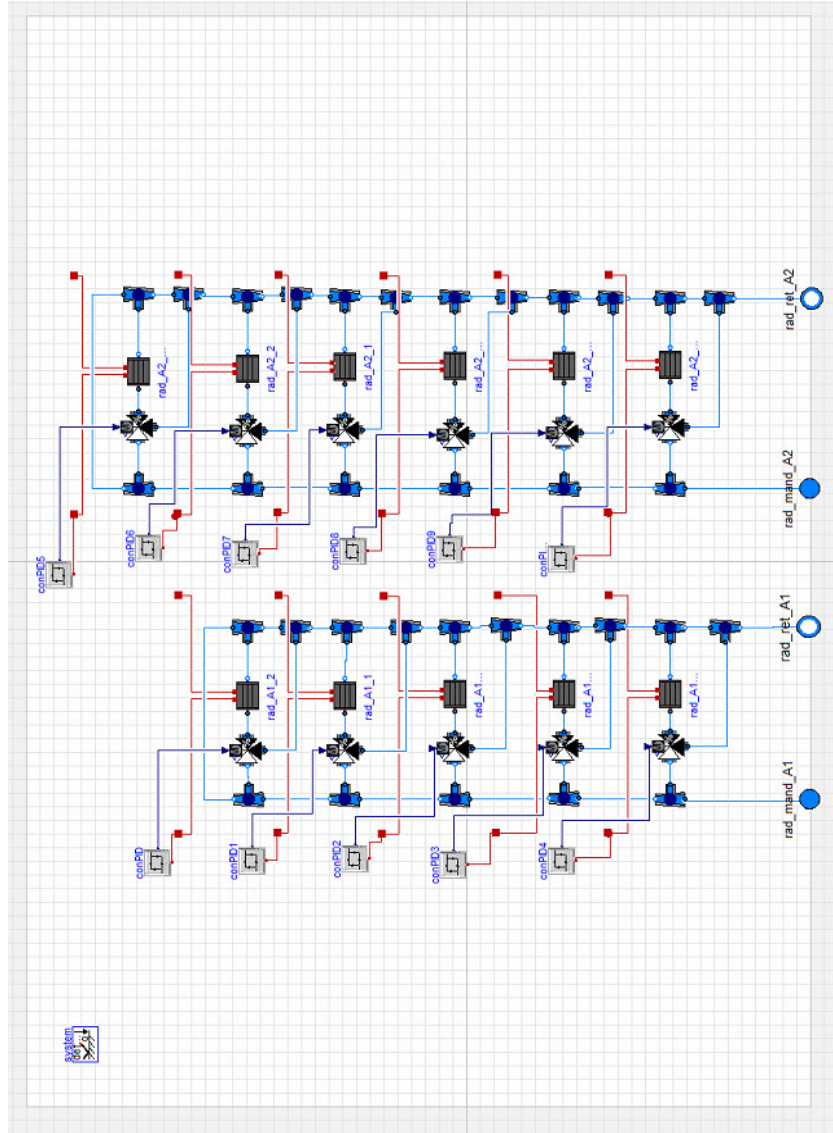


Fig. 50– Connessioni degli impianti: Radiator2_HysteresisControl

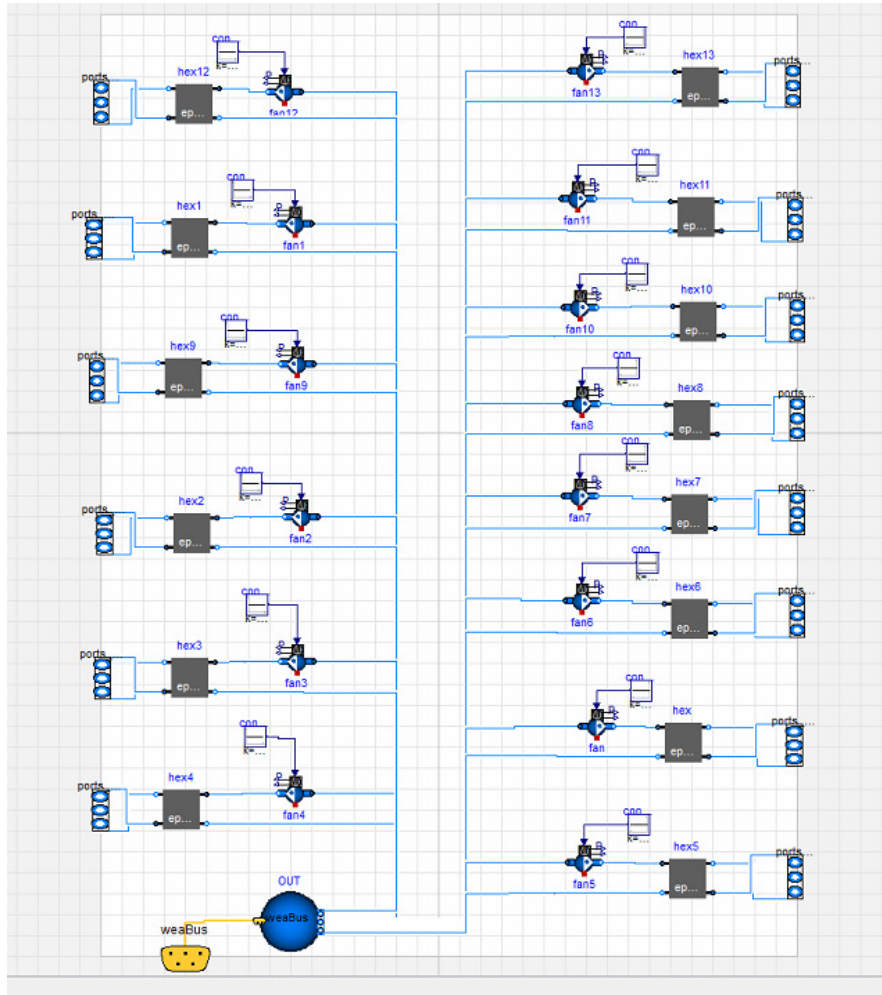


Fig. 51 – Connessioni degli impianti_ Ventilation.

3.2.2 Gestione e semplificazione del modello dinamico

In base a quanto detto finora, e viste anche le immagini riportate dal programma *Dymola*, l'elaborazione del modello dinamico che i ricercatori hanno utilizzato ad Ancona per l'Ospedale è stato un percorso lungo e complesso.

Ciò è dovuto certamente alle variabili che entrano in gioco in un sistema edilizio quale è un Ospedale, ma è anche vero che in qualunque edificio ad uso pubblico si presenterebbero una quantità simile di valori fisici da considerare.

Allora, se lo scopo è poter elaborare dei modelli "generalisti" che possano essere poi declinati caso per caso in base alle specifiche esigenze della Pubblica Amministrazione per la gestione del suo patrimonio edilizio, appare opportuno compiere un ulteriore passo avanti, per riuscire a lavorare su modelli più snelli, semplificati, ma non per questo con un minor livello di precisione. In quel caso, infatti, la simulazione delle prestazioni non sarebbe certo attendibile e quindi il lavoro fatto non porterebbe ad alcun risultato utile e/o interessante.

Da qui, la staffetta che ha portato il testimone nelle nostre mani, per cercare di ridurre il modello dinamico elaborato con *Dymola*, attraverso lo studio delle variabili prioritarie nel funzionamento dei processi fisico-termici dell'Ospedale, per arrivare ad individuare un modello ridotto meno articolato.

È il caso della **rete bayesiana** che descriveremo di seguito, nel Capitolo 4.

Capitolo 4

CONTROLLO DEI CONSUMI ATTRAVERSO UN MODELLO RIDOTTO CON LE RETI BAYESIANE

4.1 Le reti bayesiane

In base a quanto descritto finora, appare evidente che il problema della gestione degli impianti di un edificio complesso non sia cosa da poco.

Se consideriamo che l'obiettivo finale è il mantenimento di un determinato *comfort* interno, mentre le variabili in gioco sono assai più numerose, si capisce come il problema necessiti di una semplificazione del modello simulato, in modo che la gestione del processo risulti agevolata.

Nello specifico, abbiamo pensato di ricorrere alle *reti bayesiane* perché, come vedremo in questo Capitolo, esse rappresentano uno strumento che ben si presta all'ambito energetico. Esse, infatti, consentono di valutare le relazioni tra diverse variabili, considerando le priorità ed i legami che intercorrono tra loro, restituendo una stima probabilistica del comportamento a seconda della variazione dei dati di *input*.

Ecco allora che, nell'ottica di una gestione su base oraria di un impianto di climatizzazione, invernale o estivo, per esempio, il ricorso ad una rete potrebbe consentire di predire in anticipo, sulla base delle probabilità calcolate in base alla combinazione delle variabili in ingresso, quello che sarà il comportamento nell'ora successiva e quindi, in una ipotesi di sistema meccanizzato, intervenire per modificare la taratura dell'impianto, in modo che si adegui alle nuove (future) condizioni che si avranno in quella data stanza (o ambiente) durante l'ora successiva.

Il ricorso alle *reti bayesiane* è risultata la conclusione naturale di tutto il discorso sulla simulazione fin qui affrontato, poiché esse mettono bene in

evidenza quali possano essere i (molteplici) vantaggi di un simile strumento, soprattutto in ambito energetico.

Le *reti bayesiane* sono modelli grafici della conoscenza in un dominio incerto. Basandosi sulla regola di *Bayes*, esprimono relazioni di dipendenza condizionale (archi) tra le variabili in gioco (nodi).

Il vantaggio principale del ragionamento probabilistico rispetto a quello logico consiste nella possibilità di giungere a individuare relazioni razionali anche quando non ci sono abbastanza informazioni di tipo deterministico sull'andamento del sistema.

Infatti, le *reti bayesiane* possono essere utilizzate in ogni ambito in cui sia necessario configurare eventi realistici in situazioni di incertezza, cioè in cui sia probabile che certi episodi di verifichino.

Sovente, capita che nei ragionamenti probabilistici si valuti una probabilità avendo già raccolto delle informazioni su quanto si è già manifestato in precedenza. Allora, dati due eventi A e B e questi sono in qualche modo connessi, è ragionevole pensare che il sapere che uno dei due è già avvenuto possa migliorare la conoscenza della probabilità che avvenga anche l'altro.

Quindi, *una rete bayesiana è la rappresentazione grafica di un modello probabilistico, ovvero di una distribuzione di probabilità su un insieme di variabili $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, e permette di rappresentare e analizzare un fenomeno oggetto di studio in condizioni di incertezza.*

Le reti bayesiane, denotate con $B = (G, \vartheta)$, sono definite attraverso la specificazione di due componenti:

*(a) La **componente qualitativa**, un grafo diretto aciclico (DAG) $G = (V, A)$, detto struttura della rete, in cui i nodi V sono in corrispondenza biunivoca con l'insieme $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ di variabili aleatorie e gli archi diretti A sono coppie ordinate di elementi di V . Ogni arco, denotato con $X_i \rightarrow X_j$, rappresenta*

la dipendenza condizionata fra i nodi che connette; i parenti di un nodo X_i in G sono denotati da $Pa(X_i)$, i figli con $Ch(X_i)$;

(b) La **componente quantitativa**, un insieme di distribuzioni di probabilità condizionate (CPD) su X, ϑ , dette *parametri della rete*. Le CPD locali $P(X_i|Pa(X_i))$, associate ad ogni variabile aleatoria e condizionate da ogni possibile combinazione dei valori assunti dall'insieme di parenti della variabile, sono specificate attraverso un insieme di parametri ϑ_i .

Le variabili aleatorie del dominio considerato possono essere discrete e continue.

I possibili valori delle variabili sono assunti mutuamente esclusivi ed esaustivi, il che significa che ogni variabile può assumere esattamente uno dei suoi possibili valori. Tipiche variabili discrete sono ad esempio:

- le variabili booleane, che rappresentano proposizioni e che possono assumere solo valori binari di tipo {Verò, Falso} oppure {Sì, No};
- le variabili ordinali, esempi delle quali sono giudizi di valore {ottimo, buono, mediocre, cattivo, pessimo}, o variabili originariamente misurabili su scala ad intervalli ma delle quali non si hanno tutte le informazioni {giovane, maturo, vecchio};
- le variabili a valori interi, come per esempio l'informazione legata al numero di componenti di una famiglia, che assume valori pari a 1, 2, . . . ;
- le variabili continue opportunamente discretizzate, come ad esempio l'informazione legata all'altezza di un individuo, discretizzata in classi significative per l'analisi.

In generale non c'è un limite al numero di valori discreti che può assumere una variabile.

La struttura della rete bayesiana codifica le relazioni qualitative che sussistono tra le variabili. In particolare due nodi sono connessi attraverso un arco (freccia, legame diretto) se esiste una influenza tra i possibili valori che le variabili possono assumere. La forza delle relazioni che esistono tra le variabili

è quantificata dalle distribuzioni di probabilità condizionata associate ad ogni nodo¹¹⁰.

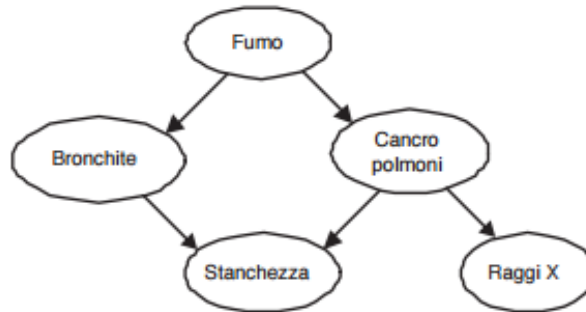


Fig. 52 – Esempio di rete bayesiana

In questo esempio, i nodi corrispondono a variabili casuali booleane per ognuno dei quali viene specificata una tabella di probabilità condizionata (CPT) che codifica i parametri della rete.

Nella Tabella sotto si evidenziano i parametri associati ad uno dei nodi del grafo associato alla rete bayesiana dell'esempio.

C	B	S=0	S=1	
0	0	0.1	0.9	$\theta_{111} = P(S = 0 C = 0, B = 0)$
0	1	0.7	0.3	$\theta_{121} = P(S = 0 C = 0, B = 1)$
1	0	0.8	0.2	$\theta_{131} = P(S = 0 C = 1, B = 0)$
1	1	0.9	0.1	$\theta_{141} = P(S = 0 C = 1, B = 1)$

Fig. 53 – Tabella dei parametri associati all'esempio di rete bayesiana

¹¹⁰ Università degli Studi di Padova, Dottorato di Ricerca in Statistica, Debora Slanzi, "Reti bayesiane: approcci per la selezione del modello", 31 dicembre 2015.

I nodi radice hanno associata una tabella di probabilità marginale che rappresenta la probabilità a priori della variabile.

Se un nodo ha molti parenti o se i parenti di un nodo hanno numerosi stati possibili, la tabella di probabilità condizionata associata può essere molto grande. La dimensione di una CPT è infatti esponenziale nel numero dei parenti. Perciò, nel caso di una rete bayesiana con variabili booleane, un nodo con p parenti richiede una CPT con 2^{p+1} probabilità (parametri della rete)¹¹¹.

Essendo la rete bayesiana un grafo, vediamo brevemente quelle che sono le caratteristiche e le varie tipologie esistenti di tale struttura.

Un grafo diretto (o grafo orientato) G è una coppia (V, E) , dove V è un insieme ed $E = V \times V$ è una relazione binaria su V .

*Gli elementi di V sono detti **vertici** (o variabili o nodi), e gli elementi di E sono detti **archi**. Dato un nodo u , i successori (o nodi figli) di u sono i vertici v tali che $(u, v) \in E$.*

I predecessori (o nodi padri) di u sono i vertici v tali che $(v, u) \in E$.

Se (u, v) è un arco, allora, diremo che v è adiacente a u e che vi è una relazione di dipendenza condizionale tra u e v .

Il grado uscente di un nodo u è il numero di successori di u ; il grado entrante di u è il numero di predecessori di u . Il grado di un nodo è la somma tra grado uscente e grado entrante del nodo.

Un cammino, o path o adjacency path, di lunghezza $k \geq 0$ da un vertice u ad un vertice u' è una sequenza di nodi (v_0, v_1, \dots, v_k) tale che $u = v_0$, $u' = v_k$, e $(v_i, v_{i+1}) \in E$ per ogni $i = 0, \dots, k - 1$.

La lunghezza del cammino è il numero di archi del cammino.

¹¹¹ Università degli Studi di Padova, Dottorato di Ricerca in Statistica, Debora Slanzi, "Reti bayesiane: approcci per la selezione del modello", 31 dicembre 2015.

Si noti che esiste sempre un percorso di lunghezza 0 da u a u .

Un percorso semplice è un cammino senza nodi ripetuti.

Un nodo v è raggiungibile da un nodo u se esiste un cammino da u a v .

Un ciclo è un percorso (v_0, v_1, \dots, v_k) tale che $v_0 = v_k$ e il cammino contiene almeno un arco. Un ciclo è semplice se inoltre v_0, v_1, \dots, v_k sono distinti.

Un cappio è un ciclo di lunghezza 1 ed è il più piccolo ciclo possibile su grafi orientati. Un grafo è aciclico se non contiene cicli.

Per un qualsiasi nodo in un percorso se due archi si incontrano sullo stesso, allora il nodo stesso è un collider del percorso, ad esempio in un grafo del tipo $X \rightarrow V \leftarrow Y$ diremo che V è un collider del percorso.

*Il concetto di **collider** è precipuo per un percorso ossia un nodo può risultare collider in un path, ma non in un altro.*

Un grafo indiretto (o non orientato) G è una coppia (V, E) tale che V è un insieme di vertici, ed E è un insieme di archi non orientati. Un arco non orientato è un insieme (u, v) dove u e v sono vertici distinti dove l'ordine dei nodi non è rilevante. Viene usata comunque la notazione (u, v) per indicare l'arco (u, v) assumendo che (u, v) e (v, u) siano lo stesso arco. Si noti che un grafo indiretto non ammette cappi.

Un grafo pesato è un grafo $G = (V, E)$ con una funzione di peso $w : E \rightarrow R$ che associa un peso ad ogni arco. Un grafo è detto completo se ogni nodo è connesso a tutti gli altri senza esplicitare alcuna direzione; si definisce clique (gruppo di oggetti) un sottoinsieme di nodi completo e che se ampliato, ad esempio con l'aggiunta di un nodo, perde la proprietà di completezza.

Un DAG è un grafo diretto e aciclico.

Una foresta non è altro che un DAG dove ogni nodo può avere o un solo predecessore o non ne ha nessuno.

Un albero è invece una foresta dove ogni nodo ha un nodo padre tranne uno che è detto nodo radice e non ha predecessori.

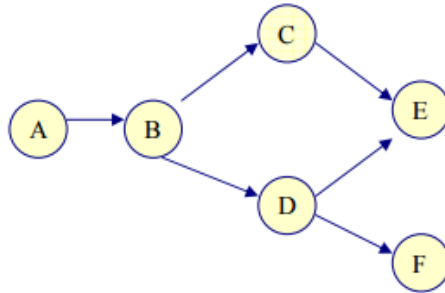


Fig. 54 – Un DAG

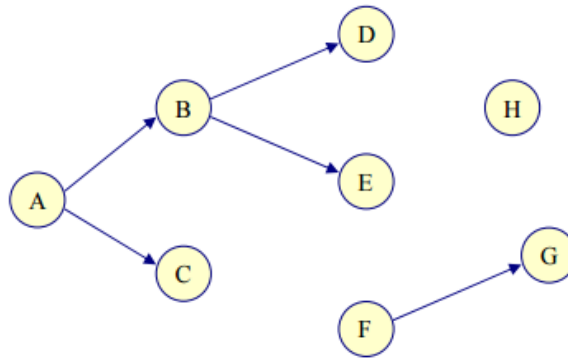


Fig. 55 – Una foresta

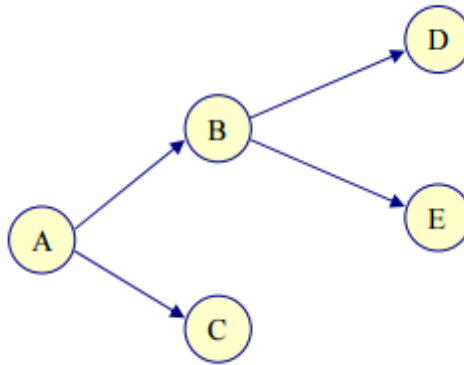


Fig. 56 – Un albero

4.1.1 L'approccio bayesiano alla teoria delle probabilità¹¹²

Per comprendere le reti bayesiane e le tecniche di apprendimento ad esse associate, è importante delineare l'approccio bayesiano alla probabilità e alla statistica.

La probabilità bayesiana di un evento x è espressa dal livello di fiducia che una persona associa all'evento; quindi, mentre la probabilità classica è una proprietà fisica del mondo, basata sull'interpretazione frequentista, quella bayesiana è una proprietà della persona che assegna la probabilità all'evento.

Per chiarire, consegnando una moneta a qualcuno e chiedendogli di assegnare una probabilità all'evento "la moneta mostrerà 'testa' al prossimo lancio", questi, verosimilmente, risponderà $\frac{1}{2}$. Se, invece, si convincesse la persona che la moneta è sbilanciata in favore di 'testa', egli assegnerebbe una probabilità più alta all'evento in base allo stato di conoscenza ξ acquisito.

¹¹² Paragrafo tratto da "Un'applicazione delle reti bayesiane nell'individuazione delle cause di incidente", di Ing. Lucia Sparavigna. Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Reti Civili e dei Sistemi Territoriali, università degli Studi di Napoli "Federico II", 2005.

Per evidenziare l'approccio bayesiano alla probabilità, anziché indicare la probabilità dell'evento x semplicemente come $p(x)$, la si indica con $p(x | \xi)$.

Un'importante differenza fra probabilità fisica e bayesiana è che, per questa ultima, non si ha bisogno di tentativi ripetuti. Un esempio è fornito da domande del tipo: "che probabilità ha la Lazio di vincere il campionato?" Lo statistico classico dovrebbe rimanere in silenzio, mentre il bayesiano potrebbe assegnare una probabilità che rispecchi il proprio grado di conoscenza (ad esempio se la Lazio ha giocatori migliori rispetto alle altre squadre e alle sue vittorie agli anni precedenti).

Una critica comune alla definizione bayesiana della probabilità è l'arbitrarietà: perché il grado di fiducia dovrebbe rispettare le regole della probabilità? Con quali valori la probabilità potrebbe essere stimata? O meglio, ha senso assegnare una probabilità di uno (zero) ad un evento che (non) occorrerà e quale probabilità assegnare ai livelli di fiducia che non sono né l'evento certo né l'evento impossibile?

Queste argomentazioni sono state oggetto di studio: molti ricercatori, sostenitori dell'approccio bayesiano, hanno ricavato e dimostrato differenti proprietà che conducono, comunque, alle regole della probabilità.

*Il processo di stima del livello di fiducia con cui esprimere la probabilità secondo l'approccio bayesiano è noto come *probability assessment*: una tecnica molto semplice è la seguente:*



Fig. 57 – Probability assessment

Si consideri una ruota con solo due regioni (ombra e non ombra), come quella illustrata in Figura 57.

Assumendo che tutte le caratteristiche della ruota siano simmetriche (eccetto che per la zona in ombra), si conclude che la ruota ha uguale probabilità di trovarsi in qualsiasi posizione. Da questo giudizio e dalla regola della somma della probabilità, segue che la possibilità che la ruota si fermi nella regione "ombra" è uguale alla percentuale dell'area della ruota che è in ombra (0.3 per la ruota in figura).

Questo approccio fornisce un riferimento per la misura delle probabilità relative ad altri eventi, associando, ad esempio, la zona in ombra al risultato che si prospetta essere il meno probabile.

Un problema del probability assessment è la precisione: può una persona realmente indicare che la probabilità per un evento è 0.601 e non 0.599?

In molti casi, no.

D'altronde le probabilità spesso sono usate per prendere decisioni, quindi si usano tecniche di analisi di sensitività per stabilire il grado di precisione necessario. Un altro problema con il probability assessment è l'accuratezza, in quanto il modo con cui si pone una domanda può condurre ad assessment che non riflettono il reale livello di fiducia di una persona.

4.1.2 Inferenza e reti bayesiane¹¹³

La semantica probabilistica delle reti bayesiane e l'utilizzo del teorema di Bayes rendono agevole, a livello intuitivo, l'inferenza.

Nota la rete (struttura, quindi i legami fra le variabili, e CPT per ogni nodo), possiamo introdurre l'evidenza in alcuni dei nodi ed osservare le variazioni, in termini probabilistici, della rete.

L'inferenza in una rete bayesiana è il processo mediante il quale valutare la probabilità di ogni stato di un nodo quando le informazioni (evidenza) su altre variabili siano note.

Per comprendere meglio quanto detto, vediamo un esempio che modella un problema di frode con carta di credito. Le variabili del dominio sono:

- *Fraud (f): indica che la persona commette una frode con carta di credito;*
- *Jewerly (j): indica l'acquisto fraudolento di gioielli nelle ultime 24 ore;*
- *Gas (g): indica l'acquisto fraudolento di carburante nelle ultime 24 ore;*
- *Age (a): determina l'età del possessore della carta di credito;*
- *Sex (s) determina il sesso del possessore della carta di credito.*

La rete bayesiana associata a tale problema è mostrata di seguito.

¹¹³ Paragrafo tratto da "Un'applicazione delle reti bayesiane nell'individuazione delle cause di incidente", di Ing. Lucia Sparavigna. Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Reti Civili e dei Sistemi Territoriali, università degli Studi di Napoli "Federico II", 2005.

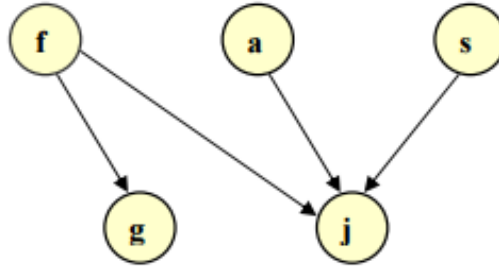


Fig. 58 – Rete bayesiana che modella un problema di frode con carta di credito

Dalla rete si può osservare, per esempio, che se c'è un caso di frode da carta di credito, allora l'acquisto di gioielli o gas ne è condizionato; inoltre la possibilità che un gioiello sia acquistato è influenzata dall'età e dal sesso dell'acquirente.

La rappresentazione quantitativa è associata alla tabella qui di seguito dalla quale si può osservare, invece, che se Fraud è nello stato "Yes" allora c'è una probabilità pari a 0.2 che Gas sarà "Yes" ma se Fraud è "No" allora ci sarà una probabilità minore, 0.01, che Gas sia "Yes".

Quindi, se una persona sta usando in modo fraudolento una carta di credito è 20 volte più probabile che compri del gas rispetto a chi usa legittimamente la carta di credito.

Il compito dell'inferenza è determinare l'aggiornamento (a posteriori) della distribuzione di probabilità per una o più variabili del dominio basandosi sui valori noti dalle osservazioni (evidenza).

PROBABILITY			CONDITIONS		
			FRAUD	AGE	SEX
Fraud=Yes	Fraud=No				
0.00001	0.9999				
Age<30	Age=30-50	Age>50			
0.25	0.40	0.35			
Sex=Male	Sex=Female				
0.5	0.5				
Gas=Yes	Gas=No		Yes		
0.2	0.8		No		
0.01	0.99				
Jewelry=Yes	Jewelry=No		yes		
0.05	0.95		No	<30	Male
0.0001	0.9999		No	30-50	Male
0.0004	0.9996		No	>50	Male
0.0002	0.9998		No	<30	Female
0.0005	0.9995		No	30-50	Female
0.002	0.998		No	>50	Female
0.001	0.999		No	>50	Female

Fig. 59 – Probabilità associate alla rete bayesiana in Figura 58

In riferimento all'esempio introdotto sopra, come si evince dal dato riportato nella tabella qui sopra, si è rilevato (evidenza) che un giovane maschio sta usando una carta per comprare dei gioielli ma non del gas (Sex = Male, Age =<30, Jewelry = Yes, Gas= No): possiamo inferire, data l'evidenza, per determinare se l'acquisto sia fraudolento e con quale probabilità.

In altre parole dobbiamo valutare la probabilità $P(f | j, g, s, a)$.

4.2 Elaborazione di una rete bayesiana per il caso studio

4.2.1 Studio del sistema Ospedale

Fatte le premesse di cui sopra, l'ultimo passaggio della presente ricerca è stato di provare ad elaborare una *rete bayesiana* per l'Ospedale oggetto di studio.

Come detto nelle pagine precedenti, l'auspicio è quello di riuscire ad astrarre il numero delle variabili il più possibile, in modo da poter creare delle reti che possano avere valenza generale, ma allo stesso tempo essere adeguate e declinate caso per caso.

Come prima cosa, quindi, ci siamo occupati dello studio del sistema Ospedale, partendo dal modello realizzato con *Dymola*. Nello specifico, abbiamo ipotizzato come fine ultimo dell'applicazione della rete il mantenimento di un dato livello di *comfort* interno e quindi ci siamo soffermati sullo studio degli ambienti e delle variabili coinvolte.

La porzione di modello che abbiamo preso come riferimento è quella mostrata di seguito, nella Figura 60.

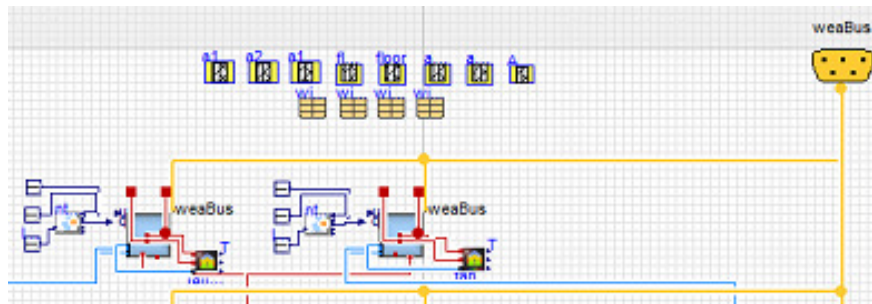


Fig. 60 – Porzione di modello *Dymola* – ambienti interni

Più nel dettaglio, ci siamo soffermati su uno solo degli ambienti interni, per analizzare bene tutte le variabili coinvolte.

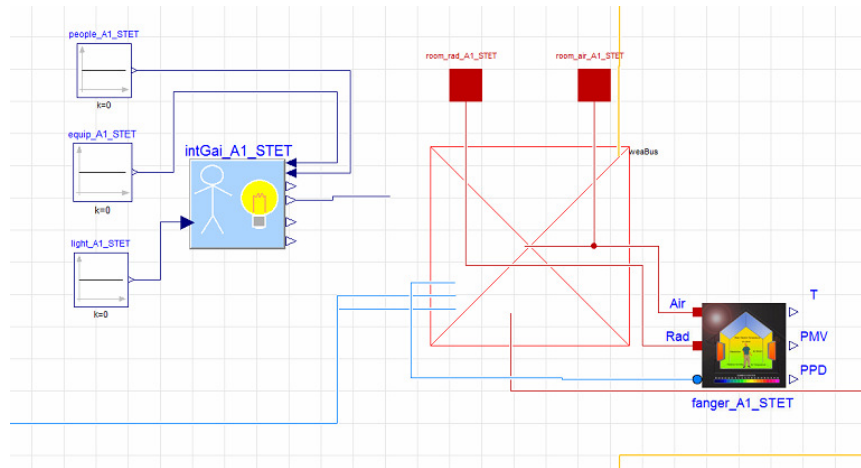


Fig. 61 – Porzione del modello *Dymola* – dettaglio

All'interno degli ambienti, l'apporto del calore è dovuto alla presenza di:

- Persone;
- Attrezzature;
- Illuminazione.

Il componente che raggruppa questi aspetti è l'*intGai*, che si suddivide in altri tre componenti:

- *intGai_people*: è il componente che tiene conto dell'apporto termico dovuto alla presenza di persone. Al suo interno devono essere definiti altri parametri quali:

a) *metabolic_rate*: apporto di calore dovuto al metabolismo di una singola persona. Il numero di persone viene letto tramite un elemento di input collegato con l'esterno;

- b) *area*: corrispondente alla superficie della stanza a cui viene assegnato l'apporto interno;
- *intGai_equip*: e il componente che tiene conto dell'apporto termico dovuto alla presenza di apparecchiature ed anche in questo caso devono essere definiti i seguenti parametri:
 - a) *area*: corrispondente alla superficie della stanza a cui viene assegnato l'apporto interno;
 - b) *pwr* (power consumption): la potenza delle apparecchiature installate all'interno della stanza;
 - *intGai_light*: e il componente che tiene conto dell'apporto termico dovuto alla presenza di corpi illuminanti. I parametri da definire al suo interno sono:
 1. *Nominal Power*: e la potenza nominale dei corpi illuminanti;
 2. *BalLoss*: e la perdita dovuta al ballast;
 3. *nomLux*: sono i lux nominali del corpo illuminante;
 4. *heatPerc*: la percentuale della potenza delle lampade che contribuisce all'apporto di calore;
 5. *lightMF*: il fattore di mantenimento;
 6. *A*: area della stanza

Tutti questi parametri sono contenuti nelle proprietà del modello e sono modificabili attraverso l'ingresso nella specifica maschera:

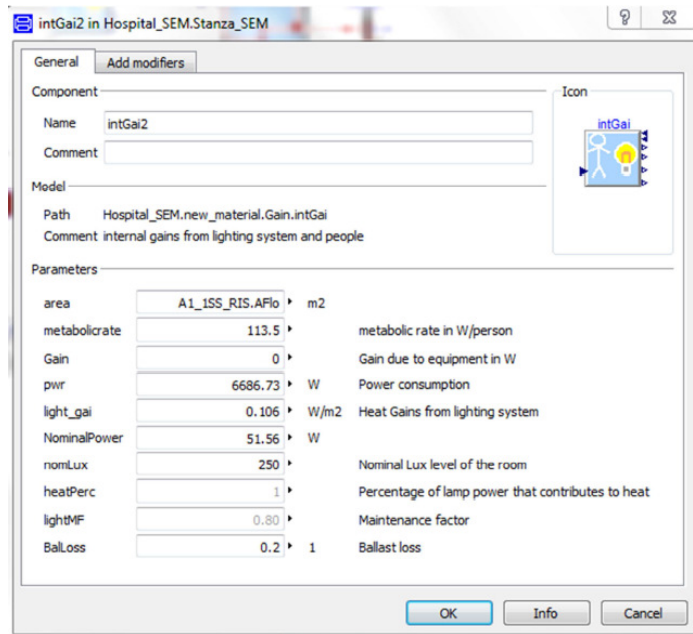


Fig. 62 – Parametri coinvolto nell'*intGai*

I valori da inserire all'interno del componente degli apporti interni vanno certamente calcolati sulla base dei dati raccolti per quanto riguarda il numero di occupanti e sulle informazioni raccolte durante i sopralluoghi effettuati, per quanto riguarda i corpi illuminanti e le attrezzature.

È evidente che, trattandosi di Ospedale, ciascun reparto avrà un numero x di persone, corpi illuminanti e attrezzature diversi dal reparto y , per esempio.

Allora questi dati dovranno poi essere elaborati in funzione dei profili orari ipotizzati durante l'analisi dei consumi e poi applicati all'arco delle 24 ore per poter individuare un unico valore all'interno del componente.

Tuttavia, il programma *Dymola* consente anche di considerare, oltre che le funzioni costanti, anche delle tabelle orarie, per le quali occorre una maggiore elaborazione per cui si potrebbe assegnare ad ogni stanza un numero preciso di persone e un profilo specifico di funzionamento degli apparecchi elettrici.

Nel nostro caso, abbiamo ragionato in termini di costanti, per soffermarci sulla relazione tra le variabili principali coinvolte, come vedremo di seguito.

4.2.2 Topologia della rete

Analizzando il modello, abbiamo isolato i componenti principali:

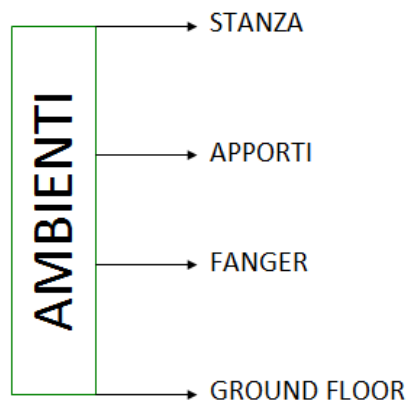


Fig. 63 – Componenti principali considerati

E in un secondo momento abbiamo ulteriormente esplicitato le variabili interne ad ogni singolo componente, come nella Fig. 64 di seguito riportata.

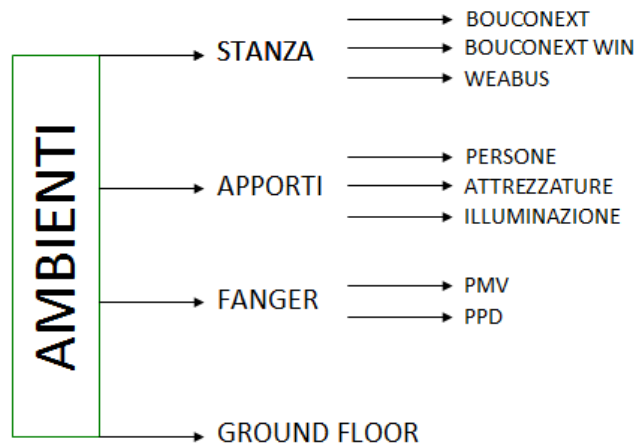


Fig. 64 – Composizione dei principali parametro considerati

Tra questi, quello ritenuto più importante è stato il parametro di *Fanger*, che, come noto, determina il comfort interno, attraverso i valori *PMV* e *PPD*, che devono avere determinati valori affinché il livello di comfort sia considerato adeguato.

Più nello specifico, *il Modello di Fanger vede le persone come soggetti passivi di scambio termico, all'interno di ambienti chiusi verso l'esterno e climatizzati. Tale modello prescrive temperature ottimali pressoché costanti, a parità dei valori di sei variabili indipendenti:*

- temperatura (T_a)
- umidità relativa (U_r)
- velocità dell'aria (v)
- temperatura media¹¹⁴ radiante ($T_{m.rad}$)
- isolamento termico del vestiario (clo)

¹¹⁴ È la media delle temperature superficiali di pareti, solai, finestre e porte di una stanza. Online: <http://www.mygreenbuildings.org>.

- livello di attività metabolica (*met*)

Gli indici di comfort secondo il modello di Fanger sono il **PMV** (Predicted mean vote o Voto Medio Previsto) e il **PPD** (esprime la percentuale di persone insoddisfatte in un determinato ambiente).

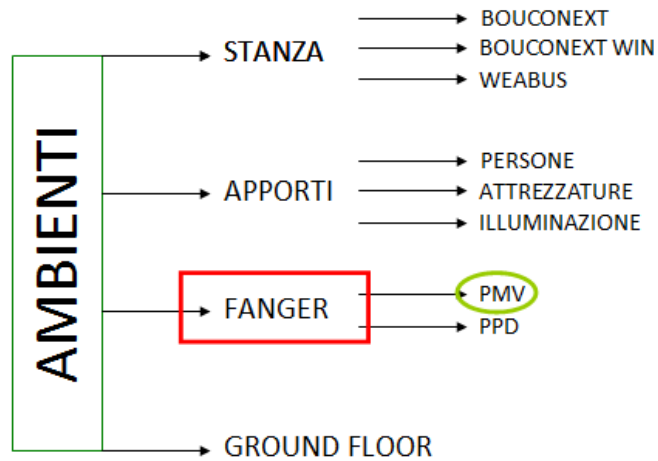


Fig. 65 –Importanza del *PMV* nel modello

Il *PMV* esprime la sensazione media di comfort degli occupanti di una stanza ed è quindi funzione delle sei variabili di cui sopra:

$$PMV = f(Ta, Ur, v, Tm.rad, clo, met)^{115}$$

¹¹⁵ Online: <http://www.mygreenbuildings.org>.

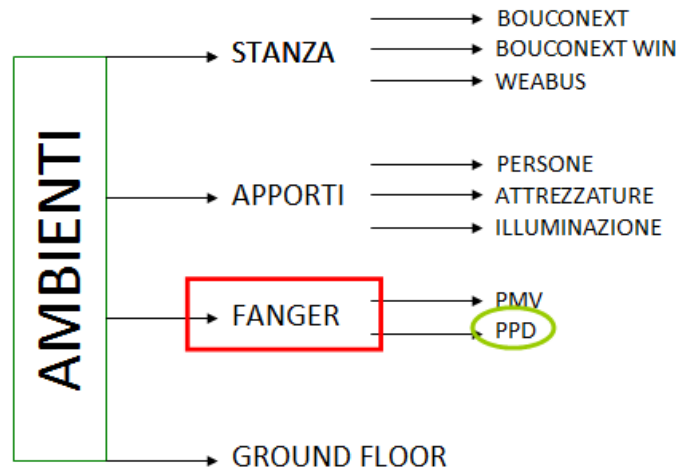


Fig. 66 –Importanza del *PPD* nel modello

Quindi, ragionando sui legami e le relazioni che intercorrono tra questi parametri, abbiamo cercato di rappresentare le priorità e le direzioni delle corrispondenze.

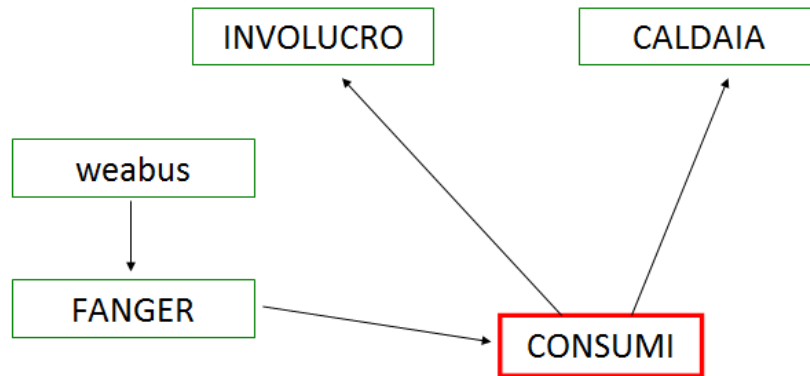


Fig. 67 –Relazione tra macro-componenti del modello

Esplicitando ulteriormente i legami, abbiamo ottenuto il seguente schema.

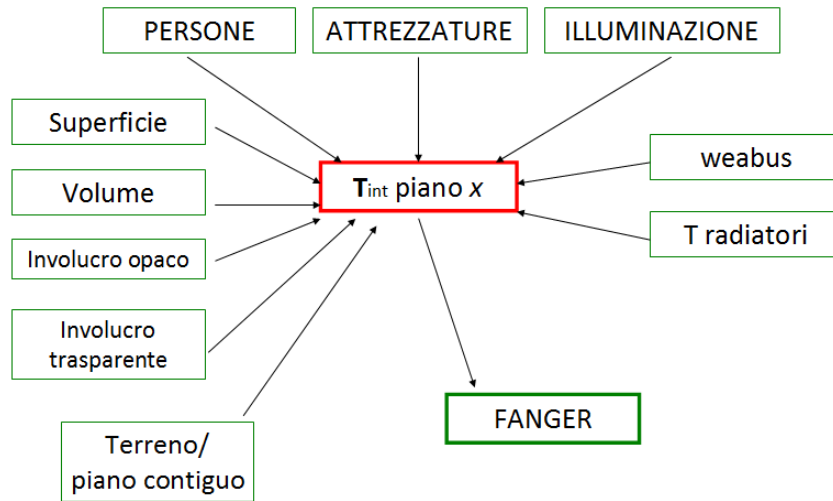


Fig. 68 – Relazioni dirette tra variabili

Da qui, siamo giunti ad elaborare la topologia della nostra rete.

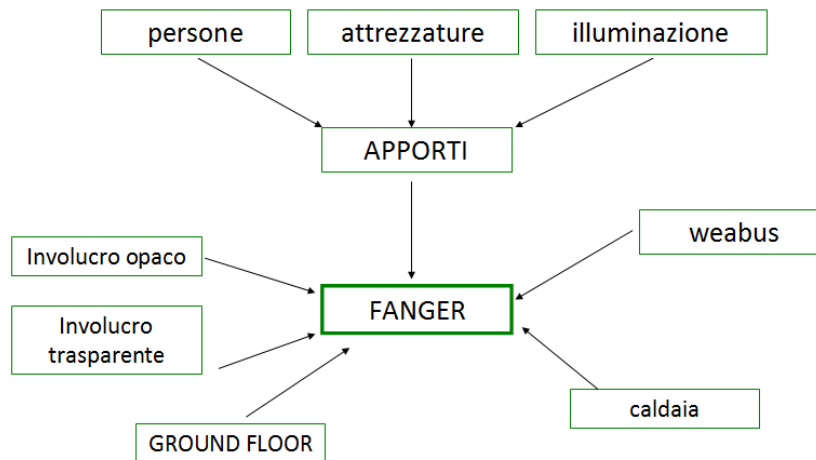


Fig. 69 – Topologia della rete studiata

CONCLUSIONI

E SVILUPPI FUTURI

Il lavoro condotto in questi tre anni e fin qui esposto è stato pensato per mettere in luce il ruolo che la simulazione potrebbe avere in un appalto, in un futuro, si spera prossimo.

Nel caso di un appalto di realizzazione ex novo di un edificio, il ruolo della simulazione è facilmente comprensibile e immaginabile, mentre, nel caso di un appalto di manutenzione e/o gestione, il collegamento non pare certo immediato.

Il fatto è che, in uno scenario nazionale ed internazionale “verde”, come quello che oggi abbiamo intorno, vista la costante attenzione per l’ambiente e l’abbattimento dell’inquinamento e delle emissioni in atmosfera, il problema della gestione dell’esistente (oggetto del *Facility Management*) risulta una bella sfida da compiere.

Ecco allora che, grazie alla digitalizzazione del patrimonio esistente ed alla implementazione dei modelli virtuali con tutte le informazioni in tempo reale, si potrebbe compiere un bel passo avanti verso la buona riuscita di una ottimizzazione degli usi e dei consumi, ottenendo degli indubbi benefici sia da un punto di vista ambientale che economico.

Tutto questo, attraverso l’ausilio della simulazione, potrebbe diventare realtà già dalle prime fasi dell’appalto.

Lo Studio che abbiamo affrontato ha voluto mettere in luce come, per una riuscita migliore delle procedure d’appalto, le informazioni contenute in un modello virtuale, dinamico e ridotto, potrebbero rappresentare la chiave di lettura per la programmazione degli interventi e, soprattutto per prendere

decisioni in modo puntuale e specifico, baste su esigenze concrete e oggettive.

Certo, occorreranno degli sforzi non da poco per ciò che concerne la formazione degli operatori coinvolti, poiché non sempre le tecnologie di simulazione si presentano con un'interfaccia di semplice lettura. Ma si ritiene che i tempi siano maturi per adottare questo impegno e si è certi che la strada che abbiamo davanti vedrà la simulazione alla base già della fase decisionale per gli interventi che dovranno essere attuati, nonché per la gestione degli stessi.

Lo sviluppo di questo Studio potrebbe portare a procedere con le simulazioni di edifici esistenti, magari in base al tipo edilizio, vetustà, destinazione d'uso, ecc..., in modo da creare una sorta di database generici di modelli generali, declinabili in un secondo momento in base alla specifiche esigenze. Modelli che potrebbero essere implementati, all'occorrenza, con le informazioni di ogni singolo edificio su cui si vorrà intervenire.

BIBLIOGRAFIA

Agosti Diana, Capo Dipartimento Politiche Europee. Seminario “*Appalti pubblici e nuove direttive europee*”, Roma, 13.02.2015

Bilato S., *Acquisti Verdi – Le Amministrazioni Pubbliche per l’Ambiente*; Supplemento n.1 a Gaia n.24 / 2005 - trimestrale edito dal Movimento dei Consumatori.

Calenda C., Buonauro C., Armenante F., *Contenzioso contrattuale della P.A._ mezzi di tutela e risarcimento*. Maggioli Editore, 2012

Prof. Arch. Carbonari Antonio, IUAV Venezia. Dispensa Corso di Studi: Innovazione Tecnologica e Design per i Sistemi Urbani e il Territorio, Insegnamento: *Audit e progettazione energetica*. a.a. 2013/2014. Tratto dalla Tesi di Laurea di Alberto Guidolin (A.A. 2011-2012)

Cirafisi A., Lombardo S., *Manuale dei Lavori Pubblici*. Maggioli Editore, 2012

Ciribini Angelo Luigi Camillo, Mastrolembo Ventura Silvia, Bolpagni Marzia “*La validazione del contenuto informativo è la chiave del successo di un processo BIM-based*”. Online Agenzia delle entrate

Comunicazione n.400 del 16 giugno 2008 – COM (2008) 400

Comunicazione n.397 del 16 giugno 2008 – COM (2008) 397

Comunicazione della Commissione Europea n. 15/2011 del 27.01.11 – LIBRO VERDE sulla modernizzazione della politica dell’UE in materia di appalti pubblici

Costa Giulia, Baciocchi Renato, *“L’ecobilancio (LCA): descrizione della metodologia e applicazione ad un caso studio ad un caso studio”*, Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Roma “Tor Vergata”. Dinamica degli inquinanti, a.a. 2009-2010

Costantini S., *Il subappalto nelle recenti direttive europee in materia di appalti pubblici e concessioni*. Online

Cozzio M., *Le nuove direttive appalti e l’accesso delle piccole e medie imprese al mercato degli appalti pubblici*. Online

D’Auria S. *“Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico”*, Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano, 2013.

Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n.102

Decreto Legislativo 163/2006

ENEA. Guida ai Contratti di Prestazione Energetica negli Edifici Pubblici. (2013).

D.M. 10/2013 (G.U. n. 102 del 3 maggio 2013)

Direttiva 71/305/CE

Direttiva 2004/18/CE

Direttiva 2014/24/UE

Fieschi M. (a cura di) 2004 – *Le forniture verdi in Italia* – I libri di Ambiente & Sicurezza, Il Sole 24 Ore, marzo 2004

Garagnani, S.; Luciani, S.; Mingucci, R., *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, in: DISEGNARECON, Rivista del Dipartimento di Architettura e Pianificazione territoriale dell'Università di Bologna, giugno 2011

Giuliani Martina, Tesi di laurea, Ancona

Lombardo F., Farì A., *Appalti verdi: i criteri ambientali nel diritto comunitario degli appalti pubblici*. Online

Massari A., Greco M., *Gli appalti pubblici dopo le recenti novità e il decreto del fare*. Maggioli Editore, 2013

Miguidi M., *Subappalto e subcontratti pubblici*. Maggioli Editore, 2013

Orgiano B., Quaquero E., Basciu M. *“Building Process Management in Green Public Procurement”*. ISARC 2015

Regolamento di attuazione del Codice dei Contratti, D.P.R. 207/2010

Sambataro Chiara, Tesi *“Appalti pubblici e criteri ecologici: l’incidenza delle pratiche di Green Public Procurement negli acquisti delle Pubbliche Amministrazioni”*. Online

Slanzi Debora *“Reti bayesiane: approcci per la selezione del modello”*, 31 dicembre 2015. Università degli Studi di Padova, Dottorato di Ricerca in Statistica.

Sparavigna Ing. Lucia *“Un’applicazione delle reti bayesiane nell’individuazione delle cause di incidente”*. Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Reti Civili e dei Sistemi Territoriali, università degli Studi di Napoli “Federico II”, 2005.

Prof. Arch. Stanghellini Stefano, collaboratrice: phd Arch. Valeria Ruaro –
Lezione: *Valutazione economica del progetto_ Life cycle cost analysis con
esempi applicativi*. IUAV, Venezia.

Torchio N., *Le nuove direttive europee in materia di appalti e concessioni*.
Seminario “Appalti pubblici e nuove direttive europee”, Roma, 13.02.2015.

Verso una crescita verde - Una sintesi per i responsabili politici, Maggio
2011. Online

SITOGRAFIA

www.agenziaentrate.gov.it

www.anticorruzione.it

www.archives.gov/federal-register/executive-orders/1998.html

www.comune.cagliari.it

www2.lbl.gov

www.archicultura.it

www.blog.array-architects.com

www.diprist.unimi.it/

www.dofware.com

www.ec.europa.eu/europe2020/index_it.htm

www.enea.it

www.epa.gov/

www.eur-lex.europa.eu/

www.euoparl.europa.eu/

www.gpp2020.eu/

www.greenreport.it

[www.iclei.org/.](http://www.iclei.org/)

www.infobuildenergia.it

www.ithinkbim.net

www.lineavcp.it

www.minambiente.it

www.mygreenbuildings.org

www.oecd.org/greengrowth/48536972.pdf

www.orpheuspublicaffairs.eu

www.osservatorioappalti.unitn.it

www.pattodeisindaci.eu

www.politicheeuropee.it

www.professioni-impres24.ilsole24ore.com

www.regione.sardegna.it/sardegnaconpraverde

www.rtc-cremona.it

[http://www.southwest-environmental.co.uk.](http://www.southwest-environmental.co.uk)

www-unep.org

CONVEGNI & PUBBLICAZIONI

Luglio 2014

B. Orgiano, *“Il colore verde negli Appalti Pubblici”*

Atti del Convegno Nazionale ISTEA 2014: ENERGIA, SOSTENIBILITA' E DEMATERIALIZZAZIONE OPERATIVA. La ricerca scientifica sulla Produzione Edilizia nell'era della digitalizzazione e delle nuove sfide ambientali nel Settore delle Costruzioni, Bari (Italia), 2014, Maggioli (ISBN 9788891604361)

Settembre 2014

B. Orgiano, *“The colour green in Public Procurement”*

Atti del Convegno internazionale Wessex Institute: Eco-Architecture 2014_5th International Conference on Harmonisation between Architecture and Nature, Siena (Italia), 2014, WIT Press, Italy (ISBN 9781845648220)

Giugno 2015

M. Basciu, B. Orgiano, E. Quaquero *“Building Process Management In Green Public Procurements”*

Convegno internazionale ISARC 2015: 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining_ Connected to the Future, Finlandia, 2015 - Paper per esposizione al Convegno (ISBN 9789517585972)

Giugno 2015

C. Argiolas, M. Basciu, B. Orgiano, E. Quaquero

“The Effectiveness Of An Intelligent System For Real-Time Hygrothermal Management In Low Energy Buildings”

Convegno internazionale ISARC 2015: 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining_ Connected to the Future, Finlandia, 2015 - Paper per esposizione al Convegno (ISBN 9789517585972)