



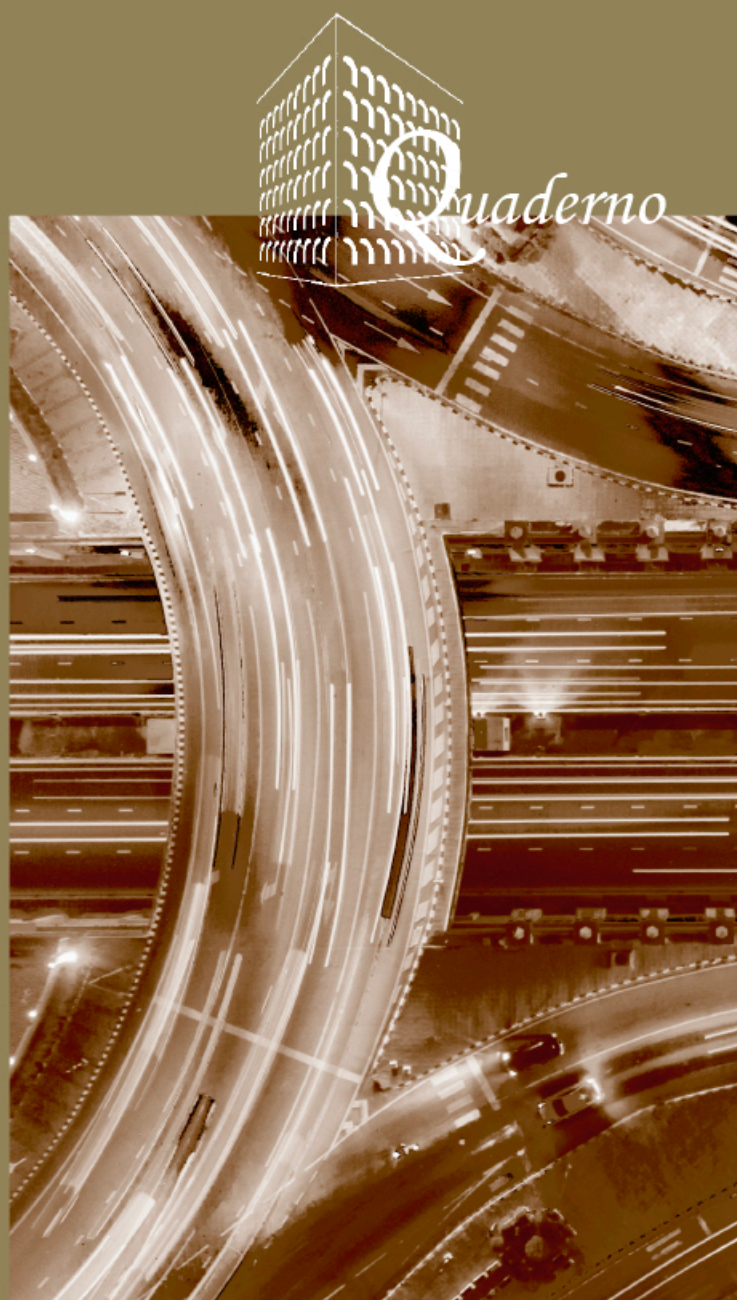
io
roma

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

N 1/2023

Quaderno

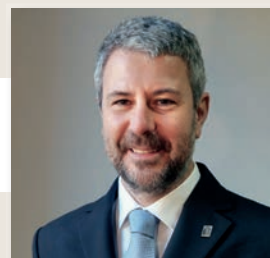
GRAFITE - SICUREZZA - SANITÀ - INDUSTRIA 4.0



In copertina:
00000000
0000000

Il saluto del Presidente

Ing. Massimo Cerri



DIGITAL HEALTH

La digital health un settore a largo spettro che richiede il ruolo centrale e fondamentale dell'ingegneria. È il punto di connessione tra tecnologie digitali e i settori riguardanti la cura della persona, dalla salute personale al benessere, all'assistenza sanitaria.

Negli ultimi anni noi ingegneri abbiamo collaborato con ricerca scientifica, medici e imprenditori per sviluppare soluzioni hardware e software, visibili nella telemedicina, nel fascicolo sanitario elettronico, nella ricetta elettronica, nei digital therapeutics legati anche all'intelligenza artificiale.

Abbiamo messo le basi per un ecosistema completo di sanità digitale.

Nel 2022 la spesa per la Sanità digitale in Italia è stata pari a 1,8 miliardi di euro, con una crescita del 7% rispetto al 2021, poiché è aumentato il bisogno di servizi innovativi, come il supporto a domicilio, i dispositivi indossabili per il controllo dei parametri clinici, le app per la salute. Al momento c'è un fervente interesse verso le tecnologie di realtà virtuale o aumentata, e verso gli assistenti vocali che forniscono informazioni e supporto in ambito salute.

L'innovazione tecnologica può contribuire, quindi, allo spostamento del fulcro dell'assistenza sanitaria dall'ospedale al territorio, attraverso modelli assistenziali innovativi incentrati sul cittadino e facilitando l'accesso alle prestazioni su tutto il territorio nazionale. Invece di spostare le persone, si avvicina la sanità al paziente.

La digitalizzazione dei processi permette la raccolta di un quantitativo enorme di dati, che nel tempo potrebbero essere utili sia per lo sviluppo della ricerca su determinate malattie sia per calibrare e proporzionare l'offerta sanitaria del SSN sulle reali esigenze del territorio.

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), la cui Missione Salute ha fondi per € 15,63 miliardi, ha presentato le quattro misure per la Digital Health. Si tratta di: Ecosistema dei dati sanitari (EDS); Piattaforma Nazionale di Telemedicina (piattaforma ufficiale finalizzata alla raccolta e organizzazione di tutti i servizi di telemedicina svolti sul territorio nazionale); Piattaforme verticali di telemedicina (piattaforme verticali, così che le regioni possano sviluppare applicazioni pilota, tele-consulti, telecontrolli e telemonitoraggi); competenze di sanità digitale (formazione a tutti gli operatori). In questo quadro è fondamentale il ruolo dell'ingegnere per più aspetti. L'ingegneria ha il compito di creare da una parte i sistemi e dall'altra di renderli interoperativi, facendoli dialogare tra loro.

Si può scegliere di centralizzare o decentralizzare le informazioni, ma l'obiettivo deve essere quello di regolare il flusso informativo definendo dei canali di entrata e di uscita. Solo in questo modo sarà possibile allineare tutti i depositi dati e avere sempre un quadro chiaro dell'andamento della medicina digitale.

E allo stesso tempo l'ingegneria ha il ruolo di progettare la cyber sicurezza, fondamentale sia per rispettare la privacy ed evitare che dati sanitari vengano rubati sia per garantire la sicurezza dei pazienti ed eludere che qualcuno possa interferire con le cure.

Ing. Massimo Cerri
Presidente
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma



L'Editoriale

Ing. Maria Elena D'Effremo



Care Colleghe e Colleghi,
prendendo spunto da un tema richiamato in questa prima uscita 2023 del Quaderno IO Roma, vorrei porre l'attenzione sull'importanza della gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.

Il tema della sicurezza stradale è un tema sociale serio, importante, che si ripercuote in modo incisivo sulla nostra quotidianità.

L'attuale Governo, con l'approvazione in Consiglio dei Ministri del disegno di legge sulla sicurezza stradale, ha ridato priorità all'inasprimento e rafforzamento delle misure di contrasto alla guida sotto effetto di droghe e alcool, alla guida con cellulare, nonché ha previsto una serie di altre misure importanti a sostegno della sicurezza stradale.

Il tema della sicurezza stradale è tuttavia anche un tema progettuale, e in quanto tale, come Ingegneri, richiede la nostra massima attenzione, impegno e professionalità.

A livello Europeo l'obiettivo a lungo termine è quello di puntare a zero vittime su strada al 2050 - "Vision zero".

A livello globale, l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, sottoscritta il 25 settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri delle Nazioni Unite e approvata dall'Assemblea Generale dell'ONU, comprende tra i 17 obiettivi di per lo Sviluppo Sostenibile - Sustainable Development Goals, SDGs - l'obiettivo "Salute e Benessere" che ha come target n.3.6 il seguente "Entro il 2020, dimezzare il numero di decessi a livello mondiale e le lesioni da incidenti stradali", e l'obiettivo "Città e Comunità Sostenibili" che ha come target n.11.2 il seguente "Entro il 2030, fornire l'accesso a sistemi di trasporto sicuri, sostenibili, e convenienti per tutti, migliorare la sicurezza stradale, in particolare ampliando i mezzi pubblici, con particolare attenzione alle esigenze di chi è in situazioni vulnerabili, alle donne, ai bambini, alle persone con disabilità e agli anziani".

Le agende hanno ritmi molto serrati, riusciremo a rispettarli?

Sicuramente fondamentale è riuscire ad avere consapevolezza: dove ci collochiamo noi come Ingegneri? Noi ingegneri, che oltre a essere fruitori delle infrastrutture ne siamo anche “creatori”, possiamo contribuire alla riduzione dei rischi?

Tutte le normative ci guidano in tale direzione.

La Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture, recepita a livello nazionale con il D.Lgs. n.35/2011 si prefiggeva l'obiettivo di migliorare il livello di sicurezza delle strade appartenenti alla rete stradale Transeuropea, essa ha previsto l'introduzione di figure di controllo nelle differenti fasi di progettazione, vincolando l'approvazione dei progetti all'esplicamento dei controlli, e prevedendo controlli anche sulla rete esistente.

La Direttiva Europea è stata aggiornata nel 2019 (2019/1936/CE) prevedendo l'ampliamento dei controlli di sicurezza non solo alla rete stradale Transeuropea ma a tutte le “Autostrade, Strade extraurbane principali e strade extraurbane che hanno usufruito di finanziamenti a valere su risorse stanziati dall'Unione Europea, siano esse in fase di pianificazione, di progettazione, in costruzione o già aperte al traffico”.

Nel 2025 è previsto un'ulteriore estensione del campo di applicazione a tutte le viabilità di interesse nazionale.

E allora, siamo pronti a questa ulteriore sfida?

Non mi resta che augurarvi buona lettura, ricordandovi che nell'ottica di un approccio più agile e mirato alla condivisione, anche IO Roma si è dotata di una pagina LinkedIn “IO Roma Rivista dell'Ordine Ingegneri della provincia di Roma” che vi invito a seguire.

Ing. Maria Elena D'Effremo
Direttrice Editoriale



Quaderno

Direttrice responsabile

Marialisa Nigro

Direttrice editoriale

Maria Elena D'Effremo

Comitato di redazione**Sezione A**

Massimo Cerri

Silvia Torrani

Micaela Nozzi

Stefania Arancio

Fabrizio Averardi Ripari

Michele Colletta

Alessandro Fuschiotto

Marco Ghimenti

Giorgio Martino

Giovanni Nicolai

Paolo Reale

Mauro Villarini

Sezione B

Alfredo Simonetti

Amministrazione e redazione

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma

Tel. 06 4879311 - Fax 06 487931223

Direttore creativo e progettazione grafica

Tiziana Primavera

Assistenza Editoriale

Leonardo Lavallo

Antonio Di Sabatino

Flavio Cordari

Referente FOIR

Francesco Marinuzzi

Stampa

Press Up

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma

www.ording.roma.it

segreteria@ording.roma.it

editoriale@ording.roma.it

Finito di stampare: luglio 2023

Il Quaderno IOROMA è una estensione alla rivista IOROMA

La Direzione rende noto che i contenuti, i pareri e le opinioni espresse negli articoli pubblicati rappresentano l'esclusivo pensiero degli autori, senza per questo aderire ad esse.

La Direzione declina ogni qualsiasi responsabilità derivante dalle affermazioni o dai contenuti forniti dagli autori, presenti nei suddetti articoli.



MISTO

Carta da fonti gestite
in maniera responsabile

FSC® C109382

GLI EDITORIALI

Il saluto del Presidente <i>di Massimo Cerri</i>	1
L'Editoriale <i>di Maria Elena D'Effremo</i>	4

GLI ARTICOLI

La gestione della grafite irraggiata nei reattori nucleari <i>G. Bava</i>	8
Il Direttore Tecnico delle Imprese di Costruzioni <i>M. Sovera e L. di Spes</i>	22
Implementazione del D.LGS.35/11 per i controlli di sicurezza sulla progettazione stradale <i>A. Griffa</i>	36
Competenze innovative: insourcing e outsourcing in sanità <i>F. Covino</i>	48
La produzione aerospaziale: il "best practice" e la rivoluzione dell'industria 4.0 <i>P. Ladisa</i>	60

L'AREA WEB DEL QUADERNO E DELLA RIVISTA	76
---	----



a cura di:
Ing. Giovanni Bava

Commissione:
Gestione impianti
nucleari

Rivisto da:
Ing. Alberto Taglioni
Responsabile
dell'Area Nucleare



A close-up photograph of irradiated graphite. The material is dark, almost black, with a rough, crystalline texture. Numerous small, light-colored, circular features are visible on the surface, likely due to the irradiation process. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows, emphasizing the irregular shape and surface details of the graphite fragments.

LA GESTIONE DELLA GRAFITE IRRAGGIATA NEI REATTORI NUCLEARI

Introduzione

La presente nota segue una precedente dedicata alla gestione del combustibile nucleare esaurito. Entrambi gli argomenti sono stati selezionati per il rilievo che acquisiscono nella particolare fase di scelte che sta vivendo il nostro Paese in materia di gestione dei rifiuti radioattivi, in relazione alle prospettive di smaltimento di particolari materiali derivanti dalla disattivazione degli impianti nucleari ed ai fini del progetto del Deposito Nazionale per il combustibile esaurito ed i rifiuti radioattivi. In particolare, la grafite è stata utilizzata in Italia per il funzionamento del reattore della centrale nucleare di Latina (vedere Figura 1 tratta dal sito web della Sogin S.p.A.), in fase di decommissioning dopo essere stata fermata nel 1987, e la relativa destinazione risulta essere attualmente oggetto di valutazione.

Una completa illustrazione di tutte le opzioni disponibili per la gestione della grafite irraggiata richiederebbe una trattazione molto estesa e, comunque, sono reperibili nel web vari rapporti esaustivi ed aggiornati sulla materia per eventuali approfondimenti; lo scopo di questa nota è quello di fornire un quadro sintetico delle numerose tematiche rilevanti connesse ed elementi informativi sulla situazione attuale. Gli argomenti qui esposti sono tratti da pubblicazioni agevolmente consultabili nel web, nonché da esperienze rese disponibili nell'ambito della Commissione Gestione Impianti Nucleari. Si ringrazia l'ing. Giuseppe Canzone, della Commissione Ricerca e Reattori Innovativi, per i preziosi suggerimenti forniti.

Nella nota, gli isotopi sono indicati mediante il simbolo dell'elemento seguito dal numero di massa¹.



Figura 1
Centrale di Latina,
vista esterna

L'utilizzo della grafite negli impianti nucleari

La grafite, uno degli stati allotropici del carbonio, si presenta in strutture amorphe, porose, costituite da porzioni di reticoli cristallini esagonali disposti a strati. La grafite nucleare, tipicamente, viene ricavata dal coke petrolifero o metallurgico oppure da antracite, utilizzando un legante a base di pece di catrame di carbone, attraverso lavorazioni che le conferiscono un livello di purezza e densità elevati, nonché proprietà per quanto possibile isotrope [5] [14].

In natura, il carbonio è costituito principalmente da due isotopi stabili, primariamente con numero di massa 12 e, in minima parte (circa 1,11%), con numero di massa 13. I nuclei di carbonio, in presenza di un flusso di neutroni, attraverso urti elastici, riescono a rallentare quelle particelle subatomiche, assorbendone solo una parte molto limitata e rendendo possibile la realizzazione di reazioni di fissione a catena controllate. L'assorbimento dei neutroni, sia da parte del carbonio

stesso che delle impurezze di azoto o di ossigeno presenti², dà luogo alla formazione dell'isotopo radioattivo C14, caratterizzato da tempi di dimezzamento di 5730 anni. Detto isotopo si trova anche nell'ambiente in quanto prodotto continuamente dall'interazione dei raggi cosmici con l'azoto presente nell'atmosfera. Esso decade con l'emissione di un elettrone, tornando allo stato stabile di azoto 14 e viene usato per la datazione di campioni di origine organica. Si deve rilevare che C14 viene immesso in atmosfera anche nel corso dell'esercizio degli impianti nucleari a gas - grafite (circa una tonnellata di refrigerante CO₂ al giorno per un tipico impianto [8]), in maniera controllata, nonché attraverso il bruciamento di carbone nelle centrali elettriche (solo in Cina circa 10 milioni di tonnellate al giorno [1]), con conseguente liberazione del C14 che era presente nel combustibile fossile.

Un interessante confronto tra le sostanze che possono essere utilizzate come moderatore di neutroni è offerto dalla Tabella 1 [14], che evidenzia le diverse capacità di rallentamento dei neutroni ($\xi \Sigma_s$)³, separatamente o rapportate al tasso di assorbimento degli stessi ($\xi \Sigma_s / \Sigma_a$). Dall'esame dei valori assunti da quest'ultimo parametro, emerge che i migliori moderatori sono costituiti dall'acqua pesante e dalla grafite.

La scelta del moderatore da adottare per gli specifici impianti viene poi condizionata dalla disponibilità dei materiali e dalle altre relative caratteristiche.

Dunque, per il comportamento in presenza dei neutroni, nonché per le sue proprietà strutturali, la grafite è utilizzata come moderatore in alcuni reattori termici. Come già evidenziato, essa è in grado di rallentare i neutroni ad alte energie prodotti dalle fissioni, portandoli ad energie utili per produrre efficacemente nuove fissioni nel combustibile nucleare. Tra le proprietà particolarmente favorevoli della grafite ai fini del suo utilizzo nel reattore vi sono:

- elevata conducibilità termica, elevata resistenza a shock termico;
- basso coefficiente di espansione termica;

- resistenza strutturale non particolarmente influenzata dalla temperatura;
- temperatura di fusione/sublimazione elevata (intorno ai 3600°C);
- scarsa influenza delle radiazioni beta e gamma sulla struttura molecolare.

La centrale nucleare di Latina, come gli altri impianti a gas grafite della prima generazione designati come *Magnox*⁴, funzionava utilizzando uranio naturale metallico come combustibile, grafite come moderatore e CO₂ come refrigerante. Quest'ultima, riscaldata nel reattore, passava attraverso scambiatori di calore che trasferivano l'energia all'acqua, facendola evaporare. Il vapore prodotto veniva quindi mandato in turbogeneratori per dar luogo alla generazione di energia elettrica.

Il moderatore doveva essere gestito con particolari attenzioni, evitando che si potessero creare problemi legati alla formazione di polveri di carbonio, alle perturbazioni indotte nel reticolo cristallino, all'accumulo, principalmente a seguito dell'impatto di neutroni veloci, di energia di deformazione nella struttura cristallina che, in particolari condizioni, può essere rilasciata dando luogo a surriscaldamenti indesiderati (effetto Wigner).

Anche gli impianti RBMK, di progettazione sovietica, utilizzano la grafite come moderatore, ma come refrigerante impiegano l'acqua in condizioni di ebollizione, che scorre in canali adeguatamente segregati. I primi reattori inglesi utilizzavano acqua e, successivamente, aria come refrigerante, prima di adottare la CO₂.

Vi sono altre tipologie di impianti nucleari⁵, di carattere prototipico o di generazioni più recenti, che hanno utilizzato o utilizzano carbonio, ad esempio in sfere contenenti le materie fissili⁶, refrigerate con elio ad alte temperature (HTGR⁷). Questi ultimi reattori producono annualmente rilevanti quantità di rifiuti radioattivi carboniosi. Nei reattori, la grafite può essere utilizzata anche nella funzione di schermo da radiazioni (arricchita con boro) o di riflettore atto, quest'ultimo, ad evitare che si disperdano dal reattore neutroni in numero troppo elevato, consen-

Moderator	ξ	$\xi \Sigma_s, \text{ cm}^{-1}$	$\xi \Sigma_s / \Sigma_a$	$\rho, \text{ g/cm}^3$
Graphite	0.158	0.063	200	1.65
Be	0.206	0.016	150	1.84
BeO	0.17	0.11	180	2.80
H ₂ O	0.93	1.5	70	1.00
D ₂ O (99.75 %)	0.51	0.18	21,000	1.10

Tabella 1
Proprietà dei più comuni moderatori usati

MAIN DATA OF GRAPHITE STACK	
Dimensions	Diameter 14.2m, height 9.4 m, volume $\approx 1300\text{m}^3$
Moderator mass	1258 t
Reflector mass	807 t
Total number of bricks	46574 divided into 5 main types, 11 layers
Type	<u>Moderator</u> : PGA graphite, bulk density 1.75 g/cm^3 , scattering cross section 4.0 mb <u>Reflector</u> : PGA graphite, bulk density 1.64 g/cm^3 , scattering cross section 4.5 mb

Tabella 2

do il recupero, ai fini della produzione di nuove fissioni, di gran parte dei neutroni incidenti su di esso. La funzione di riflettore era svolta, ad esempio, dalla grafite presente nel reattore sperimentale RB3 di Monte Cuccolino (Bo), già disattivato nel 2013. Tale reattore era utilizzato per finalità di ricerca dall'ENEA (in precedenza dal CNEN), funzionava con uranio naturale (o, in alcune configurazioni, leggermente arricchito) e con acqua pesante, fu smantellato negli anni 2013 e 2014 ed era dotato di un riflettore di grafite avente un peso di circa 50 tonnellate [17]. La gestione di detto riflettore costituisce certamente una utile esperienza per le future attività.

Nella Tabella 2 sono riportati i dati principali della struttura di grafite dell'impianto di Latina [10] [15].

La grafite irraggiata

La grafite presente nel reattore, a seguito dell'attivazione dei materiali costituenti (principalmente l'isotopo C13 del carbonio), causata dal flusso di neutroni, e delle impurezze presenti⁸, nonché attraverso l'inglobamento di prodotti di fissione provenienti da elementi di combustibile fessurati, diviene radioattiva e deve essere gestita con particolari attenzioni; gli effetti dell'irraggiamento (non solo neutronico), in parte già evidenziati in precedenza, si estendono anche alla distorsione geometrica ed incrinatura di alcuni blocchi di grafite, alla modifica delle proprietà di reazione al calore, al già descritto fenomeno di accumulo di energia (effetto Wigner), alla variazione delle proprietà meccaniche ed alla perdita di massa conseguente alla ossida-

zione, principalmente radiolitica⁹ (in presenza di CO_2). In generale, il comportamento della grafite nel reattore varia in funzione del flusso neutronico e della temperatura e presenta diverse particolarità, alcune delle quali sono ancora oggetto di studio.

L'importanza dell'entità del flusso neutronico incidente si può rilevare, ad esempio, dall'esperienza dello smantellamento del riflettore del reattore RB3 che ha funzionato per solo 2000 ore per le attività sperimentali [9], con una fluensa neutronica complessiva limitata, pari a circa $2,25 \times 10^{14}$ neutroni/ cm^2 (corrispondente al funzionamento di un reattore di potenza per qualche secondo)¹⁰, per cui la grafite in quel caso ha subito attivazioni trascurabili.

Tra le impurezze spesso presenti nella grafite utilizzata, può esservi il cloro 35, adoperato nelle fasi di produzione e purificazione, per rimuovere inclusioni metalliche, attraverso la formazione di cloruri volatili; quell'elemento, assorbendo un neutrone, si trasforma nell'isotopo con numero di massa 36¹¹, che manifesta particolare propensione a diffondere nella geosfera e nella biosfera, è radioattivo, con tempo di dimezzamento superiore a 300000 anni, e decade emettendo un elettrone o un positrone. Altre impurezze sono eliminate, per quanto possibile, nelle prime fasi di purificazione della grafite (fino a meno di 5 ppm o ancora meno nel caso del boro, forte assorbitore neutronico).

Un elenco di impurezze riscontrate nella grafite non irraggiata dell'impianto di Latina, mediante spettrometria di massa ICP MS, è presentato nella Tabella 3 [2].

	Fe	V	Ca	Ni	Co	Mn	Sb	Cd	Eu
$\mu\text{g/g}$	113.9	2.8	377.5	21.9	8.8	1.9	58.4	4.0	1.7

Tabella 3

In generale, i principali isotopi radioattivi che si possono trovare nella grafite irraggiata proveniente dal reattore, oltre ai già citati C136 e C14, sono [5]:

- radionuclidi, generati a partire da prodotti di corrosione ed altre impurezze, quali Ca42, Fe55, Ni59 e 63, Co60, Ag110m, Cd109;
- prodotti di fissione quali Sr90, Zr93, Tc99, Pd107, Cd113m, Sn121m, I129, Ba133, Cs134 e 137, Pm147, Sm151, Eu152, 154 e 155, Ce144;
- limitate quantità di elementi transuranici quali Pu238, 239 240 e 241, Am241, Am243, Cm242, 243 e 244 rilasciati da elementi di combustibile fessurati o derivanti da tracce di uranio presenti nella grafite o sulle superfici delle camicie del combustibile.

Si è osservato che le profondità in cui gli attinidi possono essere presenti nei blocchi di grafite prospicienti il combustibile raramente superano i due millimetri, mentre la formazione di C14 ha luogo generalmente nei primi cinque millimetri [7] [11].

Molti dei radioisotopi presenti hanno tempi di dimezzamento inferiori a poche decine di anni, quindi i tempi di attesa, prima di procedere allo smantellamento del reattore, possono rendere tale operazione un po' più agevole. Molti altri, invece hanno tempi di dimezzamento piuttosto lunghi (es. transuranici, C14, C136, Cs135). Il massimo beneficio nel procrastinare l'estrazione dal reattore, derivante dal decadimento dei radioisotopi, è stato stimato collocarsi intorno ai 130 anni dopo la fermata del reattore [12], ferma restando la necessità di assicurare un adeguato contenimento e di evitare ogni forma di compromissione delle successive attività di smantellamento. Se si procede in tempi più brevi allo smantellamento del reattore, optando comunque per un differimento dei successivi interventi di trattamento della grafite, parti dell'intero inventario possono essere riutilizzate dopo periodi di tempo più limitati, quando in esse si raggiungono livelli di attività particolarmente bassi. Il rinvio delle attività di trattamento, talvolta, può essere giustificato anche dalla necessità di disporre di elementi più precisi sui criteri di accettazione specifici del deposito di smaltimento [12] e dalla stima dei tempi necessari per disporre di tale deposito. In Italia, per l'impianto di Latina, risultano essere previsti tempi di attesa di 40 – 50 anni, conservando la grafite nel reattore [6].

L'andamento nel tempo dell'inventario di alcuni dei principali radionuclidi presenti nella grafite irraggiata, derivante da studi effettuati negli anni '90 su reattori inglesi di tipo Magnox, è presentato in Figura 2 [12].

La varietà di radioisotopi presenti rende particolarmente difficoltosa la completa caratterizzazione della grafite irraggiata e in taluni casi, ove possibile, è necessario ricorrere a fattori di correlazione rispetto ai radioisotopi presenti più facilmente misurabili; tali fattori di correlazione si possono ottenere attraverso valutazioni specifiche per il dato reattore (es. in base alla storia operativa), anche utilizzando strumenti di calcolo adeguatamente validati, utili per stimare i relativi meccanismi di generazione.

A seconda della provenienza e delle lavorazioni cui è stato sottoposto il materiale, della posizione o della funzione nel reattore (moderatore, schermo etc.) e della storia operativa (es. eventuali perdite anomale dal combustibile) i radioisotopi presenti e le concentrazioni di attività nei blocchi di grafite possono differenziarsi notevolmente, con attività specifiche che, per il solo C14, possono essere dell'ordine dei 50 TBq per tonnellata [5].

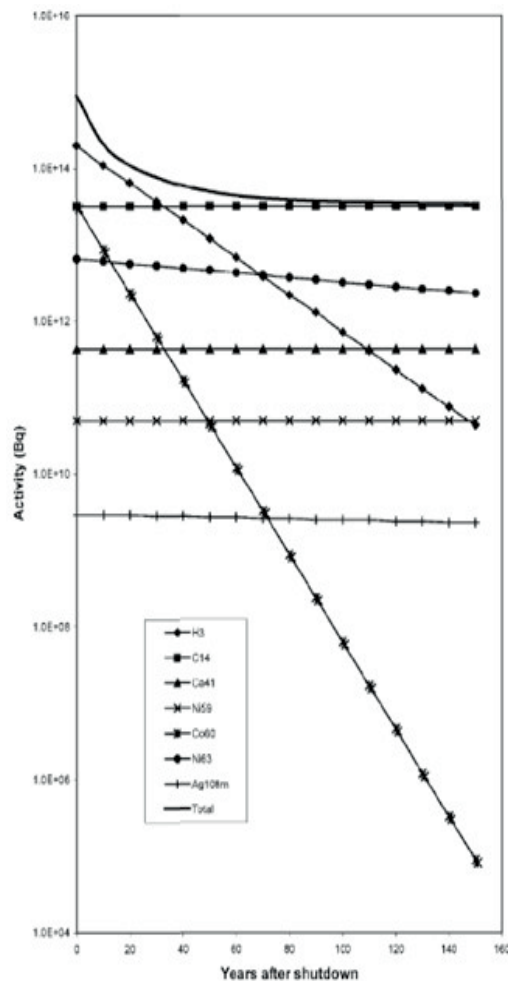


Figura 2

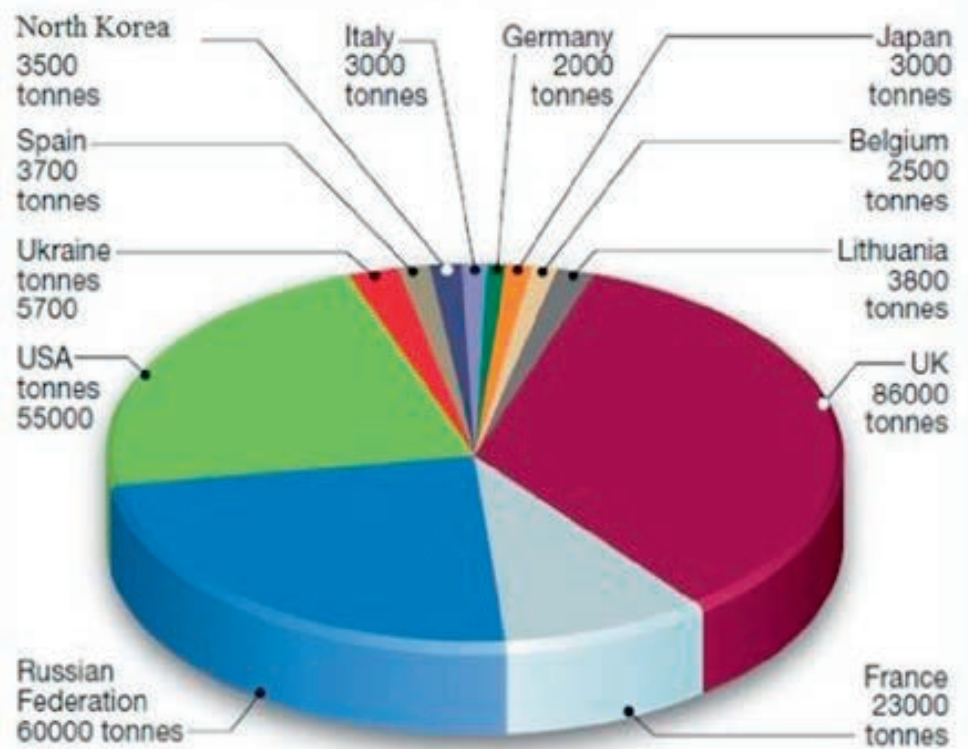


Figura 3

		Distribuzione radiale dell'attività specifica [Bq/g]											
		zona centrale			zona intermedia						zona periferica		
Quota	superiore				11200	15400	15400	14000	12800	12400	4700	4300	4500
	Piano medio	82400	75500	75500	55000	58000	52800	62700	57900	62100	18900	22400	23600
	inferiore				106000	98500	97900	181000	127000	120000	24800	24400	24400
	Distanza dall'asse del nocciolo [cm]	161	161	161	388	388	388	388	388	388	488	488	488

Tabella 4

Nuclide	Campione 04F04A1/I1	
	Concentrazione Attività (Bq/g)	Incertezza (%)
⁶⁰ Co	1604.9	0.4
¹³⁷ Cs	25.3	9.6
¹³³ Ba	51.7	4.2
¹⁵⁴ Eu	53.1	11.1
¹⁵⁵ Eu	12.5	17.1

Tabella 5

A partire dal 1999 Sogin ha condotto una campagna volta a caratterizzare meccanicamente, chimicamente e radiologicamente la grafite del nocciolo del reattore di Latina [15].

La distribuzione dell'attività specifica rilevata nei campioni prelevati è riportata nella Tabella 4 [15].

Una analisi spettrometrica gamma di un campione di grafite irraggiata (1,8 g) prelevato dalla parte inferiore del reattore di Latina ha evidenziato le seguenti concentrazioni di radioisotopi emettitori di radiazione gamma [2].

Anche nella grafite dei reattori di tipo RBMK [1], i radioisotopi gamma emettitori rilevati risultano essere, in ordine di attività specifica: Co60, Eu154, Ba133, Eu155, Cs134 e Cs137.

Per stabilire il rischio associato ai singoli radioisotopi, particolare importanza rivestono gli studi relativi ai possibili meccanismi di lisciviazione della grafite, che consentono di determinare affidabilmente il relativo comportamento e, in particolare, i meccanismi di possibile estrazione e trasporto, in presenza di flussi di acqua nelle specifiche condizioni di stoccaggio o smaltimento.

A livello internazionale, la grafite è stata utilizzata in più di 100 reattori nucleari e risultano presenti 250000 tonnellate di grafite irraggiata, la cui distribuzione è illustrata nella Figura 3 [1] [13]. L'attuale collocazione della maggior parte di tali materiali risulta essere, negli impianti che hanno cessato l'esercizio, all'interno degli edifici ove era disposto il reattore o in depositi temporanei.

L'estrazione della grafite irraggiata dal reattore presenta specifiche difficoltà, soprattutto legate alla necessità di schermare adeguatamente gli operatori, ma anche al rischio di deflagrazione delle polveri in particolari condizioni (es.: a seguito di fresatura), all'energia Wigner ancora latente¹² e ad altre specifiche fenomenologie; le metodologie possibili da adottare sono varie e vanno dall'estrazione sistematica di blocchi singoli o a gruppi, anche sotto battente di acqua (previa verifica del carico sul vessel), allo scavo e frammentazione degli stessi nel reattore.

Al momento, l'esperienza di alcuni paesi, proveniente soprattutto da reattori di piccola taglia, confermerebbe la possibilità di estrarre i blocchi di grafite integri dal reattore. Anche per l'impianto di Latina è stato studiato tale procedimento, da eseguirsi nella fase 2 della disattivazione, quando il Deposito Nazionale sarà disponibile. In particolare, i mattoni di grafite verrebbero agganciati tramite mandrini ad espansione (ove sono presenti fori) o viti autofilettanti [16]. L'opzione prevalente per la successiva gestione risulta essere l'incapsulamento ai fini dello stoccaggio di lungo termine o in vista dello smaltimento definitivo in depositi valutati come adeguati.

La ricerca delle metodiche di estrazione ottimali riveste particolare importanza e richiede l'effettuazione di adeguate valutazioni preventive, anche per stabilire in quale misura siano necessari sistemi di manipolazione remotizzati [5], in funzione del livello di contaminazione e della tecnica di estrazione prescelta. Le possibili modalità operative non sono ulteriormente approfondite nella presente nota.

La gestione della grafite irraggiata

Nel 2013, in un rapporto prodotto nell'ambito delle attività di ricerca svolte su iniziativa della Commissione Europea [4], veniva evidenziata la disponibilità di tecniche per la caratterizzazione, il recupero, il trattamento, il riuso o il riciclo e lo smaltimento della grafite irraggiata e venivano presentate quelle più adeguate ed accettabili dal punto di vista radioprotezionistico, ambientale e della sostenibilità. Tuttavia, veniva rilevato che le decisioni specifiche sulla relativa praticabilità, anche in funzione delle disponibilità (ad es. di siti di smaltimento adatti) e delle normative nazionali, dipendono dagli orientamenti dei singoli Paesi.

Secondo la normativa nazionale (DM 7 agosto 2015), la grafite irraggiata utilizzata nel reattore, perlomeno gran parte di essa, è da considerarsi rifiuto a media attività, a causa delle rilevanti concentrazioni di isotopi a vita lunga (principalmente C14). Ai fini dello smaltimento di rifiuti di tale categoria, vista la limitata potenza termica di decadimento, detta normativa prevede la possibilità di collocarli in un deposito di smaltimento superficiale o a limitata profondità, dotato di barriere ingegneristiche, se la concentrazione di attività alfa è inferiore a 400 Bq/g e se viene dimostrato il rispetto degli obiettivi di radioprotezione di detto deposito. A tali condizioni, quindi, la grafite proveniente dalla centrale di Latina, o parte di essa, potrebbe essere smaltita nel Deposito Nazionale. A tale proposito, l'Autorità di Regolamentazione Competente (ISIN) ha recentemente reso noto che è in corso una valutazione sulla possibilità di smaltire la grafite nel Deposito Nazionale, in contenitori speciali ad alta integrità, "considerando l'inerzia chimica della grafite e la scarsa rilevanza del contributo alla dose da irraggiamento gamma che non richiede uno schermaggio particolare" [19].

I radioisotopi che creano maggiori difficoltà ai fini dello smaltimento sono quelli a vita media più lunga, prevalentemente beta emettitori, che ne determinano la radiotossicità anche per centinaia di migliaia di anni, ma deve essere considerato attentamente il rischio radiologico proveniente in particolare da radioisotopi che possono essere trasportati nel terreno, ad esempio mediante lisciviazione, con maggiore

facilità. Dunque, l'elemento determinante per decidere sulle modalità di smaltimento risiede nello studio di sicurezza (performance assessment) del deposito.

A livello internazionale sono in corso studi specifici per la gestione della grafite irraggiata in USA, in vari altri Paesi, in ambito IAEA, nonché nell'ambito del Programma Quadro dell'Unione Europea per la ricerca e l'innovazione (Horizon 2020). In quest'ultimo contesto, sono stati avviati, in particolare, due progetti denominati *Inno4Graph* e *PREDIS* finalizzati, rispettivamente, a condividere strumenti e metodologie innovativi per lo smantellamento dei reattori europei moderati a grafite ed all'individuazione e all'attuazione di strategie per la gestione dei rifiuti che consentano da un lato la riduzione dei volumi da smaltire e, d'altro lato, l'ottimizzazione dei processi di trattamento. In questo contesto, Sogin risulta essere impegnata, tra l'altro, nella realizzazione di un sistema prototipale per la valutazione dello stato di conservazione dei blocchi di grafite nel nocciolo del reattore della centrale di Latina [20].

Tra le ragioni per cui si può decidere di procedere al trattamento della grafite, piuttosto che allo smaltimento tal quale, previa immobilizzazione ed inserimento in contenitori ad alta integrità, vi sono:

- riduzione dei volumi da gestire come rifiuto radioattivo, con un rilevante abbattimento dei costi;
- riduzione del rischio di surriscaldamento legato all'innesco dell'effetto Wigner, ove prevedibile, ad esempio nelle fasi di consolida-

mento del terreno ove essi sono sistemati;

- disponibilità di siti idonei allo smaltimento¹³ a particolari condizioni, ferme restando la necessità di verificare la suscettibilità a fenomeni di lisciviazione, l'adozione di eventuali provvedimenti di riduzione del carico radiologico e di incremento dell'isolamento, la disponibilità di spazi adeguati a tener conto del possibile calore prodotto dall'effetto Wigner [5];
- parziale allontanamento incondizionato, riciclo o riuso, anche in applicazioni nucleari (es. filtri);
- cernita di rifiuti appartenenti a categorie di pericolosità inferiori;
- produzione di fanghi idonei all'iniezione in profondità, ove praticabile.

Tra le opzioni utilizzate o allo studio per il trattamento della grafite vi sono [1] [5] [13]:

- incenerimento, mediante l'adozione di diverse possibili tecnologie, accompagnato da una adeguata riduzione degli effluenti gassosi e dei particolati, possibilmente con la produzione di limitate quantità di residui solidi¹⁴;
- gasificazione, pirolisi, reforming con vapore¹⁵ ed eventuale ulteriore ossidazione, con cattura dei radionuclidi volatilizzati ed accumulo dei residui;
- altri processi di decomposizione termica (es.: calcinazione), con trasporto dei gas adeguatamente controllato e successiva gestione degli stessi;
- "roasting" che consente la rimozione di ra-



dionuclidi presenti sulle superfici particolarmente contaminate dei blocchi di grafite, in atmosfera inerte, eventualmente ripetuto a più riprese;

- aumento della superficie esposta (es.: frammentazione, esfoliazione), per una maggiore efficacia dei successivi processi;
- trattamento elettrolitico in elettroliti acquose, ossidante (efficace per la separazione della componente metallica);
- ossidazione in sali fusi, ad alte temperature in fase liquida, ottenendo tra l'altro un prodotto finale con caratteristiche vetrose quando portato a temperature normali;
- utilizzo di batteri, resistenti alle condizioni chimico radiologiche, per facilitare la rimozione, soprattutto del C14.

Molti processi termici sono in grado di estrarre principalmente i radioisotopi presenti nelle superfici dei pori della grafite, in misura maggiore da quelli aperti verso l'atmosfera, anche limitando la quantità di grafite rimossa. Può essere valutata la possibilità di eseguire alcuni processi termici in situ, eventualmente anche all'interno del reattore.

Trattamenti di calcinazione a temperature dell'ordine dei 1100 °C, successivi allo sbriciolamento di grafite a bassa attività specifica, sono stati effettuati efficacemente per il Graphite Low Energy Experimental Pile (GLEEP) in UK, in un inceneritore industriale, con elevati flussi di aria, ottenendo la rimozione del 87% dell'attività dovuta al H3 e del 63% di quella dovuta al C14, con una perdita di peso di circa del 6% [5]. Taluni processi di bruciamento della grafite in

atmosfera ricca di ossigeno possono presentare i seguenti vantaggi [5]:

- riduzione notevole dei volumi con formazione di ceneri solide;
- riduzione dei problemi connessi con lo smaltimento delle ceneri in quanto caratterizzate, tra l'altro, da una notevole stabilità quando in contatto con l'ambiente;
- recupero di molti metalli pesanti e rari, compresi uranio e plutonio.

I gas contenenti ossidi di carbonio possono essere separati e inviati a gorgogliatori contenenti, ad esempio, soluzioni acquose di idrossidi di calcio o di bario, che consentono di immobilizzare il carbonio attraverso la formazione di carbonati che, tuttavia, in presenza di elevate concentrazioni di prodotti di corrosione, attinidi e prodotti di fissione, possono dar luogo ad elevati volumi di rifiuti radioattivi.

Sono allo studio ulteriori possibili soluzioni per l'ottimizzazione delle modalità di estrazione del C14, anche attraverso il trattamento congiunto della grafite con altri rifiuti (ad es. il magnox del rivestimento del combustibile), quando consente una migliore immobilizzazione dei radioisotopi residui (ad es.: formazione di carbonati) ed una efficace gestione di entrambe le correnti di rifiuti.

Alcune tecnologie di decomposizione termica, potendo dar luogo a rilasci di composti volatili del C14, possono determinare dosi all'esterno che, tenendo anche conto dei tempi di permanenza effettivi in atmosfera, potrebbero essere confrontate, a livello globale, con quelle prodotte dai raggi cosmici negli strati alti dell'atmosfera,



Vantaggi	Svantaggi
I costi di smaltimento si riducono.	È necessario eseguire regolarmente sorveglianze e manutenzioni per mantenere le condizioni di sicurezza.
Migliori e più economiche tecniche di smantellamento potrebbero rendersi disponibili in futuro.	Il sito ove è stoccata la grafite non può essere reso disponibile prima dello smantellamento.
I rifiuti derivanti dallo smantellamento possono essere maneggiati in maniera più sicura.	Personale con adeguata esperienza nella gestione del reattore potrebbe non essere disponibile in futuro.
Il volume dei rifiuti con radioattività più elevata si riduce.	I costi di gestione e manutenzione si accumulano.
Tempi di decadimento sufficientemente lunghi possono ridurre l'esposizione degli operatori per lo smantellamento.	L'esercente continua ad essere responsabile della sicurezza per tempi lunghi.

Tabella 6

dai test atomici, dalle centrali a carbone; tuttavia, in alcuni casi, tali tecnologie sono state accantonate soprattutto per le temute conseguenze in aree densamente popolate, essenzialmente in base a valutazioni che evidenziano possibili elevati valori di dosi collettive. Pure lo smaltimento in mare, con conseguente rilascio del C14, potrebbe essere realizzato dando luogo ad un incremento molto limitato della concentrazione già presente negli oceani [13], ma questa tipologia di smaltimento è stata da tempo esclusa. Per la grafite, ed in particolare per il C14, dunque, si ripropone il confronto tra le due alternative per la gestione dei rifiuti radioattivi:

- diluire e disperdere;
- concentrare e contenere.

Viene da tempo preferita la seconda opzione, soprattutto in considerazione della riduzione della radioattività che ha luogo con il passare del tempo e della possibilità di assicurare il contenimento dei radioisotopi fino al raggiungimento di condizioni di ridotta rilevanza radiologica, ove depositi adeguati siano effettivamente realizzati. È utile rilevare che è stato provato come il riscaldamento a temperature e con concentrazioni di ossigeno più appropriate possa determinare anche una maggiore efficienza selettiva per l'asportazione di C14 rispetto all'isotopo stabile e per la forma chimica dei relativi composti [7]. L'adozione di sistemi di abbattimento dei rilasci gassosi particolarmente efficaci, allo studio in alcuni laboratori, potrebbe rendere maggiormente accettabili questi processi. Sono allo studio, inoltre, soluzioni basate sull'iniezione della CO₂ prodotta dai processi termici nel sottosuolo, in profondità, in strutture geologiche idonee [13].

Ai fini della decontaminazione chimica degli strati superficiali della grafite è stato studiato l'utilizzo di acidi minerali, soluzioni alcaline, agenti ossidanti disciolti o il lavaggio con detergenti organici, eventualmente utilizzati in combinazione [5]. In particolare, attraverso processi di questo

tipo, è stata sperimentata la rimozione di isotopi quali H3, C14, Co60, Eu152 ed Eu154. Maggiore efficacia, a tali fini, è stata riscontrata nei processi elettrochimici. Trattamenti chimici possono seguire i processi di gasificazione realizzati tramite reforming. Sono stati effettuati, inoltre, studi sul comportamento a lisciviazione anche ai fini della decontaminazione della grafite, oltre che per valutarne gli effetti nella prospettiva dello smaltimento, come già evidenziato.

L'azione di batteri (in grado di incorporare il carbonio nella cellula) e funghi (che contribuiscono alla solubilizzazione) viene studiata anche in relazione al possibile rilascio di C14 a seguito di una più accentuata disposizione alla lisciviazione nelle condizioni di smaltimento. L'esperienza di Chernobyl, tra l'altro, ha mostrato come si sia avuta la formazione di diverse specie di funghi, anche in parti di grafite particolarmente "calde", che hanno contribuito alla relativa decomposizione.

La selezione dei processi più adeguati deve tener conto di aspetti quali:

- la vita media dei radioisotopi presenti;
- la relativa abbondanza;
- la mobilità nelle condizioni di smaltimento;
- la biocompatibilità (il carbonio, ad esempio, per il suo ruolo specifico nella chimica organica).

Molti dei processi esaminati portano alla generazione di rifiuti secondari che devono a loro volta essere trattati e condizionati.

È interessante la disamina dei vantaggi e degli svantaggi legati alla scelta di posporre lo smaltimento della grafite riportata in Tabella 6 [6]. Per quanto attiene al possibile riciclo o riuso della grafite, sono state individuate diverse alternative [5] tra cui:

- riciclo per reattori nucleari (anche a fusione);
- riciclo per realizzare elettrodi per la vetrificazione dei rifiuti;
- riciclo per produrre carburo di silicio (es.:

- per reattori HTGR);
- riuso come materiale assorbente ai fini della decontaminazione;
- riuso come materiale di riempimento per altri rifiuti da smaltire (es. attraverso polverizzazione o trattamento della CO₂ con produzione di carbonati solidi);
- utilizzo di alcuni radioisotopi estratti (ad es.: per usi medici) etc.

Per molte delle alternative di gestione prospettate, ai fini della definitiva collocazione in depositi, si pone il problema di assicurare una adeguata immobilizzazione dei rifiuti generati dal trattamento della grafite (ad es.: detriti), attraverso processi quali:

- l'incorporazione in materiale cementizio¹⁷;
- la formazione di materiale vetroso, anche modificando la forma chimica (es.: carbonati).

È importante ribadire che l'elemento importante per assumere le decisioni più adeguate per la gestione della grafite è la conoscenza dei criteri di accettazione, in termini di concentrazioni massime ammissibili per i radioisotopi e di modalità di confezionamento, del deposito di smaltimento disponibile nel Paese o cui, comunque, si ritiene di dover destinare i quantitativi eventualmente non smaltibili in Italia.

È particolarmente interessante esaminare, anche in relazione alle caratteristiche del Deposito ingegneristico superficiale spagnolo di El Cabril (Sp), simili a quelle del progettato Deposito nazionale, gli studi in corso in Spagna, finalizzati a valutare le opzioni per lo smaltimento della grafite in detto deposito¹⁸[1]:

- decontaminazione della grafite in modo da ridurre il contenuto di C14 di circa 88%;
- creazione di un involucro impermeabile, ad esempio mediante l'utilizzo di un vetro appositamente, per minimizzare o rendere trascurabile il rilascio del contenuto volatile o solubile;
- incremento del possibile quantitativo di C14 da destinare al deposito di smaltimento, fermi restando i requisiti radioprotezionistici;
- riduzione di volume della grafite stritolata e

collocata in contenitori di calcestruzzo (per l'unità di Vandellòs 1 attualmente ne occorrerebbero più di 800).

Nell'ambito della gestione della grafite irraggiata, ai fini della definizione delle strategie più appropriate, devono essere tenuti in conto anche i problemi connessi con il trasporto dei rifiuti. L'applicazione delle tecniche descritte alla gestione di elementi di combustibile contenenti carbonio (es.: da reattori HTGR) presenta particolari difficoltà, che non sono specificamente approfondite in questa sede.

Conclusioni

È auspicabile che siano dedicati particolari attenzioni e risorse, nel nostro Paese, per studi, sperimentazioni, condivisione di dati, adeguati in numero e qualità, in vista della completa disattivazione della centrale di Latina, della realizzazione del Deposito Nazionale e del definitivo smaltimento della grafite irraggiata presente in Italia. La tempestiva individuazione di una strategia nazionale ottimale, a fronte delle diverse opzioni perseguibili, consentirebbe, tra l'altro, di indirizzare sollecitamente le azioni necessarie e di evitare possibili incrementi dei rischi e degli oneri economici derivanti dalla mancanza di decisioni.

Deve essere positivamente rimarcata l'esistenza di attività internazionali di cooperazione; risulta infatti che, oltre ai programmi di studio in ambito europeo, citati in precedenza, l'Italia partecipa ad una specifica iniziativa IAEA volta a mettere in comune conoscenze e programmare attività indirizzate a valutazioni sulla gestione della grafite irraggiata: Irradiated Graphite Processing Approaches (GRAPA).

L'evidenza di una adeguata attenzione rivolta alle tematiche trattate in questa nota, nonché dell'esistenza di conoscenze ed esperienze specifiche nel Paese, si ritiene che possa anche influire notevolmente sulla percezione del pubblico circa il livello di sicurezza delle soluzioni che saranno adottate.

Bibliografia

- [1] IAEA - AGENZIA INTERNAZIONALE PER L'ENERGIA ATOMICA - TECDOC 1790, Trattamento della grafite irradiata per soddisfare i criteri di accettazione per lo smaltimento dei rifiuti - 2016
- [2] ENEA, MiSE - M. Capone, A. Compagno, A. Dodaro, A. Manniello - RdS/2011/80 - Valutazione delle metodologie di calcolo degli scaling factor per rifiuti contenenti radionuclidi di difficile rilevabilità
- [3] EPRI - Decommissioning Experiences and Lessons Learned: Decommissioning Costs - <https://www.epri.com/research/products/1023025>
- [4] EU - D-0.3.12 - "Treatment and Disposal of Irradiated Graphite and Other Carbonaceous Waste" - Final Publishable CARBOWASTE Report - <https://cordis.europa.eu/docs/results/211333/final1-cw1306-final-report-f.pdf>
- [5] Leon Fuks, Irena Herdzik-Koniecko, Katarzyna Kiegiel and Grazyna Zakrzewska-Koltuniewicz - Management of Radioactive Waste Containing Graphite: Overview of Methods - https://www.researchgate.net/publication/344686752_Management_of_Radioactive_Waste_Containing_Graphite_Overview_of_Methods
- [6] G. Bolla, A. Macci, J. F. D. Craik, P. Walkden - The decommissioning of Latina Nuclear Power Plant - ICONE 9 2001
- [7] Dunzik-Gougar, M.L.; Smith, T.E. Removal of carbon-14 from irradiated graphite. J. Nucl. Mater. 2014 - Removal of carbon-14 from irradiated graphite - ScienceDirect
- [8] IAEA TECDOC 1647 - Progress in Radioactive Graphite Waste Management - <https://www.iaea.org/publications/8421/progress-in-radioactive-graphite-waste-management>
- [9] ENEA - I. Vilardi, C.M. Castellani, D. M. Castelluccio - PROGRAMMA DELLA SORVEGLIANZA FISICA AMBIENTALE E PERSONALE DELLA RADIOPROTEZIONE DURANTE LA DISATTIVAZIONE DELL'IMPIANTO NUCLEARE DI RICERCA RB-3 DELL'ENEA A BOLOGNA
- [10] G. Canzone, "Dismantling of the graphite pile of Latina NPP: feasibility study for bricks' handling/removal equipment", presentazione nella sessione 'Latina NPP Decommissioning program' del 27 Ottobre 2016 del 17th Meeting of the Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD), OECD-NEA, Roma 25-27 Ottobre 2016
- [11] IAEA TECDOC 1521 - Characterization, Treatment and Conditioning of Radioactive Graphite from Decommissioning of Nuclear Reactors - https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1521_web.pdf
- [12] IAEA - Nuclear graphite waste management - Technical Committee meeting held in Manchester, United Kingdom - 18-20 October 1999 - G. Holt - RADIOACTIVE GRAPHITE MANAGEMENT AT UK MAGNOX NUCLEAR POWER STATIONS - https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/039/32039321.pdf
- [13] Michael I. Ojovan, Patrick O'Sullivan Waste Technology Section IAEA - The International Project on Irradiated Graphite Processing Approaches (GRAPA) - https://nucleus.iaea.org/sites/connect/IDNpublic/IDN%20Annual%20Forum%202017/SESSION%201_GRAPA_Status_Report_OJOVAN.pdf
- [14] IAEA - NGKB Nuclear Graphite Knowledge Base - <https://nucleus-new.iaea.org/sites/graphiteknowledgebase/wiki/Wiki%20Pages/Manufacture.aspx> - <https://nucleus.iaea.org/sites/graphiteknowledgebase/wiki/Wiki%20Pages/Nuclear%20Properties.aspx>
- [15] G. Canzone - Tesi di dottorato 2017 - Alma Mater Studiorum - Università di Bologna - Smantellamento di un reattore di potenza gas-grafite di I generazione: metodologie e tecnologie di rimozione della grafite e smantellamento del nocciolo
- [16] SOGIN - Piano Globale di Disattivazione Accelerata - Fase 1 - Appendice A - Valutazione tecnica di fattibilità per la fase 2 - https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/LT_G_00006_Rev02_-_APPENDICE_A.pdf
- [17] Ignazio Vilardi e altri - PIANO DI CARATTERIZZAZIONE RADIOLOGICA DI MATERIALI PROVENIENTI DALLA DISATTIVAZIONE DELL'IMPIANTO NUCLEARE DI RICERCA RB-3 DELL'ENEA SITO IN BOLOGNA - MONTECUCCOLINO AI FINI DEL LORO ALLONTANAMENTO https://www.researchgate.net/publication/288824306_PIANO_DI_CARATTERIZZAZIONE_RADIOLOGICA_DI_MATERIALI_PROVENIENTI_DALLA_DISATTIVAZIONE_DELL'IMPIANTO_NUCLEARE_DI_RICERCA_RB-3_DELL'ENEA_SITO_IN_BOLOGNA_-_MONTECUCCOLINO_AI_FINI_DEL_LORO_ALLONTANAMENTO
- [18] Theodosiou, A.N. Jones, D. Burton, M. Powell, M. Rogers, V.B. Livesey - Journal of Nuclear Materials - The complete oxidation of nuclear graphite waste via thermal treatment: An alternative to geological disposal - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022311518302538>
- [19] Clemente Pistilli - Centrale Nucleare, al lavoro per rimuovere la grafite dal reattore <https://www.h24notizie.com/2021/12/24/centrale-nucleare-al-lavoro-per-rimuovere-la-grafite-dal-reattore/>
- [20] SOGIN - Horizon 2020, il Gruppo Sogin partecipa a due progetti europei di ricerca e innovazione https://www.sogin.it/it/media/news/gruppo_sogin_partecipa_progetti_europei_horizon_2020.html

Note

1. Il numero di massa dell'isotopo di un elemento è dato dalla somma del numero di protoni e neutroni che compongono il suo nucleo.
2. L'azoto può essere presente in quanto la lavorazione della grafite avviene spesso in atmosfere ricche di quel gas. L'isotopo dell'azoto con numero atomico 14, assorbendo un neutrone e rilasciando un protone, diviene C14. Gli isotopi dell'ossigeno con numero atomico 16 o 17 possono generare C14 assorbendo uno o due neutroni e rilasciando una particella alfa.
3. Prodotto della riduzione logaritmica media di energia per collisione (ξ) per la sezione d'urto macroscopica di urto elastico (scattering - Σ_s).
4. Dal nome della lega di magnesio (Mgnox-Al 80) con cui erano fabbricati i contenitori alettati (cladding) delle barre di combustibile.
5. Tra i quali i reattori AGR (Advanced Gas Reactor) inglesi, il reattore UNGG (uranio naturale, gas e grafite), sviluppato dai francesi negli anni 50, in parallelo alla tecnologia Magnox inglese, il reattore sperimentale di Fort St. Vrain in USA, nonché i reattori americani e russi utilizzati per la produzione del Plutonio per armamenti.
6. In tali sfere, delle dimensioni di palle da biliardo, il carbonio è presente in altre aggregazioni e/o composti quale il carburo di silicio.
7. High Temperature Gas-cooled Reactor.
8. Le impurezze possono essere determinate anche dalla migrazione di altre sostanze presenti nel reattore.
9. L'esposizione della CO₂, penetrata nei pori della grafite, la radiazione gamma porta alla sua dissociazione ed alla conseguente ossidazione della grafite stessa, cui consegue la modifica di talune sue proprietà (durezza, conducibilità termica etc.) e la liberazione di radioisotopi presenti nel reticolo.
10. La massima attività da C14 rilevata nel riflettore è risultata pari a 2,8 mBq/g.
11. In misura minore, il Cl36 nella grafite irraggiata può derivare da reazioni di attivazione e cattura di K39 ed S34; inoltre, parte del cloro inizialmente presente nella grafite può essere rilasciata durante il funzionamento del reattore [13].
12. Situazione che si presenta prevalentemente in reattori di ricerca che hanno funzionato a basse temperature.
13. Il ridotto calore di decadimento e le concentrazioni di isotopi a lunga vita non eccessivamente elevate non ne richiedono necessariamente lo smaltimento in depositi geologici profondi.
14. La necessità di trattare adeguatamente i rilasci gassosi può portare, tuttavia, alla generazione di notevoli quantità di rifiuti radioattivi secondari; il rilascio di CO₂ può dar luogo a preoccupazioni legate al contributo all'effetto serra. Impianti pilota per questo tipo di trattamento sono stati costruiti o programmati in Francia ed in Russia [1].
15. Processo largamente utilizzato per il trattamento delle resine a scambio ionico provenienti da sistemi di trattamento dei liquidi contaminati.
16. Ad esempio, in base alla OSPAR "Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic" del 1992, riferita anche a sostanze con altre tipologie di pericolo.
17. Fughe di gas (metano o CO₂ contenenti C14, idrogeno triziato) sono difficilmente evitabili [5].
18. La data di inizio dello smantellamento del reattore contenente grafite risulta essere il 2028.



**IL DIRETTORE TECNICO DELLE
IMPRESE
DI COSTRUZIONI**



a cura di:
Ing. Marco Sovera,
Arch. Laura di Spes

Commissione:
La Direzione
di Cantiere



Premessa

Una volta, nelle Imprese di Costruzione essere chiamati **"Ingegnere"** significava essere a capo dell'organizzazione di un cantiere per la costruzione di un'opera di genio civile: l'ingegnere faceva i calcoli, redigeva i progetti, in cantiere era quello che dirigeva, che decideva, e in base alle sue indicazioni si costruiva!

Poi, con il tempo i contesti sono cambiati, gli ingegneri che facevano i calcoli si sono trasferiti in ufficio, anzi nei loro studi - prendendo il nome di **"progettisti"** - e quelli in cantiere sono rimasti a svolgere compiti più organizzativi - prendendo il nome di **"direttori tecnici"** - poi, oltre agli ingegneri sono arrivati gli architetti, i geometri ecc. tutti tecnici qualificati per ricoprire tale carica.

Il **Direttore Tecnico (DT)** è la figura fondamentale delle Imprese di Costruzioni che ricopre il ruolo di **Capocommessa**, in capo al DT è "trasferita" ogni responsabilità assunta dall'Impresa nell'esecuzione di un contratto d'appalto: dalla buona esecuzione dell'opera, all'adempimento di ogni obbligazione contrattuale, sino al conseguimento del risultato economico d'Impresa. Eppure, di questa figura centrale per le Imprese di Costruzioni - spesso confusa con il Direttore

dei Lavori, che invece ricordiamo opera in nome e per conto del Committente - non è stato mai delineato lo specifico profilo professionale, i cui compiti e responsabilità vanno, invece, ricercati nei diffusi riferimenti che ritroviamo qua e là nel panorama legislativo che governa il settore.

Oggi tutto sta cambiando, in chiave di europeizzazione si cerca di normare tutto: anche le professioni! Nel nostro settore, alle professioni regolamentate (es. ingegnere, architetto, geometra, ecc.) che stabiliscono titoli, certificazioni, abilitazioni che occorre possedere, si affiancano le professioni normate (es. Project Manager, Bim Manager, Controller, Quality, ecc.) che definiscono conoscenze, abilità, competenze che organismi accreditati possono riconoscere e certificare. Così le figure in campo si moltiplicano, nuove professionalità con nuovi titoli (spesso inglesi) si affacciano, ognuna con compiti e funzioni ben delineate e circoscritte.

Da tutta questa regimentazione delle professioni, quella di **Direttore Tecnico** non è stata ancora considerata, motivo per il quale, in quest'articolo vogliamo delineare compiti e responsabilità di questa figura professionale a noi cara per averne ricoperto il ruolo in tanti anni di cantiere.

Come nasce dal punto di vista legislativo la figura del Direttore Tecnico?

La figura del Direttore Tecnico riveste un ruolo di rilievo ai sensi di diverse discipline legislative che, in più disposizioni, ne fanno espressa menzione. In particolare, gli ambiti normativi interessati sono: **Codici degli Appalti e regolamenti SOA, Capitolato Generale d'Appalto, Sicurezza sul Lavoro**, che di seguito percorreremo allo scopo di darvi una visione generale d'insieme. Questi provvedimenti, nati per regolamentare gli esecutori di opere pubbliche, diventano - per mancanza di regole proprie - la disciplina di riferimento per inquadrare la figura professionale del Direttore Tecnico.

I riferimenti normativi

L'Albo Nazionale dei Costruttori

Nell'ordinamento giuridico-amministrativo italiano, per stipulare contratti d'appalto con lo Stato o con Enti Pubblici per l'esecuzione di opere civili, impiantistiche o infrastrutturali di una certa rilevanza è necessario che i soggetti operatori siano accreditati presso organizzazioni appositamente istituite presso il Ministero dei LL.PP. Tale esigenza nasce da molto lontano - già nel 1936 - con l'istituzione dell' "*Albo nazionale degli appaltatori di opere pubbliche*" ma, è con **legge dello Stato n.57 del 10 febbraio 1962** in seno all'istituzione dell'Albo Nazionale dei Costruttori (ANC) - cui ogni soggetto esecutore di lavori pubblici di importo superiore a 75 milioni di lire era obbligato ad iscriversi - che nasce la figura del "*Direttore Tecnico*" (DT).

I soggetti esecutori (*imprese, cooperative, consorzi, ecc.*) erano iscritti all'ANC per **categorie e sottocategorie**, in base alla natura delle opere e tipologie di lavorazioni, e per **classifiche** ovvero per livelli di importi massimi assumibili sulle categorie di lavoro.

L'accreditamento all'Albo avveniva, per tutti i soggetti esecutori, in base a una serie di requisiti:

- **ordine generale - idoneità morale e professionale** - che doveva essere posseduta dai soggetti titolari/amministratori di società e dai Direttori Tecnici, se persona diversa dal titolare stesso.
- **ordine speciale - idoneità tecnica** - in capo alla figura del Direttore Tecnico (*titolare o non d'impresa*), nonché di capacità finanziaria ed il possesso di attrezzatura tecnica, in capo al soggetto esecutore (*società*).

In particolare, l'**idoneità tecnica** veniva dimostrata (art.14) "...mediante titoli di studio, certificati rilasciati o confermati da funzionari tecnici in attività di servizio riferentisi a lavori eseguiti o diretti dal richiedente..." ovvero **comprovata**

dall'esperienza maturata su lavori simili di cui fosse stata certificata la buona esecuzione, in altre parole da soggetto in possesso di **competenza**.

Questi requisiti resteranno alla base del sistema di qualificazione dei soggetti esecutori che le Autorità determineranno con i susseguenti emendamenti di legge.

Il Direttore Tecnico e le SOA

Con l'introduzione della legge Merloni - L. n.109/1994 "*Legge quadro in materia di lavori pubblici*" - e successivo regolamento di attuazione - promulgato con D.P.R. n.34/2000 "*Regolamento recante istituzione del sistema di qualificazione per gli esecutori di lavori pubblici*" - viene disposta la cessazione dell'ANC (al 31 dic. 1999) e l'introduzione del sistema di qualificazione delle imprese attraverso l'**Attestazione SOA**.

Nascono così le **Società Organismi di Attestazione (SOA) - autorizzate dall'Autorità per la Vigilanza sui contratti Pubblici di Lavori servizi e forniture (AVLP) istituita con la stessa Merloni** - che accertano nei soggetti esecutori di Lavori Pubblici l'esistenza degli elementi di qualificazione disposti dal "*Regolamento*" mediante il rilascio dell'Attestazione SOA.

In particolare, il Regolamento definisce la figura e i compiti del DT (art.26) "*La Direzione Tecnica è l'organo cui competono gli adempimenti di carattere tecnico-organizzativo necessari per la realizzazione dei lavori...*", ed i titoli di studio che lo stesso deve possedere per soddisfare il requisito d'idoneità tecnica a seconda delle categorie e classifiche d'importo lavori.

Gli elementi di qualificazione dei soggetti esecutori disposti dal "*Regolamento*" che le SOA devono attestare sono molto simili, nell'impostazione, a quelli in precedenza fissati dall'ANC, infatti, salvo alcune piccole variazioni, mantengono la distinzione in categorie, sottocategorie e classifiche ed i requisiti di ordine generale e speciale, confermando la necessità di dimostrare l'idoneità tecnica in capo alla figura di un Direttore Tecnico.

I successivi D.Lgs. n. 163/2006 cosiddetto "*Codice de Lise sui Contratti pubblici*" di abrogazione della L. 109/1994 ed il suo "*Regolamento di esecuzione ed attuazione*" promulgato con **D.P.R. n.207/2010** non modificheranno, sostanzialmente, le precedenti disposizioni in merito agli elementi di qualificazione e attestazione SOA.

Ed anche il *Codice dei Contratti Pubblici*, introdotto con D.Lgs. n.50/2016 e s.m.i., di abrogazione della L. 163/2006 e di parte del "*Regolamento*" del 2010, non produrrà sostanziali modifiche al sistema di qualificazione e attestazione SOA, salvo l'entrata in scena dell'**Auto-**

rità Nazionale Anti Corruzione (ANAC) in cui confluirà l'AVCP; impostazioni tutte confermate dal nuovo Codice dei Contratti Pubblici appena emanato con **D.Lgs. 31 marzo 2023 n. 36** e relativo **allegato II.12**.

Oggi, dunque, ogni soggetto esecutore interessato ad appalti di opere pubbliche di importi superiori ad euro 150.000,00 è tenuto a conseguire l'attestato di qualificazione SOA in base alle disposizioni ancora definite dal "Regolamento" del 2010, basate sulla distinzione in categorie, sottocategorie e classifiche e sul possesso di requisiti di ordine generale e speciale che devono essere posseduti dal soggetto esecutore e dai suoi Direttori Tecnici.

Regolamentazione della figura del Direttore tecnico

Attualmente, le attestazioni SOA sono, dunque, regolamentate dal *D.P.R. n.207/2010* (ovvero all'entrata in vigore del D.Lgs. 36/2023 in base alle disposizioni dell'allegato II.12), il quale, nel definire i requisiti per la qualificazione dei soggetti esecutori – *d'ora in avanti per brevità le Imprese* - con particolare riferimento alla figura del *Direttore Tecnico* ne disciplina compiti e responsabilità che di seguito andiamo ad estrapolare. Il *DT* è il/un componente della *direzione tecnica*, ovvero (art.87) *"...l'organo cui competono gli adempimenti di carattere tecnico-organizzativo necessari per la realizzazione dei lavori..."*.

In ordine ai **requisiti di ordine generale il DT**, al pari dei legali rappresentanti, deve possedere i seguenti *requisiti* incidenti sulla moralità professionale dell'Impresa:

- *cittadinanza italiana o di altro Stato appartenente all'Unione Europea;*
- *inesistenza di procedimenti di cui agli artt.6 e 67 del D.Lgs. 159/2011 (codice leggi antimafia);*
- *inesistenza di sentenze definitive di condanna passate in giudicato ovvero di sentenze di applicazione della pena su richiesta ai sensi dell'art.444 cpp per reati gravi ai danni dello Stato o della Comunità che incidono sulla moralità professionale.*

In ordine ai **requisiti di ordine speciale (art.79)** *l'idoneità tecnica dell'Impresa è dimostrata con la presenza di idonea direzione tecnica* dotata di:

- per la qualificazione in categorie con classifica di importo pari o superiore alla IV, (lavori di importo pari o superiore di euro 2.582.000)
 - *laurea in ingegneria, architettura, o al tra equipollente;*
 - *laurea breve o diploma universitario in ingegneria o in architettura o equipollente;*

- *diploma di perito industriale edile o di geometra;*
- *iscrizione alla carica di DT alla data del 01/03/2000 nella stessa impresa richiedente la qualificazione;*
- *possesso del requisito previsto dall'art.84 c. 12-bis del D.Lgs. n.50/2016.*
- per le classifiche inferiori fino alla III-bis (lavori di importo fino a euro 1.500.000) è ammesso anche il possesso di:
 - *titolo di studio tecnico equivalente al diploma di geometra o perito industriale edile;*
 - *requisito professionale identificato nell'esperienza acquisita nel settore delle costruzioni quale direttore di cantiere per un periodo non inferiore a cinque anni da comprovare con idonei certificati di esecuzione dei lavori (C.E.L.) attestanti tale condizione;*
 - *iscrizione alla carica di DT alla data del 01/03/2000 nella stessa impresa richiedente la qualificazione.*

L'idoneità tecnica dell'Impresa (art.79) è altresì dimostrata dall'esecuzione di lavori, realizzati in ciascuna delle categorie oggetto della richiesta, documentata dai **Certificati di Esecuzione dei Lavori (C.E.L.)**, mentre per classifiche fino alla III-bis la qualificazione può essere collegata direttamente al *DT* che l'ha consentita (art.79 c.14) e dimostrata esibendo i C.E.L. della cui condotta è stato responsabile.

Sono importanti, quindi, i Certificati di Esecuzione dei Lavori che certificano il regolare e buon esito dei lavori eseguiti non solo dall'Impresa ma, anche, dal *DT* che ha diretto il cantiere - il cui nominativo è riportato nel C.E.L. - e che costituiscono l'evidenza oggettiva della loro esperienza nel settore, almeno quinquennale, indispensabile a dimostrare la loro idoneità tecnica ed a qualificare le Imprese che ne sono sprovviste.

I soggetti che assumono l'incarico di *DT* in un'Impresa non possono rivestire analogo e contestuale incarico per conto di altre poiché la qualificazione conseguita dall'Impresa è direttamente correlata al *DT* stesso: a tal fine deve produrre una dichiarazione di unicità di incarico.

Il *DT*, laddove persona diversa dal titolare/legale rappresentante dell'Impresa, deve essere dipendente dell'Impresa stessa, ovvero in possesso di contratto d'opera professionale regolarmente registrato.

Concludendo, la nomina del Direttore Tecnico costituisce uno dei requisiti speciali che non può mancare ai fini dell'ottenimento della qualificazione SOA.



Il Direttore Tecnico di cantiere e la legislazione sui LL.PP.

Quanto ancora fino ad oggi, sopravvive del "Regolamento recante il Capitolato Generale d'Appalto dei Lavori Pubblici" di cui al D.M. n.145/2000 ci aiuta a chiarire, ulteriormente, ruolo e responsabilità del *Direttore Tecnico*.

In particolare, definisce (art.4) la necessità dell'Impresa (l'appaltatore) di conferire mandato con rappresentanza "...a persona fornita dei requisiti d'idoneità tecnici e morali, per l'esercizio delle attività necessarie per l'esecuzione dei lavori a norma del contratto ..." ovvero al DT. Inutile dire, infatti, che normalmente non esiste il sig. "Impresa S.p.a." e che quindi, le Imprese di costruzioni costituite in forma societaria hanno demandato alla figura del *DT* che può rappresentarle nei confronti della stazione Appaltante. Oltre al ruolo di rappresentanza dell'Impresa del DT, il "Capitolato Generale d'Appalto" ci aiuta a chiarire anche le responsabilità dell'Impresa e per estensione dei suoi soggetti delegati.

A riguardo, introduce (art.6) il concetto di responsabilità della buona condotta del cantiere in capo all'appaltatore ed alla figura del *Direttore di cantiere* - il quale tecnico formalmente incaricato dallo stesso - "...assicura l'organizzazione, la gestione tecnica e la conduzione del cantiere...". La Direzione di cantiere "... è assunta dal direttore tecnico dell'impresa o da

altro tecnico formalmente incaricato..." motivo per il quale, a seconda dell'organizzazione d'Impresa, il Direttore Tecnico può coincidere o meno con il **Direttore di Cantiere (DC)**, in tal caso parleremo di **Direttore Tecnico di Cantiere (DTC)**.

Il *DTC* è quindi il soggetto, dotato d'idonee competenze tecnico-professionali - designato dal legale rappresentante o dal datore di lavoro - cui competono gli adempimenti di carattere tecnico-organizzativo necessari per la realizzazione dei lavori in un determinato cantiere nell'osservanza del contratto d'appalto. Nell'organizzazione d'Impresa, tale figura coincide con quella del Capo Commessa che, oltre alla gestione tecnica, risponde ed attua il controllo economico sulle attività del processo costruttivo.

Ecco chiariti i compiti e i doveri di questa figura - il *Direttore Tecnico di Cantiere* - che il legislatore, a cautela di tutti e con il fine di assicurare la buona costruzione dell'opera, ha introdotto con tale norma.

Da questo punto in poi, ogni volta che nella normativa italiana - dal Codice Civile per gli appalti privati al Codice dei Contratti ed a tutto quanto ancora non abrogato o sostituito che regola i LL.PP. - troviamo compiti e doveri attribuiti alla figura dell'Appaltatore si deve intendere, per estensione, il Direttore Tecnico di Cantiere delegato (a meno di particolari organizzazioni d'Impresa).



Il Direttore Tecnico di Cantiere e la Sicurezza sul lavoro

L'esecuzione dei lavori non è cosa distaccata dalla sicurezza, le due cose non procedono mai su piani separati ma: si lavora in sicurezza e le lavorazioni vanno pensate e organizzate in sicurezza. E dunque, chi organizza, pianifica, decide e dispone il lavoro per costruire l'opera, diviene, a tutti gli effetti, la figura di riferimento responsabile.

Riguardo ai profili di responsabilità in materia d'igiene e sicurezza del *Direttore Tecnico*, questi vanno valutati in base all'effettiva estensione delle funzioni rimesse in capo allo stesso, in particolare, all'attribuzione degli obblighi riferibili alla figura del *Direttore di Cantiere* ovvero al *DTC*.

A tal proposito, il *D.Lgs. n.50/2016* e s.m.i. cosiddetto "*Codice dei Contratti Pubblici*" è intervenuto - in materia di sicurezza - per indentificare il *DTC* quale figura apicale nella piramide organizzativa e chiarire le sue precise responsabilità. *Tale soggetto è incaricato dell'organizzazione, della gestione e della conduzione del cantiere, inoltre, mantiene i rapporti con la Direzione dei Lavori, coordina e segue l'esecuzione delle prestazioni in contratto e sovrintende all'adattamento, all'applicazione e all'osservanza dei piani di sicurezza.*

Anche la normativa in materia di tutela della salute e sicurezza sul lavoro porta ampi riferimenti sulle responsabilità in capo al *DTC* mettendo in risalto tale figura non solo in ambito LL.PP. ma, in generale, nell'adempimento degli obblighi in materia di cantieri temporanei e mobili.

In particolare, il *D.Lgs. n.81/2008* e s.m.i. "*Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*" non obbliga il datore di lavoro delle Imprese affidatarie ed esecutrici a nominare il *DTC* ma, nell'Allegato XV, impone di specificarne il nominativo nel Piano Operativo di Sicurezza (POS).

Al di là di tale contraddizione, ai sensi del *Testo Unico sulla Sicurezza*, il *DTC* riveste il ruolo di "Dirigente", egli è pertanto tenuto all'osservanza delle norme in materia di igiene e sicurezza e - nell'ambito delle rispettive attribuzioni e competenze - ad attuare le misure e le tutele del caso. Varie sono le disposizioni che fanno del *DTC* il destinatario di responsabilità concrete nella gestione e nella partecipazione all'implementazione dei piani previsti dal *D.Lgs. n.81/2008* come nel caso dei raggruppamenti temporanei di imprese (RTI) o dove l'appalto è eseguito avvalendosi anche di subappaltatori di singole opere.

A tal riguardo anche il nuovo *D.Lgs. 36/2023* "*Codice dei Contratti Pubblici*" prevede esplicitamente (art. 119 c. 15) che il *DTC* è responsabile del rispetto del piano di sicurezza da parte di



tutte le imprese impegnate nell'esecuzione dei lavori, evidenziando un ruolo di fondamentale importanza per la garanzia della corretta applicazione delle misure di sicurezza nei cantieri. E ancora (art.97 D.Lgs. 81/08) impone al datore di lavoro dell'Impresa affidataria di:

- *verificare le condizioni di sicurezza dei lavori affidati e l'applicazione delle disposizioni e delle prescrizioni del piano di sicurezza e coordinamento;*
- *coordinare gli interventi di organizzazione della sicurezza del cantiere tra le imprese esecutrici;*
- *verificare la congruenza dei piani operativi di sicurezza (POS) delle imprese esecutrici rispetto al proprio, prima della trasmissione dei suddetti piani operativi di sicurezza al coordinatore per l'esecuzione.*

Infine, nelle recenti disposizioni di modifica al D.Lgs. n.81/08, introdotte con la L. n. 215/2021, si prevede che (art. 18) il Dirigente debba individuare i preposti, e che (art 37) venga individuata specifica formazione obbligatoria per il datore di lavoro, questione ancora oggi non definita. Tali obblighi sono evidentemente delegabili dal datore di lavoro ai propri dirigenti e preposti: in tal senso, anche la recente giurisprudenza, ai fini dell'applicazione delle norme in materia di

tutela della salute e sicurezza sul lavoro, inquadra il *Direttore Tecnico di Cantiere* nel modello legale del dirigente, come definito dal D.Lgs. 81/08, facendo così assumere al soggetto che riveste tale ruolo una posizione di garanzia nei riguardi dei lavoratori operanti in cantiere.

Concludendo questa prima parte di inquadramento legislativo e normativo, per tutto quanto sopra evidenziato, assumono rilevanza ai fini della caratterizzazione della figura del *Direttore Tecnico* alcuni aspetti fondamentali:

- **il rapporto di immedesimazione organica** che si viene a creare tra il singolo *Direttore Tecnico* e l'Impresa - il *DT* rappresenta il soggetto apicale dell'Impresa ai fini della produzione in qualità ed in sicurezza dell'azienda, rivestendo un ruolo determinante nell'organizzazione della stessa, dirigendone l'attività e curando l'esecuzione dei lavori unitamente al Legale rappresentante.
- **il ruolo di rappresentanza dell'Impresa** - il *DT* rappresenta l'Impresa nei rapporti con la Stazione appaltante, solidalmente con il rappresentante legale dell'Impresa, assicura l'organizzazione, la gestione tecnica e la conduzione dei cantieri.
- la sfera delle **competenze** - al *DT* compete ogni adempimento di carattere tecnico-or-

- ganizzativo inerente all'esecuzione dei lavori di un determinato appalto.
- la sfera delle **responsabilità** – il DT risponde in merito alle responsabilità derivanti da:
 - **rapporto di lavoro** che lo vincola all'Impresa, sia questo di dipendenza o derivante da un contratto d'opera professionale;
 - **direttamente connesse dall'incarico assunto** nell'organizzazione dell'Impresa, con la quale, come detto, sussiste un rapporto di immedesimazione organica;
 - **deleghe ricevute** - il principio è che il DT risponde nei limiti delle deleghe ad esso attribuite a meno che tale figura coincida con il titolare/amministratore, nel qual caso compiti e responsabilità, ove non diversamente delegati, restano in capo allo stesso.

Il Direttore Tecnico di Cantiere: chi è e cosa fa

Per quanto emerso ed estrapolato dal quadro legislativo e normativo, possiamo delineare il profilo del *Direttore Tecnico* come la figura professionale dotata di integrità morale ed idonee capacità tecniche, commisurate alla natura e importanza economica dei lavori da eseguire, di cui un'Impresa di Costruzioni si avvale ai fini della qualificazione SOA, indispensabile per la partecipazione ed assunzione di Appalti di OO.PP. e non solo.

Il DT ricopre un ruolo dirigenziale in quanto, unitamente con il legale rappresentante, dirige le attività aziendali ed in forza di giusto mandato cura l'esecuzione dei contratti d'appalto acquisiti, rappresentando a tutti gli effetti l'Impresa nei confronti del Committente.

Il DT è responsabile dell'esecuzione concreta del contratto d'appalto, i suoi compiti riguardano l'organizzazione e la gestione tecnica delle attività necessarie all'esecuzione dei lavori, in ragione del suo mandato egli è tenuto ad agire nell'interesse del datore di lavoro, sia sotto il profilo delle obbligazioni contrattuali assunte che dell'interesse economico dell'Impresa stessa.

In particolare, nell'espletare il suo mandato il DT:

- sovrintende alle attività di pianificazione e programmazione dei lavori e delle risorse necessarie;
- verifica la sostenibilità economica del budget operativo, analizza le criticità e stabilisce le strategie da attuare;
- impartisce le direttive al Direttore di Cantiere ed al personale operativo di cantiere;
- assume il personale di cantiere e ne gestisce la formazione;
- effettua la scelta dei fornitori/subappaltatori e sottoscrive gli ordini e i contratti passivi,

- gestisce i rapporti con il Committente, la Direzione Lavori, i Collaudatori e tutti i soggetti terzi, partecipa alle riunioni tecniche-organizzative;
- sottoscrive gli atti tecnici, contabili e amministrativi;
- analizza le varianti, formula offerte e perizie, sottoscrive contratti e atti aggiuntivi;
- controlla l'attuazione degli obiettivi tecnico-qualitativi ed economici della Commessa;
- coordina le attività connesse alla gestione di eventuali contenziosi.

Quando il DT viene incaricato della direzione di cantiere diventa DTC ed è anche responsabile della conduzione del cantiere in ordine alla disciplina e gestione tecnica, nonché della buona esecuzione dell'opera, ed in relazione a ciò:

- organizza il cantiere e l'impiego dei mezzi d'opera;
- verifica la cantierabilità del progetto ed individua soluzioni efficaci;
- individua le necessità di approvvigionamento e predispone le richieste di offerta;
- preposti per impartire direttive e istruzioni;
- assicura l'osservanza delle norme in materia di igiene e sicurezza ed adotta tutti gli accorgimenti utili a scongiurare il pericolo che si verifichino eventuali incidenti;
- gestisce e coordina i contratti di fornitura e subappalto;
- verifica la corretta esecuzione delle lavorazioni e dispone per il trattamento di eventuali vizi o non conformità;
- verifica la rispondenza dei materiali e delle lavorazioni alle certificazioni/dichiarazioni previste per legge e dal contratto;
- sovrintende alle prove in corso d'opera e partecipa alle attività di collaudo;
- verifica la contabilità lavori, rileva costi e ricavi di produzione per verificare l'andamento economico della Commessa a fronte delle programmazioni effettuate;
- predispone la documentazione di chiusura della Commessa.

Il Direttore Tecnico di Cantiere e la Commessa

Con la sottoscrizione di un contratto d'appalto nasce, per l'impresa, la Commessa Edile ed in relazione ad essa, per tutto quanto sopra detto, gli organi direttivi dell'Impresa nominano un Direttore Tecnico di Cantiere, conferendogli - con opportune deleghe o procure notarili - mandato di rappresentanza dell'Impresa nei confronti della Stazione Appaltante ed attribuendogli i necessari poteri per compiere tutti gli adempimenti di carattere tecnico-organizzativo occorrenti per la realizzazione dei lavori.

Solo con opportune deleghe o procure il Direttore

Tecnico può essere indicato come responsabile del cantiere (o direttore di cantiere) e come tale destinatario, non solo degli obblighi e delle responsabilità in materia di prevenzione e sicurezza sul lavoro ma, anche, delle responsabilità tecniche in ordine all'osservanza delle norme in materia di costruzioni (*buona esecuzione dell'opera*). Le responsabilità e i poteri attribuiti al *DTC* possono essere sia di tipo amministrativo che tecnico. In particolare, a titolo di esempio:

- **poteri amministrativi:** prendere in consegna i lavori, firmare la corrispondenza, i verbali, la contabilità, iscrivere le riserve, ecc.
- **poteri tecnici:** organizzare la sicurezza in cantiere, organizzare le lavorazioni in ordine alle scelte tecniche esecutive, stipulare contratti per l'acquisto di forniture o l'affida-

mento di lavori in subappalto, assumere/licenziare manodopera, ecc.

Il *DTC* ricopre, dunque, un ruolo apicale nell'organizzazione dell'Impresa, dirigendo le attività di Commessa e curandone la gestione tecnico-economica, nonché l'esecuzione dei lavori in accordo con il titolare o legale rappresentante dell'Impresa: il suo nome sul tabellone di cantiere sostituisce a tutti gli effetti quello del legale rappresentante, divenendo egli stesso datore di lavoro.

Al di là delle obbligazioni assunte dall'appaltatore con la sottoscrizione del contratto d'appalto e "trasferite" al *DTC* per l'esecuzione della Commessa, non bisogna dimenticare che le Imprese di Costruzioni sono società a scopo di lucro, e dunque lo scopo societario è quello di ottenere dalla gestione dell'appalto la giusta remunerazione del capitale investito.

Project Management





Per cui, oltre a tutte le responsabilità che per legge il *DTC* è tenuto ad assumere in forza del suo mandato, nei riguardi dell'Imprenditore egli deve, anche, assicurare una corretta e oculata gestione dei costi previsti in budget per la realizzazione dell'opera e, più in generale, per l'esecuzione della Commessa, al fine di conseguire un risultato economico (margine operativo di Commessa).

Il *DTC* o Capocommessa è, dunque, responsabile della QUALITÀ dell'opera, del rispetto dei TEMPI contrattuali e del mantenimento dei COSTI a budget di quanto sta costruendo: ecco i 3 OBIETTIVI da tenere sempre ben chiari che occorre raggiungere.

Direttore Tecnico di Cantiere o Project Manager?

Negli ultimi anni, anche nel settore delle costruzioni è d'uso parlare della figura del Project Manager. Infatti, a causa della crescente complessità e della necessità di una maggiore efficienza nella gestione degli appalti edili/infrastrutturali, il ricorso a questa figura professionale è divenuto sempre più frequente: sia dal lato Committente - novità introdotta dal Codice degli Appalti

50/2016 ed ora confermata dal nuovo *D.Lgs. 36/2023*, in ambito LL.PP. e mutuata nei contratti di appalto tra privati, soprattutto committenti strutturati (es. assicurazioni, banche, fondi immobiliari, S.G.R., ecc.) - che dal lato Impresa, volendo in questo caso identificare questa figura con il Capocommessa.

Ma il DTC o Capocommessa è un Project Manager?

Senza voler entrare nell'ambito normativo che regola questa professione (UNI 11648:2022), vogliamo solo qui evidenziare quanto siano rilevanti - per il *DTC* - le competenze di Project Management, e come l'applicazione delle tecniche che supportano questa disciplina - che lo stesso deve conoscere e praticare - siano indispensabili per conseguire gli obiettivi prefissati. Il ruolo del PM è quello di coordinare il team di lavoro, assicurare che il budget e i tempi siano rispettati e garantire che il progetto venga completato con successo. Tuttavia, in considerazione della particolare tipologia di progetto del nostro settore, durante la fase costruttiva gli aspetti tecnico-produttivi si fondono con quelli organizzativi-gestionali e, dunque, oltre alle competenze di *Project Management*, per svolgere con efficacia

il proprio ruolo, il PM deve possedere, anche, adeguate competenze tecniche ed esperienza specifica nelle costruzioni (*know-how*). Ecco perché, nel nostro settore, è preferibile parlare di *Construction Project Manager (CPM)*.

Infatti, nel ciclo di vita di un progetto - nel nostro caso la Commessa - la fase costruttiva è un momento focale: l'opera da realizzare viene concretamente messa nelle mani dell'appaltatore, il quale con propria organizzazione e autonomia imprenditoriale deve assicurare il risultato nel rispetto degli obiettivi contrattuali e d'Impresa. Fondamentale - per il *DTC* - è il *come fare*, cioè la competenza tecnica costruttiva del sapere *come costruire* l'opera! Infatti, i progetti d'appalto descrivono l'opera già finita, così come sarà una volta realizzata, spetta invece all'Impresa - e dunque al suo *DTC* - organizzare, con autonomia imprenditoriale e gestionale, i mezzi e le risorse necessarie per la realizzazione dell'opera, non solo in ordine alle tecniche costruttive ma, anche, alla bontà del progetto da realizzare, verso il quale assume un'obbligazione contrattuale di risultato, il tutto allo scopo (d'Impresa) di conseguire un risultato economico.

Per cui, il lavoro da fare è davvero tanto: pianificare e programmare lavorazioni, tempi e costi, organizzare risorse umane, mezzi, materiali e finanziarie, avviare le attività con giusta conseguenza e coordinare le interferenze, controllare e gestire le problematiche impartendo indicazioni ed attuando strategie correttive, il tutto per portare a compimento l'opera perfettamente funzionante e collaudabile, con soddisfazione non solo di ogni adempimento contrattuale ma, anche, del raggiungimento degli obiettivi economici d'Impresa.

Conclusioni

Per affrontare l'appalto per la costruzione di un'opera occorre aver ben chiaro non solo il progetto da realizzare ma, anche, il processo costruttivo e l'organizzazione da mettere in campo per soddisfare il contratto, il tutto con chiara strategia e visione imprenditoriale mirata al raggiungimento di un risultato oltre che di soddisfazione per il Cliente (*compimento dell'opera perfettamente collaudata*), anche economico per l'Impresa.

Per questo, non basta aver disposto i giocatori in campo, averli dotati di mezzi, attrezzature e progetti, perché automaticamente il cantiere funzioni e l'opera venga costruita bene, nei tempi previsti e con soddisfazione (economica e non solo) di tutti, Impresa e Committente.

Occorre avere specifiche competenze tecniche, commisurate alla natura e complessità dell'opera non solo in ordine alla qualità del progetto da realizzare "a perfetta regola d'arte" ma, anche,

alle tecniche costruttive, alle fasi esecutive, ai processi di realizzazione, nonché all'organizzazione delle risorse e dei mezzi necessari da mettere in campo per l'esecuzione della stessa, in modo da soddisfare non solo gli impegni contrattualmente assunti ma, anche, un risultato economico per l'impresa.

Ma come si impara una visione del genere: come si impara il mestiere?

Come diventare Direttore Tecnico di Cantiere: la formazione

Una volta, le Imprese di Costruzione formavano i loro futuri Direttori Tecnici all'interno delle proprie aziende: giovani laureati, appena usciti dall'Università, venivano assunti ed affiancati ai *DT Senior* per iniziare il loro percorso di formazione "on the job" che - solo dopo una decina di anni trascorsi sul campo - li avrebbe portati ad essere pronti a *rappresentare tecnicamente* l'Impresa in cui erano cresciuti.

Purtroppo, oggi non è più così, le Imprese "ambidestre", quelle che da un lato assicuravano la produzione e la costruzione dell'opera e dall'altro promuovevano la crescita e la formazione del personale, non esistono più.

Il mercato del lavoro è cambiato, i bassi profitti e la velocità che impera su tutto hanno spinto le Imprese ad abbandonare la formazione *in affiancamento* del personale, con conseguente *perdita di Know-how* non solo aziendale ma, anche, di professionalità sul mercato.

Oggi le Imprese di Costruzioni non hanno più una propria organizzazione stabile ma si strutturano solo il tempo necessario per svolgere una specifica Commessa ricercando sul mercato - di volta in volta - le necessarie competenze, il più delle volte senza trovarle. Vengono così assunti giovani profili inesperti (a basso costo) che, alla prima difficoltà, si rivelano inadeguati alla naturale complessità dell'appalto, oppure si ricorre a consulenti esterni - tecnicamente anche competenti ma senza una specifica "*visione d'Impresa*" - che, in ogni caso, ultimata la costruzione, portano via il *know-how* acquisito senza lasciare alcun valore aggiunto per l'Impresa.

Ma così l'azienda non cresce, non riesce ad acquisire quella *visione strategica d'Impresa* che permette al Direttore Tecnico, che la rappresenta, di focalizzare chiaramente le criticità tipiche degli appalti di costruzione e di mettere in campo ogni azione per raggiungere gli obiettivi prefissati.

Affinché le cose funzionino, anche in cantiere, ci vuole quella magia, quell'arte che è sempre stata qualcosa di più della formazione di base, delle teorie, delle norme, delle regole, quel mestiere che si impara con l'esperienza, per

affiancamento ad un Direttore Tecnico Senior, osservando le sue azioni in contesti e situazioni diverse e assimilando la sua arte.

Per intraprendere la professione di *Direttore Tecnico di Cantiere* ed essere pronti a ricoprire tale posizione non basta, dunque, essere un ingegnere o un architetto, oltre alla formazione di base occorre ampliare le proprie conoscenze nei diversi ambiti, non solo tecnici specifici hard skills - (es. *sicurezza, antincendio, termica, acustica, BIM, giuridico-legislativo e normativo, ecc.*) ma, anche, più trasversali - soft skills - (*Project Management, Agile, Coaching, Team Building, Comunicazione, Negoziazione, ecc.*), il tutto unito all'esperienza pratica sul campo per dar vita a quelle competenze fondamentali, quell'*arte*, quella *maestria*, indispensabili allo svolgimento di questa particolare professione.







**IMPLEMENTAZIONE DEL
D.LGS.35/11 PER I CONTROLLI
DI SICUREZZA SULLA
PROGETTAZIONE STRADALE**



**RECEPIMENTO DELLA DIRETTIVA 2019/1936/CE
IN TEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA
DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI**

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA

a cura di:
Ing. Andrea Griffa

Commissione:
Infrastrutture Stradali

Revisione testi:
Ing. Marco Santucci

INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

Nel nostro pianeta più di un milione di persone ogni anno perde la vita in conseguenza ad un incidente stradale: purtroppo questo fenomeno resta stabilmente tra le prime cause di morte e di invalidità. Nonostante negli ultimi tempi i veicoli si siano equipaggiati dei migliori sistemi di sicurezza e di evolute tecnologie di assistenza alla guida, si siano promosse campagne informative di sensibilizzazione in merito (arrivando a coinvolgere i più giovani negli istituti scolastici), unitamente ad un incremento dei controlli delle autorità e sistemi di gestione dei soccorsi, non si è ancora riusciti a contrastare in modo significativo il problema dell'incidentalità. L'andamento di questo fenomeno a cui assistiamo inermi ha collocato la modalità di trasporto su gomma (la più diffusa ed utilizzata nel mondo) come la più pericolosa rispetto a quelle aerea, navale e ferroviaria.

Sebbene inopportuno imputare la causa di tale

problema al cosiddetto "fattore umano": sebbene il comportamento alla guida ricopra un ruolo fondamentale (in particolare per la distrazione, ad esempio per l'utilizzo dello smartphone), occorre ammettere che molte delle nostre infrastrutture presentano potenziali rischi e fonte di incertezza nella guida dell'utente, aspetti che vanno assolutamente azzerati per abbattere la possibilità di collisione. Questa rappresenta la missione di cui la progettazione stradale deve continuare a farsi carico con l'obiettivo di salvare vite umane.

Per risolvere un problema sociale così importante, nel corso degli ultimi anni si sono intraprese numerose azioni di Governo e delle relative commissioni, tra cui il programma "Horizon 2020" sottoscritto dalla Commissione Europea relativamente al periodo 2014-2020, destinando alla ricerca ed all'innovazione un budget di circa 80 miliardi di euro. Nei suoi contenuti una tematica basilare riguarda la protezione di tutti gli utenti della strada in tali eventi incidentali, al



fine di raggiungere il cosiddetto obiettivo “Vision Zero” (zero vittime su strada): un futuro senza incidenti stradali mortali che possa effettivamente diventare realtà. Poco tempo dopo nella Risoluzione dell’Assemblea Generale del settembre 2015, è stata adottata l’Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development), in cui si sono promosse numerose azioni nell’area economica, sociale e ambientale per i successivi 15 anni. Questo importante documento strategico ha identificato nella sicurezza stradale un prerequisito atto a garantire il benessere della collettività, promuovendo una vita sana e città più inclusive, sicure, resilienti e sostenibili; tra i diversi aspetti si sono inclusi due obiettivi (3.6 e 11.2) per la risoluzione di questo problema sociale, vale a dire quello di dimezzare entro il 2020 il numero globale di morti e feriti a causa dagli incidenti stradali (rispetto ai dati del 2011) e di assicurare a tutti, entro il 2030, l’accesso a sistemi di trasporto sicuri, economici e soste-

nibili, migliorando la sicurezza stradale (nello specifico potenziando il trasporto pubblico), con particolare attenzione alle esigenze degli utenti vulnerabili, quali ad esempio bambini, persone con disabilità ed anziani.

Tuttavia, buona parte di questi obiettivi risultano ancora disattesi e sebbene i dati nella Comunità Europea risultino in diminuzione, il trend non può definirsi incoraggiante: ciò è avvalorato dalla rilevante spesa pubblica del fenomeno di incidentalità, che prevede un costo esterno/sociale per la Comunità Europea stimato in 280 milioni di €, ovvero circa 2 punti percentuali del P.I.L. della stessa U.E.

Nel campo dell’ingegneria stradale, con l’intento di conseguire tali obiettivi la stessa Comunità Europea ha emanato una specifica Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture, richiedendo specifici controlli, un’accurata pianificazione degli interventi a valle di una classificazione della rete di interesse internazionale. In considerazione degli effetti e della tendenza certamente non positiva, la suddetta Direttiva è stata poi aggiornata ed implementata con l’emanazione di una nuova Direttiva 2019/1936/CE per azioni più incisive in termini di approccio e dei provvedimenti necessari per incrementare la sicurezza stradale. Nello specifico, oltre ad incrementare il campo di applicazione il Legislatore ha promosso un approccio di tipo “proattivo” di valutazione integrata della sicurezza sulle strade, non più focalizzandosi sulla disamina dei dati degli incidenti rilevati dalle autorità competenti (approccio “ex post”) ma sostenendo metodi cosiddetti predittivi, sulla base delle caratteristiche progettuali ed intrinseche delle infrastrutture (cosiddetto “ex ante”). Inoltre, all’interno dei contenuti della stessa Direttiva si è passati dalla Valutazione alla Gestione della Sicurezza Stradale, ovvero di accettare e governare un livello di rischio sulle nostre strade, utilizzando sistemi più tecnologici ed una banca dati dell’intera rete specifica sul fenomeno di incidentalità nel tempo, adeguandosi a quanto già in uso in campo strutturale per gli eventi sismici ad esempio. L’efficacia di tali azioni non può prescindere da un continuo aggiornamento della classificazione della rete di viabilità, come esplicitamente indicato agli Stati Membri, al fine di individuare i tratti di rete viaria distinte in funzione del livello di sicurezza intrinseco, valutato tramite specifiche ispezioni atte a stabilire le priorità di intervento. Infine, particolare attenzione è stata dedicata agli utenti più vulnerabili (anche rispetto alle nuove esigenze e soluzioni di mobilità) ed alla segnaletica, aspetto assolutamente non secondario, anche in ottica dei sistemi automatizzati di assistenza alla guida (in gergo conosciuta come “guida autonoma”).





RECEPIMENTO DELLA DIRETTIVA EUROPEA IN ITALIA

Con specifica Legge Comunitaria 4 giugno 2010, n. 96 è stata conferita delega ai Governi di tutti gli Stati Membri per il recepimento della Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture: la stessa si prefiggeva l'obiettivo di migliorare il livello di sicurezza delle strade appartenenti alla rete stradale Transeuropea (TEN-T sia "core" che "comprehensive"), mediante l'introduzione di una serie di procedure atte a migliorare la sicurezza delle infrastrutture stradali, nelle diverse fasi di pianificazione, progettazione, realizzazione e gestione. A livello nazionale il recepimento della suddetta Direttiva si è tradotto nell'emanazione del D.Lgs. n.35/2011: entrato ufficialmente in vigore il 23 aprile 2011, ha assegnato all'Organo Competente (in seno al Ministero Infrastrutture e Trasporti) il coordinamento delle attività e di una pluralità di soggetti, con il minimo comune denominatore del miglioramento della sicurezza delle infrastrutture stradali. Il Decreto ha limitato il campo di applicazione alle infrastrutture appartenenti alla Rete Ten-T, introducendo tra le novità principali specifiche figure denominate "Controllori" o "Auditors", professionisti incaricati dall'O.C. con il compito di ve-

rificare i principi di sicurezza stradale durante le differenti fasi di progettazione (o più precisamente durante la stesura del progetto, in modo che le risultanze possano essere recepite già nelle scelte progettuali) e di condurre specifiche ispezioni sulla rete stradale esistente, durante la fase di esercizio dell'infrastruttura, anche per valutare gli effettivi benefici. Nello specifico il Decreto si applica in fase di pianificazione, di progettazione, in costruzione o già aperte al traffico; inoltre nell'art.4 comma 3 dello stesso è esplicitato che *"le risultanze dei controlli della sicurezza stradale costituiscono parte integrante della documentazione per tutti i livelli di progettazione e sono da ritenersi elementi necessari ai fini della approvazione dei progetti da parte degli organi preposti e della successiva realizzazione dell'opera, fino all'emissione del certificato di collaudo"*.

Sulla scorta di ciò la sicurezza stradale assume un valore fondamentale nelle scelte progettuali degli interventi, con un impatto quasi preponderante rispetto alle altre tematiche.

A livello operativo, il processo progettuale richiede questa fase di Controllo, espletata come verifica e disamina degli aspetti stradali della documentazione del progetto, approfondendo ed analizzando i contenuti e gli aspetti anche solo

di riflesso sui flussi di traffico delle viabilità soggette a Controllo. In termini di documentazione il Decreto ha introdotto uno specifico documento di inquadramento e valutazione tecnica dell'intervento, la VISS, Valutazione di Impatto Sicurezza Stradale, da redigere prima della stesura del progetto di fattibilità tecnico-economica, determinante già in fase di pianificazione e nelle scelte progettuali dell'intervento. I contenuti dello stesso sono ben specificati nell'art. 2 ed Allegato 1 del Decreto, dovranno affrontare in modo esaustivo gli aspetti di sicurezza stradale, con specifico riferimento ai dati di incidentalità ed all'entità e tipologie di traffico previste. Altresì dovrà prevedersi uno specifico confronto di differenti alternative di tracciato, da valutarsi a mezzo di analisi multicriteria, in cui la sicurezza stradale assume un fattore determinante (indicata con un peso maggiore) rispetto ai costi dell'intervento e relativi impatti sul territorio. In un momento storico di partecipazione attiva dell'utenza (riferendosi ad esempio alla procedura di Dibattito Pubblico), di digitalizzazione dell'informazione reperibile facilmente in rete, questo Decreto vuole tracciare una linea decisa e categorica che la sicurezza stradale debba rappresentare il primo aspetto da perseguire nella progettazione delle infrastrutture stradali. Si rimanda alle Linee Guida del Decreto stesso emanate con il D.M. n.317 del 02.05.2012 per un approfondimento degli elementi tecnici ed aspetti gestionali di quanto riportato, ivi compresi i contenuti della VISS.

Oltre ad i Controlli sulla progettazione degli interventi gli stessi Controllori sono incaricati anche delle ispezioni sulla rete esistente, incaricati dall'Organo Competente di un'analisi completa di tali infrastrutture, con l'ausilio di video e rilievi sul campo, al fine di identificare potenziali rischi alla circolazione, i cosiddetti "punti neri", causa di collisioni tra i veicoli che inficiano la sicurezza dell'utenza. A valle di tali attività di Controllo ed Ispezioni, si condividono le risultanze con l'Organo Competente che poi verranno tradotte in osservazioni, suggerimenti ed in alcuni casi prescrizioni per il gestore dell'infrastruttura, da attuare negli interventi progettuali per garantire opportuni standard di sicurezza all'utenza.

Sulla scorta di quanto riportato è di tutta evidenza nel pensiero del Legislatore che controlli e ispezioni delle infrastrutture stradali non debbano intendersi come fasi autonome ed avulse dal processo progettuale/gestionale (pur rappresentando le attività tecniche più rilevanti), ma devono far parte di un ciclo di attività consequenziali ed iterative, volte a perseguire un miglioramento della sicurezza attraverso una gestione ottimizzata della rete stradale. Nello specifico si rappresenta l'opportunità di favorire un'utile sinergia tra le diverse figure indicate

nello stesso Decreto, quali Organo Competente, Stazione Appaltante, Controllore e Progettista, con i relativi contributi.

Ciò tuttavia va sottolineato che il D.Lgs.35/11 si inserisce all'interno di un quadro normativo molto complesso ed in continua evoluzione, soprattutto in materia di disciplina degli appalti pubblici (non in ultimo la revisione in corso del D.Lgs. 50/2016 "Codice degli Appalti", che potrebbe comportare persino una rivisitazione delle fasi progettuali). Rappresentando la criticità relativa ai tempi, non va sottovalutato il rischio di conflittualità tra le diverse tematiche progettuali, ovvero le indicazioni derivanti da altre discipline e procedure, a titolo di esempio basterebbe citare il Dibattito pubblico, le valutazioni in tema ambientale (VAS, VIncA e VIA). In particolare, si evidenzia la possibile contrapposizione tra le valutazioni incentrate sull'inserimento paesaggistico-ambientale delle opere ivi compresa la riduzione del consumo di suolo, con gli aspetti propri della sicurezza stradale: tale "divergenza" potrebbe comportare riflessi in sede di confronto delle diverse alternative di tracciato già nelle prime fasi progettuali. Un'ulteriore criticità è relativa alla difficoltà di conciliare le attività di Controllo con l'esigenza di velocizzazione dell'iter approvativo, in particolare per gli interventi in cui si sono nominate le figure di Commissari straordinari (ai sensi del D.P.C.M. del 16 aprile 2021) a cui sono demandati poteri di deroga per accelerare l'approvazione delle opere stesse. Occorre pertanto uno sforzo comune per favorire un confronto costruttivo atto a garantire il conseguimento degli obiettivi di sicurezza stradale senza rallentare l'iter procedurale delle opere stesse.

RIFLESSI DELL'IMPLEMENTAZIONE DEL DECRETO SULLE FASI PROGETTUALI

L'aggiornamento della Direttiva Europea (2019/1936/CE) ha reso necessaria la rimodulazione dei contenuti del D.Lgs. 35/2011 che si è tradotta con l'emanazione dello specifico D.Lgs.213/2021: tra le principali modifiche è stato esteso il campo di applicazione dei Controlli di Sicurezza, dalla rete stradale transeuropea (Rete Ten-T) alle "Autostrade, Strade extraurbane principali e strade extraurbane che hanno usufruito di finanziamenti a valere su risorse stanziati dall'Unione Europea, siano esse in fase di pianificazione, di progettazione, in costruzione o già aperte al traffico". Per tutte le altre strade i contenuti del decreto costituiscono norme di principio, rimandando all'anno 2025 l'estensione a tutte le viabilità di interesse nazionale.

Sulla scorta dei dati attualmente disponibili della rete stradale nazionale si può facilmente constatare l'importante incremento di viabilità sog-





gette a Controlli di Sicurezza Stradale: per i tratti autostradali trattasi di circa 4.000 km in più rispetto a quanto previsto per la Rete TEN (circa il 50% considerati gli 8.000km totali) mentre per le strade extraurbane principali circa 1.500 km aggiuntivi (con una incidenza inferiore sul totale); a ciò vanno aggiunte le viabilità in fase di progettazione, non ancora quantificabili come sviluppo di rete stradale. Tuttavia, tra poco meno di due anni (dal 2025) il campo di applicazione del Decreto dovrebbe estendersi all'intera viabilità di interesse nazionale, con un incremento quasi esponenziale dei Controlli di sicurezza, considerando che soltanto per Anas S.p.A trattasi di un'estensione di circa 20.000 km.

Occorre tuttavia approfondire le viabilità appartenenti alla rete nazionale: nello specifico della "rete Ten" si sottolinea come essa comprenda un insieme d'infrastrutture di trasporto integrate, atte a sostenere e promuovere il mercato della Comunità Europea, la libera circolazione delle merci ed utenti per rafforzare la crescita, l'occupazione e la competitività dell'Unione stessa. Tuttavia a questa si affiancano altre viabilità di "rete primaria" quali le extraurbane principali tipo B ai sensi del D.M. 05/11/2001 che, seppur collegano importanti capoluoghi, interporti ed aeroporti, in alcuni casi non assolvono le stesse funzioni delle precedenti: va evidenziata la distinzione in termini funzionali e geometrici di tali viabilità, sebbene soggette ad importanti volumi di traffico, quando insistono in contesti antropici, ambientali e morfologici complicati. Ciò è

suffragato dal fatto che la stessa progettazione in alcuni casi è sottoposta ad importanti vincoli (di diversa natura) che non consentono la libera scelta di tracciato stradale o che richiedono importanti risorse economiche per realizzare tali opere che mettono in discussione gli stessi benefici motore degli interventi di progetto.

Inoltre, occorre segnalare l'eterogeneità della rete stradale nel territorio nazionale, in termini di elementi costitutivi della piattaforma pavimentata, delle caratteristiche plano-altimetriche dettate dal differente contesto territoriale ed antropico che contraddistinguono ciascuna infrastruttura, sebbene trattasi della stessa tipologia o categoria stradale. A ciò va aggiunto il fatto che non tutte le stazioni appaltanti dispongano degli stessi mezzi e risorse economiche per la progettazione e la gestione delle viabilità: nel merito si evidenzia come allo stato attuale stiamo assistendo ad un processo di cessione di competenze di interi tratti di viabilità tra gli Enti gestori, al fine di garantire maggiore continuità territoriale e soprattutto gestionale, in ottica di una loro futura implementazione o semplicemente per ovviare l'attuale frammentazione delle competenze. Nel merito è di tutta evidenza che alcune viabilità di rango inferiore, non adeguate alla funzione a cui assolvono, siano state classificate come strade extraurbane principali o secondarie soltanto per garantire una manutenzione e centralizzata, oppure per reperire le risorse necessarie per mettere in atto necessari interventi progettuali.



La stessa rete stradale nazionale presenta al suo interno alcune "anomalie" in termini di classificazione tecnico-funzionale, in particolare negli itinerari a lunga percorrenza: in considerazione del contesto antropico, archeologico/ambientale di alcune infrastrutture (ad esempio che attraversano centri abitati o zone di difficile morfologia) si sono rese necessari limitazioni e deviazioni dei dettami normativi, che di riflesso comportano vincoli alla progettazione precludendo l'efficacia degli interventi in termini di sicurezza stradale. In taluni casi la frammentazione di categoria stradale o la variazione del numero di carreggiate inficia l'effettivo beneficio dei Controlli di Sicurezza Stradale, che a rigore risultano obbligatori soltanto per infrastrutture principali (autostrade ed extraurbane principali), disattendendo di fatto un'effettiva analisi globale della sicurezza stradale dell'intero itinerario, da cui valutare le effettive criticità e di conseguenza pianificare le priorità di intervento. Sulla scorta di quanto suddetto, in termini gestionali ed operativi va considerato che l'attuale e futura implementazione (rimandata all'anno 2025) del campo di applicazione del D.Lgs.35/2011 comporta un imprescindibile appesantimento del processo di progettazione ed autorizzazione degli interventi, determinando importanti oneri per l'Organo Competente e le Stazioni Appaltanti, in merito alla programmazione delle attività di Controllo ed alla conseguente gestione (in termini di risorse e tempi, difficilmente allineabili con l'iter procedurale

delle opere stesse). Tale aspetto rende opportuna una rimodulazione in merito ai contenuti ed all'effettiva necessità dei Controlli di Sicurezza Stradale sulle differenti tipologie di intervento, mediante specifica circolare esplicativa, al fine di garantire l'efficacia ed il giusto apporto di tali attività, nel rispetto dell'idea del Legislatore di garantire gli obiettivi di riduzione di incidentalità ed incremento della sicurezza stradale.

PROPOSTE E POSSIBILI MIGLIORAMENTI

Sulla scorta dell'esperienza decennale maturata in tema di Controlli di Sicurezza Stradale sulle differenti fasi di progettazione sono emersi alcuni aspetti da perfezionare e possibili spunti di miglioramento per rendere tali attività efficaci ed in linea con gli obiettivi prefissati dal Legislatore Europeo.

Si premette che tali attività presentano i maggiori benefici nelle prime fasi progettuali di pianificazione e sostenibilità degli interventi (fattibilità tecnico-economica) in analogia al momento procedurale di Dibattito Pubblico e di richiesta del parere al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per citarne alcuni.

La recente implementazione del Decreto ha inevitabilmente comportato un incremento in termini di oneri e tempi per i vari soggetti interessati che tuttavia richiederebbe una miglior definizione di tempi e contenuti delle attività di Controllo, al fine di scongiurare eventuali rallentamenti nell'iter autorizzativo delle opere pubbli-



che. L'incremento degli interventi assoggettati ai Controlli di Sicurezza Stradale necessita di una gestione sistematica di tali attività, indirizzando i contenuti da analizzare non soltanto in funzione della fase progettuale ma anche della tipologia di intervento e delle procedure autorizzative concluse o in corso, promuovendo tavoli tecnici comuni a più discipline ed indicazioni efficaci per perseguire la sicurezza stradale di tali infrastrutture (piuttosto che una mera applicazione normativa). Nello specifico si sottolinea come tali attività già richiedono un'accurata pianificazione e programmazione, atta a garantire la contestualità delle attività di Controllo con la stesura della progettazione ed evitare sovrapposizioni di attività negli stessi Controllori. Per questi ultimi va approfondito l'aspetto legato alla formazione: tali professionisti individuati dall'Organo Competente, in rif. all'art. 9 del D.Lgs. 35/11, se in possesso di formali e generici requisiti quali l'estraneità alle attività di progettazione, direzione lavori e collaudo dell'oggetto del Controllo, il possesso di Laurea Magistrale in ingegneria, l'iscrizione all'albo professionale da almeno 5 anni ed un certificato di idoneità professionale previa specifica formazione. Tuttavia, ad oggi non risultano attivi corsi di formazione riconosciuti, sebbene fossero stati indicati esplicitamente nel Decreto per una durata di 180 ore e svolti da organismi, Enti di ricerca, ordini professionali/associazioni operanti nel settore. Nel merito il Decreto aveva previsto tra l'altro un aggiornamento di durata non inferiore a 30 ore con cadenza almeno triennale per la formazione. Tale lacuna in alcuni casi ha comportato una disomogeneità nelle indicazioni dei differenti Controllori in relazione alla loro specifica esperienza e formazione tecnica, riscontrando interpretazioni improprie dei principi di sicurezza stradale, talvolta in contrasto con i riferimenti normativi cogenti. Tale aspetto sicuramente ovviato dall'esperienza e coordinamento dei tecnici dell'Organo Competente potrebbe essere risolto con una rivisitazione dei requisiti dell'albo dei

professionisti oppure con una rimodulazione dei contenuti delle Linee Guida del Decreto Stesso - DM n.317 del 02.05.2012. Queste ultime necessitano di un aggiornamento degli aspetti prettamente tecnici relativi alle valutazioni del fenomeno di incidentalità, ad una definizione chiara e dettagliata degli interventi da sottoporre a Controllo (distinguendone l'entità e l'effettiva efficacia degli stessi Controlli, ad esempio se relativi ad un minimo adeguamento/potenziamento delle infrastrutture oppure l'adeguamento di un'intersezione esistente senza riflesso sulla sicurezza stradale) ed infine indicazioni più specifiche sui contenuti della V.I.S.S. per la quale, dall'emanazione del D.Lgs.35/11, non risulta ancora pubblicato specifico Decreto Attuativo, indicato nello stesso Decreto.

Un'importante discontinuità nelle attività di Controllo di sicurezza stradale è legata al fatto che non si applicano *"alle strade in gallerie stradali che rientrano nel campo di applicazione del decreto legislativo 5 ottobre 2006, n. 264"*. Premesso che gli aspetti di sicurezza stradale non coincidono con le indicazioni del Decreto in materia di sicurezza in galleria, si sottolinea come l'implementazione del campo di applicazione alle viabilità non appartenenti alla Rete TEN presenti una commistione per i Controlli delle opere in sotterraneo che esulano dall'applicazione del D.Lgs.264/06 (limitato alla Rete Ten).

Non in ultimo, risulta imprescindibile per tali attività un aggiornamento delle normative cogenti per la progettazione stradale, la cui emanazione risalente a venti anni fa (DM 05.11.2001 e D.M. 19.04.2006) non risulta in linea alle attuali tecnologie, prestazioni del parco veicolare e non corrispondenza agli evoluti sistemi e comportamenti alla guida. Alla pari si rammenta la necessità di specifiche indicazioni tecniche relative all'adeguamento delle strade esistenti, argomento orfano di specifica norma (mai emanata) sebbene rappresenti la maggiore casistica degli interventi progettuali sulle nostre strade.



COMPETENZE INNOVATIVE: INSOURCING E OUTSOURCING IN SANITÀ

**Come dotarsi dei nuovi profili ingegneristici per
una gestione innovativa delle aziende sanitarie**





a cura di:
Ing. Federico Covino

Commissione:
Sistemi Informativi
Sanitari

in collaborazione con:
Ing. V. Lombardi,
Ing. M. Mayer

INNOVAZIONE DI PROCESSO

L'innovazione di processo è un concetto ampio e dinamico che affonda le proprie radici in decine di anni di sviluppo di metodi, tecniche e tecnologie ideate allo scopo.

Nell'attuale contesto competitivo, caratterizzato da molteplici fattori di aleatorietà dei mercati, l'innovazione di prodotto e di processo assume un ruolo sempre maggiore per la sostenibilità e lo sviluppo delle organizzazioni aziendali.

A tale indicazione di indirizzo macro-economico si agganciano numerosi standard internazionali per l'ottimizzazione e il miglioramento dei processi di business. La vastità e la numerosità di tecniche, tecnologie, metodologie e modelli che abbiamo a disposizione, unitamente alla multidisciplinarietà degli stessi – che spaziano dall'Information Technology, al controllo di gestione, al risk management, all'auditing, alla gestione aziendale, al project & change management – ha portato alla definizione *de facto* di nuovi specifici profili professionali sempre più diffusi in contesti aziendali ad alta complessità. Le aziende sanitarie rientrano spesso in tale categoria, siano esse pubbliche o private, e sono sempre più protagoniste del *cambiamento* in ottica digitale, anche per motivi di sostenibilità dei servizi clinico-assistenziali. In tale contesto, una delle declinazioni più diffuse di innovazione di processo è quella di "ottimizzazione organizzativa" derivante da due diverse tipologie di esigenze o opportunità:

- le prime, derivanti da motivazioni interne all'azienda, solitamente in termini di contenimento dei costi o incremento della produttività oppure in caso di operazioni societarie straordinarie (fusioni, scissioni, acquisizioni);
- le seconde, derivanti dal contesto esterno,

ad esempio in caso di importanti variazioni del volume o della tipologia di utenza.

Per poter meglio comprendere il perimetro dell'innovazione di processo, sono quattro i concetti chiave da definire: classi di miglioramento, dimensioni dell'ottimizzazione, livelli architetture e ambiti di ottimizzazione.

CLASSI DI MIGLIORAMENTO DI PROCESSO

Per prassi, si distinguono due diverse classi di miglioramento organizzativo e di processo: *breakthrough* e *kaizen*. La prima classe indirizza gli investimenti in ottimizzazione e innovazione che mirano a creare un incremento considerevole delle performance (intese nel senso più ampio del termine) in un periodo temporale relativamente breve (Figura 1). A tal fine viene solitamente istituito un gruppo di lavoro ad hoc, multidisciplinare, eventualmente con il supporto di specialisti esterni. Il raggiungimento dei nuovi livelli di performance avviene anche per il tramite di interventi di re-ingegnerizzazione dei processi.

La seconda classe indirizza invece un lavoro continuativo nel tempo di piccoli incrementi progressivi. Tale approccio viene generalmente implementato – in contrapposizione ai miglioramenti breakthrough – coinvolgendo attivamente la maggior parte della popolazione aziendale (Figura 2).

Vedremo in seguito come questi concetti si possano declinare in termini di governance dell'ottimizzazione organizzativa.

DIMENSIONI DELL'OTTIMIZZAZIONE

L'ottimizzazione di processo, traggurabile con *improvement* più o meno innovativi, si sviluppa lungo cinque dimensioni tra loro non indipendenti (Figura 3).

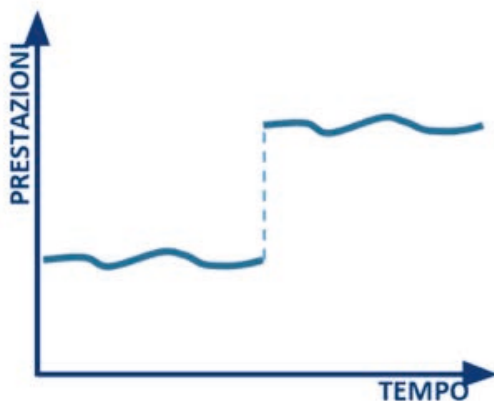


Figura 1

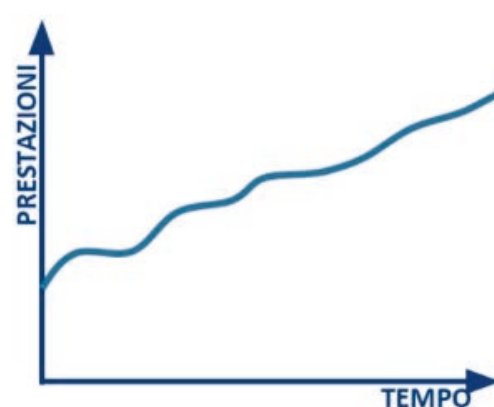


Figura 2



Figura 3

In primis, la *trasparenza*. Un solido controllo dei processi è un fattore fortemente abilitante per il miglioramento, un vero fattore critico di successo. A partire dalle caratteristiche dinamiche di un processo si individuano più facilmente i punti di forza e di debolezza intrinseci e si può meglio valutare l'introduzione di eventuali innovazioni. La trasparenza è intesa quindi come profonda e precisa conoscenza e controllo dei processi realmente espletati sul campo. In alcuni contesti rappresenta già un importante risultato, ben oltre la conoscenza procedurale-normativa del processo. In contesti aziendali già strutturati, rappresenta invece un prerequisito per l'ottimizzazione delle altre quattro dimensioni. A partire dalle caratteristiche quantitative di un processo si individuano più facilmente i punti di forza e di debolezza, i rischi e le opportunità, per meglio valutare l'introduzione di eventuali innovazioni. In questo ambito, sfruttando la digitalizzazione dei processi, il c.d. *Process Mining* è in grado di ricostruire automaticamente i flussi di processo, garantendo una trasparenza e un controllo con livelli di precisione non raggiungibili altrimenti.

La seconda dimensione è quella delle *performance*. In questo caso, l'elemento critico è capire quali performance incrementare per avere un proficuo e benefico effetto a catena tale da ottenere una ottimizzazione il più possibile globale, raggiungendo gli obiettivi strategici prefissati. Ottimizzare globalmente vuol dire, nel concreto, implementare un cambiamento organizzativo - anche tramite innovazioni - che sia in grado di migliorare determinate metriche senza innescare nuove inefficienze nelle altre ramificazioni organizzative. In ogni caso, si possono facilmente citare come classici obiettivi di performance il contenimento dei costi e l'incremento di produttività.

La *compliance* e la trasparenza sono probabilmente le due dimensioni più correlate. Anche in questo caso l'innovazione digitale abilita nuove tipologie di audit superando i limiti intrinseci dei

campionamenti, delle ricostruzioni manuali e delle interviste tipiche delle classiche verifiche. Con un adeguato uso delle nuove tecnologie per l'innovazione si può ottenere il totale controllo del reale livello di compliance, dal macroscopico al microscopico, ossia fino alla singola attività svolta da una determinata risorsa in un determinato momento. Maggiore è la velocità dei flussi informativi maggiore sarà inoltre la capacità di valutare in tempo reale i livelli di compliance.

La *flessibilità* è un ulteriore traguardo a cui le soluzioni per la sanità digitale devono mirare. Flessibilità intesa come resilienza e capacità di riorganizzare, in tempi congrui, il personale, la logistica, il tracciamento dei pazienti e la condivisione delle informazioni sia cliniche sia organizzative. In tale contesto rientrano le simulazioni e gli studi di performance e di flussi in diversi scenari alternativi (*what-if analysis*).

Ultima dimensione, non in ordine di importanza, è la *qualità*. Non potendoci occupare, in questa sede, dell'efficacia del percorso clinico ai fini della salute e del benessere del paziente, in questa dimensione possiamo far rientrare le analisi delle varianti di processo. Nel caso di una azienda sanitaria ramificata sul territorio, si effettuano dei benchmark per analizzare gli scostamenti tra l'operatività di reparti equivalenti appartenenti a diverse strutture, anche in relazione ai risultati di customer satisfaction.

Queste cinque dimensioni dell'ottimizzazione hanno a loro volta interfacce con le diverse dimensioni aziendali e organizzative. Il team incaricato per l'innovazione e l'ottimizzazione necessita cioè del coordinamento e della reciproca comprensione con i seguenti stakeholder:

- il vertice aziendale, che approva lo stesso investimento in innovazione;
- il management di primo livello del *core business* (*process owners*), che avrà un ruolo attivo anche nell'implementazione degli *improvement*;

- il controllo di gestione, il quale andrà anche a certificare la valenza economico-finanziaria dell'innovazione introdotta, ad esempio in termini di ritorno dell'investimento;
- l'Information Technology, attore di primaria importanza lungo tutte le fasi dell'ottimizzazione;
- le funzioni di quality, audit e risk management, nonché altre strutture aziendali di livello corporate eventualmente interessate.

Da tali considerazioni emerge con immediatezza, ai fini di una gestione innovativa dell'organizzazione aziendale, l'importanza della multidisciplinarietà e della formazione di competenze innovative nonché della creazione di nuovi profili professionali. In tal senso, l'ingegnere è sempre più chiamato a ricoprire un ruolo chiave nel governo del cambiamento, in particolare un ruolo di collegamento tra la parte tecnica e la parte operativa. L'alto livello di interfacciamento ci fa capire che è necessario garantire la reciproca comprensione tra l'area tecnica e l'area operativa di una organizzazione: l'ampliamento operativo del classico profilo dell'ingegnere agevola il confronto, la comprensione e la traduzione delle esigenze di alto livello in veri e propri piani di azione. E questo è fondamentale per il buon governo del cambiamento.

LIVELLI ARCHITETTURALI DELL'ORGANIZZAZIONE E AMBITI DI OTTIMIZZAZIONE

Ogni area di una determinata organizzazione aziendale è strutturata in diversi livelli architetturali tra loro collaborativi per il tramite di interfacce dedicate (Figura 4):

- *Business layer*, relativo al flusso delle attività eseguite dalle risorse umane; ricomprende quindi i processi, i ruoli e le responsabilità aziendali, le competenze e gli stakeholder di riferimento;

- *Application layer*, intendendo per esso i software di supporto, le risorse tecnologiche operative (ad esempio i sistemi clinici), i dati digitali con i relativi schemi e i flussi dei dati interni all'azienda ma anche da e verso l'esterno;
- *Technology layer*, in cui rientrano tutti gli aspetti infrastrutturali sia di tipo logistico che di Information Technology (elaborazione dati, networking, middleware etc.).

Tale classificazione ci consente di definire e documentare nel modo più esaustivo possibile l'ambito (*boundary*) entro il quale deve operare una iniziativa di ottimizzazione e innovazione. Parliamo cioè dell'ambito di progetto, concetto ben definito dalle tecniche di project management. Semplificando una azienda sanitaria nei servizi e processi riportati in Figura 5, il *boundary* di progetto può risultare:

- verticale, quindi limitato ad esempio al solo servizio di Pronto Soccorso;
- trasversale, interessando due o più "verticali", ad esempio nel caso volessimo analizzare i percorsi clinici nella loro interezza (*end-to-end*) per studiarne la fenomenologia e risolvere eventuali inefficienze organizzative.

La recente letteratura tecnica riporta inoltre numerose testimonianze di investimenti in innovazione di processi e servizi aziendali non appartenenti al *core business*. Difatti, esistono mediamente diverse opportunità di ottimizzazione dei processi "di supporto" comuni alle aziende di ogni settore merceologico: la gestione del ciclo passivo (*purchase-to-pay*), la gestione del ciclo attivo (*order-to-cash*), la logistica, le manutenzioni tecnologiche etc.

Generalizzando, i progetti di ottimizzazione possono essere orientati verso tutti quei processi complessi contraddistinti dalle seguenti caratteristiche:



Figura 4



Figura 5

- ripetitività – molteplici applicazioni nel tempo in tutte le sue varianti;
- misurabilità – dati quantitativi già disponibili o comunque rilevabili con un apposito piano di misura;
- controllabilità – possibilità di introdurre modifiche (improvement).

PANORAMA TECNOLOGICO DELL'INNOVAZIONE

Proiettiamo i suddetti quattro concetti sull'ampio panorama di standard, metodologie, modelli, tecniche e tecnologie ad oggi disponibili ai fini del governo e dell'innovazione dei processi di business, cercando così di delineare le principali competenze necessarie per una gestione innovativa dei processi di business.

PROCESS MINING

Il Process Mining [1] è una nuova disciplina dell'ingegneria informatica che sfrutta i dati digitali di una organizzazione complessa per ricostruire automaticamente i processi aziendali reali, al fine di espletare analisi organizzative, comportamentali, di compliance e di performance ad altissima precisione, rendendo possibili simulazioni di nuovi scenari organizzativi e ottimizzazioni ad alto impatto. Una delle massi-

me espressioni del Process Mining è la realizzazione di un sistema software che, monitorando in tempo reale l'evoluzione delle attività in corso (*running cases*), ne analizzi l'andamento e la conformità ai modelli di riferimento (piani, standard etc.), indicando la specifica attività che, ragionevolmente, dovrebbe essere attuata. Il supporto operativo real-time basato su Process Mining include allo stesso tempo la capacità di predizione, in termini probabilistici, dell'attività che si potrebbe attuare nell'immediato futuro.

Tutti gli strumenti ingegneristici e matematici per l'analisi dei dati e l'ottimizzazione organizzativa – quali, appunto, il Process Mining o il Lean Six Sigma – sono nati prevedendone un uso in back office, offline, su dati anche recenti ma comunque storici. A seguito della loro diffusione, si sono registrati molti sforzi – da parte della comunità scientifica e dell'Industria – nel trasportare tali strumenti in contesti on line, ossia nel renderli applicabili in tempo reale sulle lavorazioni in corso, traguardando in tal modo nuove frontiere nel supporto decisionale operativo. Il valore aggiunto è in effetti molto elevato: è possibile disporre di informazioni qualificate e precise sulla base delle quali adottare decisioni tattiche molto più efficaci.

Un esempio su tutti: i dati storici delle lavorazioni (erogazione di servizi, processi *corporate* etc.) possono essere utilizzati per costruire

modelli predittivi ad hoc. Combinando i dati in tempo reale - relativi alle lavorazioni attualmente in corso - con tali modelli predittivi si ottiene la stima, ad alto tasso di precisione, del tempo di lavorazione rimanente.

I tipici usi del Process Mining real time [2] sono:

- visualizzazione dell'avanzamento delle attività in tempo reale, rispetto ai processi organizzativi prestabiliti ("explore");
- predizione delle performance in termini di tempo rimanente, probabilità di rilavorazione etc. ("predict");
- rilevazione in tempo reale di non conformità, ossia deviazioni delle lavorazioni in corso dalle prescrizioni applicabili ("detect");
- suggerimento delle azioni/attività da intraprendere per minimizzare costi o tempi ("recommend");
- individuazione delle deviazioni ricorrenti per successiva valutazione di accettazione come nuovo standard de facto ("promote").

Il Process Mining è indiscutibilmente uno dei principali strumenti, seppur complesso, per trarre in Sanità nuovi importanti risultati in termini sia di ottimizzazione che di flessibilità.

Tornando all'uso *offline*, il Process Mining esprime

importanti potenzialità in termini di simulazione di scenari alternativi i quali possono essere utilizzati, oltre che a supporto del *change management* per l'ottimizzazione organizzativa sanitaria, anche per lo sviluppo di misure di *contingency* in scenari emergenziali. Ci ritroviamo quindi nel campo della gestione del rischio, quanto mai attuale, per il quale lo sviluppo dei Piani di Emergenza Nazionale dovrebbe essere una priorità, a favore della capacità di risposta organizzativa e gestionale a diverse emergenze.

Anche in tale ambito può intervenire efficacemente il Process Mining grazie al cosiddetto *play-out*: la capacità di generare dinamicamente scenari simulando l'applicazione di diverse soluzioni organizzative, verificandone poi le performance chiave. Una tale capacità si ritrova anche nei modelli costruiti artificialmente attraverso i sistemi di modellazione ad agenti o nella "*system dynamics*", con la differenza che questi ultimi sono artefatti manuali che non derivano da una ricostruzione affidabile e automatica dello scenario as-is. A ciò il Process Mining aggiunge il replay, la capacità di riprodurre la catena di eventi storici già registrati nei nuovi modelli organizzativi ipotizzati, per valutarne la diversa evoluzione.

STAKEHOLDER

V.O.C.

REQUISITI

C.T.Q.

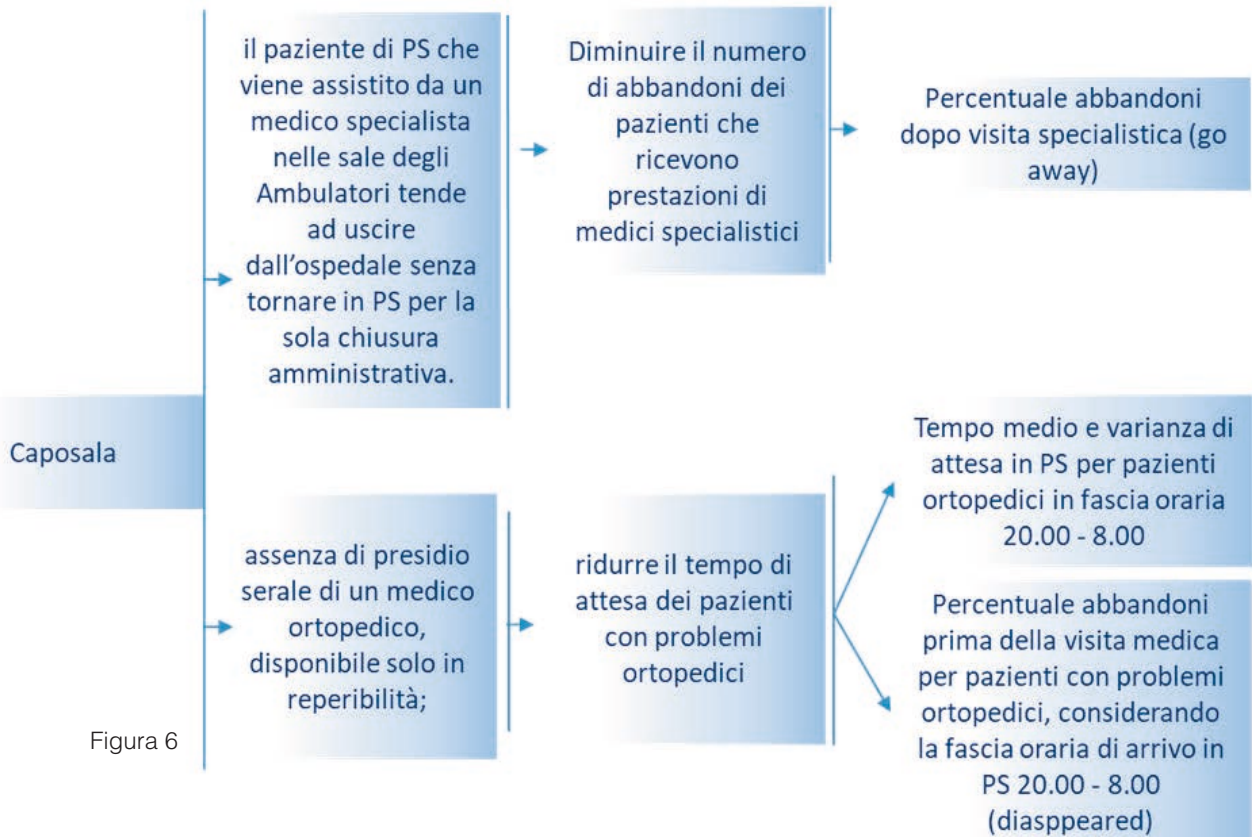


Figura 6

LEAN SIX SIGMA

Nato in ambito produttivo-manifatturiero ma ormai estremamente diffuso in sanità, il Lean Six Sigma è uno standard *de facto* che propone un proprio ciclo di vita per il controllo e l'ottimizzazione dei processi. Basato su un approccio quantitativo alla risoluzione di problematiche o alla progettazione di nuovi servizi/processi aziendali, può essere direttamente applicato su quattro delle suddette "dimensioni", esattamente: performance, compliance, flessibilità e qualità.

Uno dei principali insegnamenti che derivano dalla conoscenza di tale standard, è la sistematicità con cui è necessario approcciare inizialmente un percorso di ottimizzazione e innovazione. La traduzione dei desiderata di alto livello dell'azienda in obiettivi specifici, misurabili e coerenti è probabilmente l'attività più critica, pena l'innescio di rilavorazioni indesiderate fino al fallimento dell'investimento.

Sono molti gli strumenti metodologici e matematici indirizzati dal Lean Six Sigma per l'ottimizzazione di un servizio aziendale.

Per la definizione degli obiettivi di progetto, a partire da un *business case* di alto livello, uno dei principali strumenti prende il nome di *CTQ-tree* (Figura 6). Trattasi di una metodologia di

"elicitazione" che prevede di intervistare tutti gli stakeholder interessati dal business case al fine di registrarne le considerazioni sulle problematiche e potenziali inefficienze. Ogni singola considerazione prende il nome di V.O.C. (*Voice Of the Customer*) e viene successivamente tradotta in veri e propri requisiti. Tale traduzione è un passaggio di tipo ingegneristico, in quanto deve garantire la definizione di requisiti non ambigui, misurabili e che non indirizzino già una possibile risoluzione. Per ultimo, ogni requisito viene tradotto in una o più metriche che prendono il nome di C.T.Q. (*Critical To Quality*). Eventuali incompatibilità rilevabili all'interno del *CTQ-tree* possono essere risolte introducendo dei valori di priorità ad ogni livello dell'alberatura ottenuta. Come posso individuare le cause primarie che generano performance indesiderate dei C.T.Q. individuati? La *root causes analysis*, in tal caso, può essere efficacemente eseguita a partire da un consolidato strumento già noto ai più: il diagramma di Ishikawa (Figura 7). Sulla "testa" del diagramma andremo a posizionare il CTQ espresso con formulazione negativa, sviluppano poi cause e sottocause lungo le dimensioni più opportune (fattore umano, organizzazione, logistica, strumentazioni etc.). Il combinato di-



Figura 7

sposto del CTQ-tree e della relativa *root causes analysis* ci garantisce una ottimizzazione il più possibile globale per l'organizzazione, nel senso già sopra discusso.

I numerosi strumenti di analisi visuale e statistica organizzati dal Lean Six Sigma ci consentono, a seguire, di confermare la significatività statistica delle cause primarie così individuate, escludendo quindi quelle la cui risoluzione non avrebbe una reale efficacia sull'organizzazione. Infine, a valle dell'attività di reale implementazione operativa della re-ingegnerizzazione dei processi e della relativa innovazione – in uno o più dei tre “livelli architetturali” sopra definiti – si arriva, dopo un tempo congruo, alla fase di verifica dell'efficacia. A tal fine si possono ricalcolare i nuovi valori dei CTQ che, sperabilmente, risulteranno in valore assoluto migliorati rispetto ai valori iniziali. Quando possiamo dirci “soddisfatti” di tale miglioramento quantitativo? Per certificare la “significatività statistica” dei nuovi valori, il Lean Six Sigma indirizza una classe di strumenti statistici che prende il nome di *test di ipotesi*, con i quali è possibile confermare che il nuovo valore dei CTQ sottintenda una nuova distribuzione di probabilità delle performance e, quindi, che il nuovo processo *improved* stia realmente operando in modo migliore rispetto al precedente *status quo*.

ENTERPRISE ARCHITECTURE

Il cuore della disciplina di *enterprise architecture* risiede nella visione ingegneristica di una azienda e della sua organizzazione. L'azienda può essere infatti intesa come un sistema complesso, un sistema di sistemi. Con tale assunto è allora possibile predisporre una rappresentazione in termini di *systems engineering* o, meglio, di architetture di sistemi.

Ecco, quindi, che l'organizzazione aziendale può essere scomposta e rappresentata secondo i tre livelli architetturali già richiamati in precedenza (*business, application e technology layer*).

L'*enterprise architecture* fornisce in realtà un proprio ciclo di vita per il governo e il miglioramento organizzativo, con particolare focus sull'*Information Technology*. Nel caso dello standard TOGAF (*The Open Group Architecture Framework*) [4], tale ciclo di vita prende il nome di ADM (*Architecture Development Method*). Un disegno (progetto) di *enterprise architecture* schematizza l'intero stack dei tre layer, evidenziando anche le relative interfacce. A tal fine sono disponibili strumenti di modellazione delle architetture utili a supportare il ciclo ADM.

Nel complesso, la disciplina dell'*enterprise architecture* richiede una prima fase di riorganizzazione interna finalizzata al suo stesso recepimento attraverso l'organizzazione di un re-

parto specializzato composto da esperti di tale disciplina. Solo in una seconda fase è quindi possibile attuare operativamente i cicli ADM. In generale, tale disciplina può essere sfruttata per operare lungo tutte le cinque dimensioni dell'ottimizzazione sopra definite.

BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

Il *Business Process Management* (BPM) è uno standard consolidato di alto livello che si concentra sulla gestione ed ottimizzazione del ciclo di vita dei processi di business. In contrapposizione al Lean Six Sigma che ha natura progettuale e non ripetitiva, il BPM promuove un proprio lifecycle continuativo nel tempo (Figura 8) e quindi compatibile con i miglioramenti sia *breakthrough* che *kaizen*. In breve, le principali attività previste sono:

- *Process identification*, in cui - a partire da un determinato business case - si stabiliscono i principali processi organizzativi da far rientrare nell'ambito di progetto;
- *Process discovery*, fase dedicata a documentare nel dettaglio l'operatività dei processi in termini prevalentemente di flussi di attività e stakeholder coinvolti (*process models*);
- *Process analysis*, in cui si analizzano tutti i dati quantitativi raccolti e disponibili in ter-

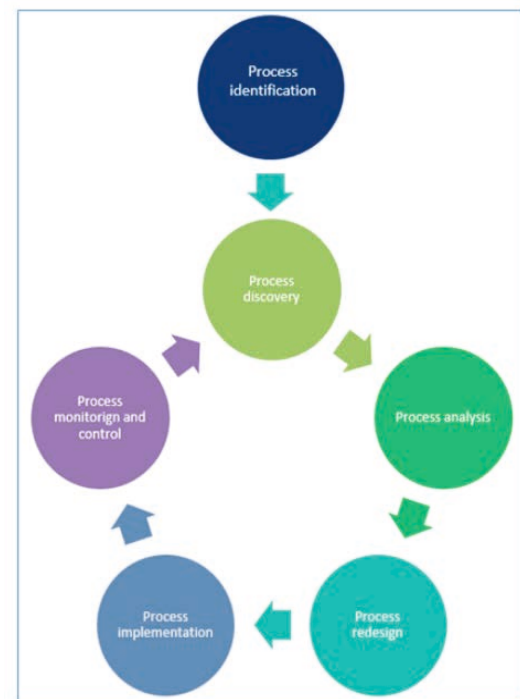


Figura 8



mini di tempistiche, costi, colli di bottiglia, pattern, uso delle risorse etc.;

- *Process redesign*, in esito alla quale si approvano gli improvement di processo (descritti anche formalmente tramite BPMN) sulla base delle evidenze quantitative analizzate in precedenza;
- *Process implementation*, fase in cui l'azienda implementa operativamente il nuovo disegno di processo, anche intervenendo a livello di *Information Technology*;
- *Process monitoring and control*, finalizzata a verificare il rispetto delle nuove modalità operative e la relativa efficacia ed efficienza nel tempo.

Risulta evidente come il livello di astrazione del modello BPM renda compatibile e integrabile il suddetto lifecycle con il Process Mining e il Lean Six Sigma soprattutto in relazione alle attività di *discovery, analysis e monitoring and control*.

Il BPM si completa infine di un linguaggio di modellazione dei processi, denominato Business Process Model and Notation (BPMN), con il quale è possibile descrivere formalmente e con estremo dettaglio i flussi dei processi e i relativi stakeholder.

AGENT BASED MODELING

Ci troviamo in questo caso davanti ad una tecnologia più che una metodologia. L'Agent Based Modeling (ABM) può ricoprire un ruolo non secondario nell'ambito dell'innovazione e dell'ottimizzazione organizzativa. Con riferimento al BPM lifecycle, l'ABM interviene principalmente in due fasi:

- nel *process discovery*, andando a creare dei modelli computerizzati del processo

as-is per poi studiarne il comportamento dinamico previa configurazione degli input (frequenza di generazione degli "agenti") e delle capacità di processamento delle varie fasi;

- nel *process redesign*, modificando i suddetti modelli andando così a simulare e studiare gli effetti degli "*improvement*" introdotti a livello di processo.

ASPETTI DI GOVERNANCE

Il panorama tecnologico e metodologico sopra presentato richiama immediatamente un tema centrale: il governo delle nuove competenze e dei nuovi ruoli aziendali finalizzati al governo innovativo delle aziende.

Diversi sono i principi che possono guidare una buona governance dei processi di business in ottica di innovazione e ottimizzazione. Ne riportiamo alcuni tra i principali.

Rifacendoci ai concetti sopra illustrati di *business case* e definizione degli obiettivi, diversi standard internazionali focalizzano l'importanza di garantire il continuo allineamento alle strategie aziendali di alto livello. Il COBIT [3], standard di *IT governance*, prevede nella sua versione numero 5 un meccanismo denominato *goal cascade*, secondo il quale i business case di ottimizzazione e innovazione devono derivare anche da una analisi sistematica delle strategie aziendali (ad es. il piano industriale).

Relativamente al fattore umano, un fattore critico di successo è il *commitment*, da ottenere in modo esplicito a partire dal Vertice aziendale unitamente al coinvolgimento di tutti gli stakeholder necessari, soprattutto in caso di iniziative *breakthrough*.

Al fine di fornire feedback e risultati all'orga-

nizzazione in tempi congrui, nonché per evitare di incappare in cambi di contesto tali da compromettere la significatività dei dati oggetto di analisi, un progetto di ottimizzazione deve preferibilmente individuare e implementare gli *improvement* in circa 3 mesi; nel complesso la durata totale non dovrebbe superare i 6 mesi. A tale limitata durata dei progetti può aggiungersi una strategia di ottimizzazione per fasi, con consolidamento progressivo dei risultati. Scompare l'obiettivo di ottimizzazione in risultati intermedi, seguendo un approccio incrementale e progressivo risulta una strategia efficace anche al fine di limitare i danni in caso di eventuali sospensioni del progetto. I progetti di miglioramento possono essere infatti soggetti ad interruzioni più o meno definitive a causa, generalmente, di cambi di priorità organizzative. In tale ottica, si cerca di raggiungere inizialmente i risultati più semplici, in letteratura denominati "vittorie semplici" (*quick wins*).

La creazione di competenze innovative e di nuovi ruoli e servizi aziendali a beneficio dell'innovazione possono essere strategicamente organizzate in due macrofasi, soprattutto in riferimento al Process Mining.

Una prima macrofase di tipo progettuale, di stampo *breakthrough*, implementata con il supporto di specialisti esterni: garantendo un adeguato coinvolgimento degli stakeholder interni lungo tutto il flusso delle attività, è possibile operare anche un trasferimento del *know how* finalizzato ad internalizzare nuove competenze. La seconda macrofase mira conseguentemente a costituire un servizio aziendale interno (Center of Excellence), in grado di operare in autonomia, finalizzato a garantire il monitoraggio e

controllo dei processi nonché ad attivare iniziative sia di tipo *kaizen* che nuovamente di tipo *breakthrough* (Figura 9).

In una tale *governance* a doppia macrofase è evidente come l'elemento critico di successo sia il fattore umano. La complessità dell'innovazione di processo deriva dal contestuale coinvolgimento di aspetti organizzativi, tecnici e psicologici. **Le diverse tecniche di gestione proposte in letteratura concordano nel dire che il cambiamento deve essere capito, accettato, condiviso e adottato.**

Un esempio su tutti è il cosiddetto modello A.D.K.A.R., (Awareness, Desire, Knowledge, Ability, Reinforcement) sviluppato dalla collaborazione di circa mille aziende di 59 diversi paesi sotto il coordinamento di *Prosci*. Secondo tale modello, sono cinque gli aspetti critici della gestione del cambiamento dal punto di vista delle risorse umane (Figura 10).

In una prima fase di Awareness, l'azienda deve comunicare agli stakeholder interni le motivazioni che rendono necessario un investimento in ottimizzazione e innovazione. Tale comunicazione deve essere tale da attivare la piena adesione da parte del Personale (*Desire*). Prima di poter attivare il progetto, è necessario però individuare i gap interni in termini di competenze (*Knowledge*), completando in tal modo la cosiddetta "abilitazione del cambiamento". La successiva fase di ingaggio delle risorse umane per l'implementazione del cambiamento organizzativo prevede quindi una fase di risoluzione dei gap, creando nuove professionalità e nuovi profili comportamentali (*Ability*): vediamo quindi che tale modello entra anche all'interno della sfera psicologica. La fase finale di Rein-

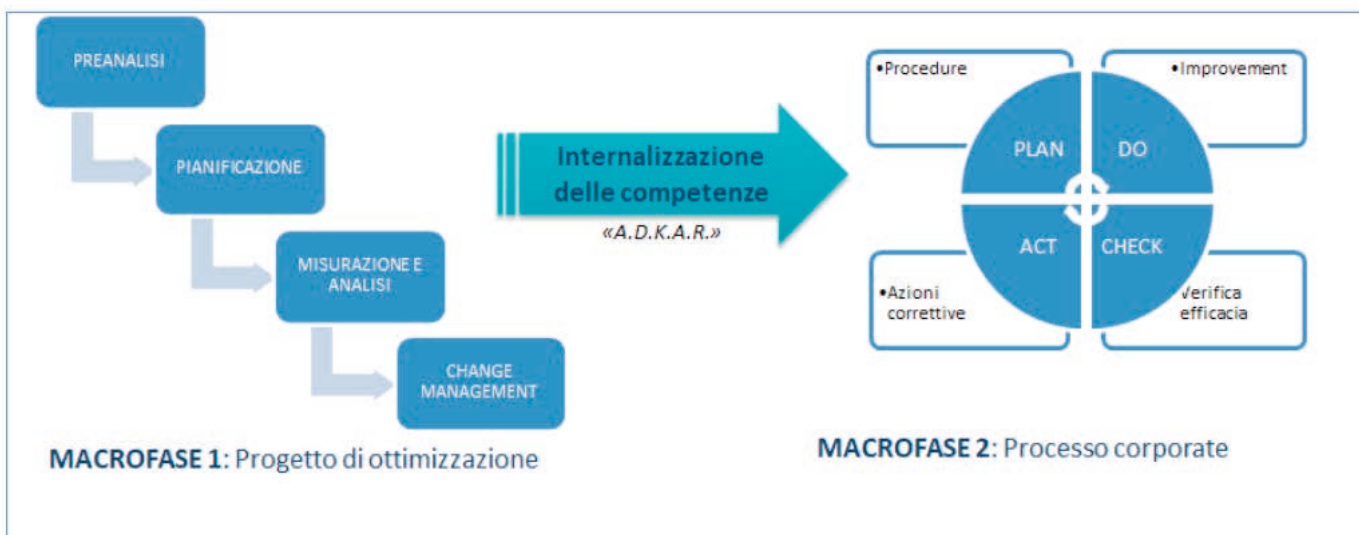


Figura 9

forcement, continuativa nel tempo, prevede di pianificare quanto necessario per garantire nel tempo il persistere del valore aggiunto ottenuto dall'innovazione organizzativa introdotta.

È evidente come tali cinque fasi siano compatibili ed integrabili con il modello di governance a doppia macrofase sopra descritto.

CONCLUSIONI: INSOURCING OD OUTSOURCING?

Il panorama di tecniche, metodologie, modelli e tecnologie per le innovazioni di processo è molto ampio e in continua espansione. Ultime in ordine di tempo sono le tecnologie di *process automation*, basate su machine learning e intelligenza artificiale e che consentono di automatizzare singoli task o porzioni di processo garantendo un alto livello di qualità dei risultati. Innovare un processo vuol dire saper tradurre le strategie di alto livello in pragmatici piani di azioni che, sulla base di evidenze quantitative, possano supportare l'adozione di nuovi modelli di gestione aziendale in ottica di digitalizzazione e ottimizzazione. In tale contesto le aziende possono trovarsi prive delle necessarie competenze innovative. Come procedere quindi per

perseguire il necessario cambiamento organizzativo in tempi congrui? Ricorrere all'*outsourcing* o puntare sull'*insourcing*?

Nell'ambito dei Servizi, ed in particolare nella Sanità pubblica e privata, la risposta a tale quesito influenza direttamente l'assetto di governance dell'innovazione. Basandoci sullo scenario sopra prospettato, non emerge la necessità di un vero e proprio *outsourcing* bensì un ricorso a servizi specialistici particolarmente utili in riferimento alle tecnologie d'avanguardia.

La realizzazione di un servizio interno a supporto della gestione dei processi di business rappresenta un investimento non secondario, anche in termini di tecnologie informatiche da acquisire. Ecco, quindi, che sono molteplici gli aspetti che suggeriscono come l'internalizzazione delle competenze innovative sia una leva fondamentale per ottenere il migliore ritorno sull'investimento a beneficio di una gestione innovativa dell'organizzazione. In questo scenario, l'Ingegnere è sicuramente chiamato a svolgere un ruolo chiave anche attraverso una mirata estensione del proprio profilo verso materie operative, economico-finanziarie e strategiche.



Figura 10

Bibliografia

- [1] "La flessibilità come nuovo obiettivo del sistema sanitario", Ing. F. Covino – Rivista "L'Elmo di Minerva", ed. ANUTEI (Associazione Nazionale Ufficiali Tecnici Esercito Italiano), num.3/2020
- [2] "Process Mining in action", Van der Aalst
- [3] "COBIT 5", edizioni ISACA – Anno 2012
- [4] "The TOGAF Standard", edizioni Van Haren Publishing - 11° edizione, anno 2018







a cura di:
Ing. Pietro Ladisa

Commissione:
Meccanica Industriale

Revisione Testo:
Ing. Giuseppe Marrocco

LA PRODUZIONE AEROSPAZIALE: IL “BEST PRACTICE” E LA RIVOLUZIONE DELL’INDUSTRIA 4.0

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA



Figura 1 - Boeing's 737 assembly plant in Renton (Mike Siegel / The Seattle Times).

Sommario

La produzione aerospaziale è caratterizzata da prodotti altamente personalizzati, al massimo livello di tecnologie e capacità del personale, contro bassi numeri di lotti di produzione. Questo articolo evidenzia gli aspetti chiave del flusso di produzione, assemblaggio e collaudo nella produzione aerospaziale e affronta i possibili modi in cui questa produzione può essere tradotta nell'era dell'Industria 4.0. Si cerca di individuare i punti di forza ed i possibili rischi nei nuovi scenari innovativi.

Introduzione

C'erano una volta i pionieri dell'aviazione e dello spazio, essi erano coinvolti nello sviluppo e poi nella produzione di veicoli di volo mai visti prima. Uomini visionari, scienziati e abili ingegneri che hanno dedicato tutta la loro vita alla produzione di veicoli per la conquista dei cieli.

Questa è la storia di Howard Hughes, dei fratelli Wright, Umberto Nobile e Giovanni B. Caproni per il volo aereo, e successivamente di Sergei P. Korolev e Werner Von Braun per la conquista dello spazio. Questo è anche il destino dei tre uomini dell'Apollo 1, Amelia Earhart e tanti altri uomini e donne che hanno pagato con la vita il prezzo di questo progresso.

Verso una produzione industriale

Lo sviluppo della produzione aerospaziale ha perso man mano il suo aspetto pionieristico per diventare un settore avanzato dell'industria internazionale. Diventa uno specifico settore di mercato commerciale, sempre alla ricerca tecnologica, ma con un forte legame con gli aspetti economici, di affidabilità e sicurezza.

Un prodotto aerospaziale è un sistema, un sottosistema, un assieme o un componente di un intero prodotto aerospaziale completo. In quanto sistema autonomo completo, può essere definito come un programma aerospaziale costituito da: il veicolo di volo, le sue strutture di decollo, controllo di volo e atterraggio, il sistema del veicolo come l'assemblaggio dei suoi sottosistemi, componenti e dispositivi.

A partire dalla Prima Guerra Mondiale, il mondo aerospaziale ha vissuto una crescita quasi costante nel tempo. Durante la Grande Guerra, l'aereo è passato da una tipologia di costruzione artigianale a una vera produzione industriale. Ad oggi, il settore aerospaziale è uno dei più sviluppati e redditizi; basti pensare che in Italia l'indotto generato è pari a 13 miliardi di euro e rimane un settore capace di dimostrare resilienza e flessibilità con una spinta continua verso la ricerca e lo sviluppo. Inoltre, è una tipologia di industria che, pian piano, si sta smarcando

sempre di più dalla funzione unicamente militare e sta andando verso una sempre maggiore globalizzazione.

Le innovazioni tecnologiche raggiunte negli ultimi anni, e che un tempo parevano irraggiungibili, sono la testimonianza verso un mondo sempre più innovativo e smart popolato da aerei autonomi e interconnessi grazie all'Intelligenza artificiale.

L'ingegneria della produzione

Il concetto di linea di assemblaggio, integrazione e test (AIT) è definito come l'insieme completo delle aree fisiche, delle relative apparecchiature e delle strutture in cui vengono eseguite le relative operazioni di produzione.

La linea AIT di un prodotto di riferimento (come il sistema, il sottosistema o il componente) riceve i componenti e i materiali del prodotto: potrebbero essere strutture, scatole, pezzi di connessione, viti e parti di raccordo, componenti elettronici, cablaggio, ecc.

L'intero processo di AIT include la fase di sviluppo, in cui il prodotto viene definito e verificato, di conseguenza i modelli di sviluppo devono essere assemblati e sottoposti a una campagna di test approfondita e completa.

Un aspetto critico in questo concetto è legato alla gestione dei componenti da montare, in particolare dal punto di vista della tempistica e della qualità. La maggior parte delle parti, dei componenti e dei sottosistemi proviene da

subappaltatori e l'affidabilità delle parti è fortemente correlata alle condizioni contrattuali.

Un altro punto critico è rappresentato dallo stato di verifica del componente o sottoassieme: è molto importante che le prestazioni richieste di ciascun componente siano garantite al momento dell'integrazione nel sistema completo. Qualsiasi guasto o problema relativo alle prestazioni di un componente a livello di sistema influisce sulla pianificazione e sul costo del programma e sul suo successo.

La verifica di un prodotto progettato e fabbricato (qualsiasi parte, componente o sottoassieme, come l'intero sistema) viene raggiunta con due metodi: test e analisi.

Il test è il metodo di verifica principale perché è qui che il prodotto dimostra fisicamente le sue prestazioni nelle condizioni funzionali e ambientali specificate.

Potrebbe non essere possibile definire esattamente un test in tutte le condizioni funzionali e ambientali previste per la fase operativa, a causa dei costi e dei limiti delle infrastrutture di test. Il test in sé spesso non è sufficiente per convalidare completamente la progettazione e la fabbricazione del prodotto. Pertanto, l'analisi, eseguita dai progettisti del prodotto, è necessaria per il processo di definizione del progetto e per le previsioni dei test.

Un processo di convalida completo include l'analisi del progetto, delle prestazioni e delle pre-



visioni dei test, la correlazione del modello con i risultati dei test e l'aggiornamento dell'analisi completa delle prestazioni con i modelli correlati. Cosa succede se i risultati del test e/o l'analisi delle previsioni delle prestazioni finali danno prestazioni diverse o risultati insoddisfacenti? Ci sono due soluzioni:

- Accettare le prestazioni modificate, verificando che siano accettabili per lo scenario di missione del sistema.
- Eseguire l'aggiornamento del progetto e/o le modifiche di produzione e riavviare il processo di verifica.

L'impatto di queste due opzioni è ovviamente diverso. La prima, anche se usualmente meno costosa, potrebbe impattare sulle prestazioni dell'intero sistema che è stato garantito al cliente all'inizio del programma. Questo poi dovrà essere discusso e concordato da tutte le parti interessate.

Le fonti di guasto o di degrado delle prestazioni possono essere identificate nella fase di progettazione, nonché nelle fasi di produzione e assemblaggio. Le prestazioni devono essere garantite non solo per il prodotto ma per l'intera linea.

Le prove funzionali e ambientali

Ad una certa fase di assemblaggio del prodotto, in particolare quando è in grado di essere "acceso", è pronto per la verifica delle sue prestazioni e resistenza all'esposizione ambientale. Esistono due tipi di test di verifica:

1. Test di sviluppo: verifica il processo di progettazione.
2. Collaudo di accettazione: verifica della fabbricazione del prodotto stesso.

I test di sviluppo sono generalmente necessari per i nuovi prodotti poiché il processo di progettazione ingegneristica, utilizzando la modellazione CAD, l'analisi agli elementi finiti (FEA) o altri tipi di analisi matematica risulta non esaustiva, in quanto richiede una correlazione con un numero minimo di risultati dei test.

Processo di verifica:

- Pieno carico e scenario ambientale, casi di carico e condizioni ambientali al contorno: calcoli di verifica tramite FEA.
- Collaudo del prodotto assemblato in alcune specifiche condizioni ambientali estreme: simulazione in impianti dedicati.
- Correlazione del FEM con i risultati del test: aggiornamento delle previsioni di analisi per tutti i casi di analisi.

La correlazione tra analisi e risultati dei test è un processo standardizzato nei test di sviluppo

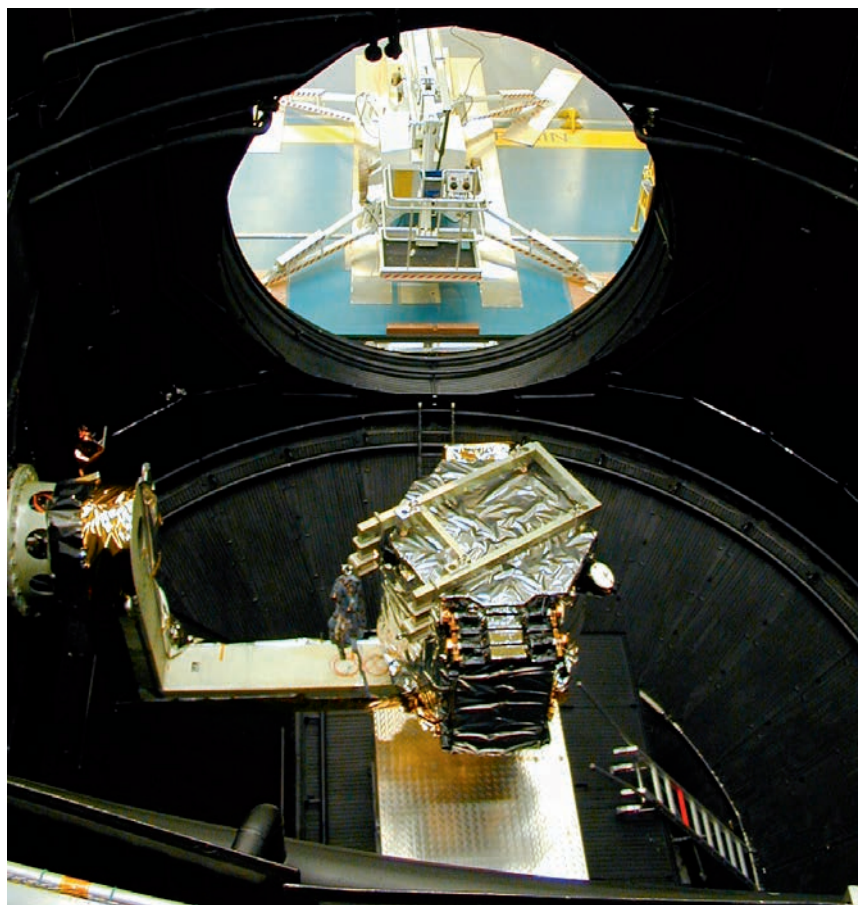
della prima unità assemblata del prodotto, che è considerata un modello di sviluppo (DM) o almeno un modello "proto-volo" (PFM).

La differenza tra questi due modelli è che il PFM è considerato come la prima unità di prodotto realizzata per essere pienamente operativa, mentre un DM no.

Dopo che la correlazione dei risultati dei test DM o PFM è nota e sono stati effettuati i necessari aggiornamenti delle previsioni, la terza fase è completata. Il collaudo successivo dei modelli di volo è orientato alla sola verifica della fabbricazione. Per questo motivo, i test per il DM-PFM possono utilizzare più casi ed essere più estremi rispetto al modello di volo. Particolare attenzione dovrebbe essere prestata alla pianificazione del test del PFM perché è previsto come primo modello di volo, e quindi deve mantenere una durata sufficiente per la fase operativa.

La qualificazione e l'accettazione delle consuete condizioni di test e i dati di input dei livelli sono disponibili nelle norme e nei documenti aerospaziali, come il MIL-STD-883C "Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests" e RTCA-DO-160 "Environmental Conditions and Test Procedures".

Figura 2 - Modulo Payload per il rilevamento di umidità del suolo e salinità oceanica (SMOS). Modello strutturale/termico (STM) sul suo supporto nel Large Space Simulator (LSS) ESA - ESTEC.



Per i prodotti spaziali, vengono utilizzate le norme e gli standard delle agenzie spaziali (es. NASA, ESA-ECSS), oltre ai manuali utente dei veicoli di lancio stessi.

Misure di controllo dimensionali

Verifiche dimensionali si effettuano per controllare tolleranze e idoneità delle interfacce meccaniche tra componenti e sottoassiemi. Tali verifiche si effettuano tramite tecnologie laser e ottiche, oltre a quelle usuali effettuate in officina in fase di manufacturing, tramite CMM.

Misure di Mol-CoG

Conoscere i valori precisi delle proprietà di massa per un prodotto di volo è un dato fondamentale per le migliori prestazioni del controllo di volo. Sono ottenuti mediante analisi in fase di progettazione, ma la correlazione con la misurazione diretta è obbligatoria per l'affinamento del processo di progettazione e la verifica del prodotto "come costruito".

Queste misurazioni, eseguite entro intervalli di precisione ben definiti, lo sono:

- massa;
- baricentro;
- momenti di inerzia sui tre assi di riferimento.

Prove di esposizione ambientale

Il concetto di base dei test di esposizione ambientale è quello di simulare le condizioni ambientali previste attorno al prodotto, che siano operative e non operative.

Caratteristiche specifiche dei test ambientali: durata, limiti e intervalli di prestazioni relativi alle macchine e dispositivi di test, possono influire sulla loro applicazione nella fase di sviluppo del prodotto.

I risultati attesi di un test di esposizione ambientale sono legati alla forma della geometria, ai materiali, alle giunzioni, ai trattamenti superficiali o al rivestimento molto più che agli aspetti di produzione, che possono essere verificati in altri modi come le ispezioni non distruttive (NDI).

Prove meccaniche

Test statici e dinamici vengono eseguiti per verificare la resistenza del prodotto ai carichi meccanici, indotti dalle condizioni ambientali di volo. I casi di carico possono essere dei seguenti tipi:

- carichi statici, sono carichi statici quei carichi che non variano di intensità e posizione nel tempo su una struttura;
- carichi dinamici indotti dalle vibrazioni dell'aria circostante (acustica);

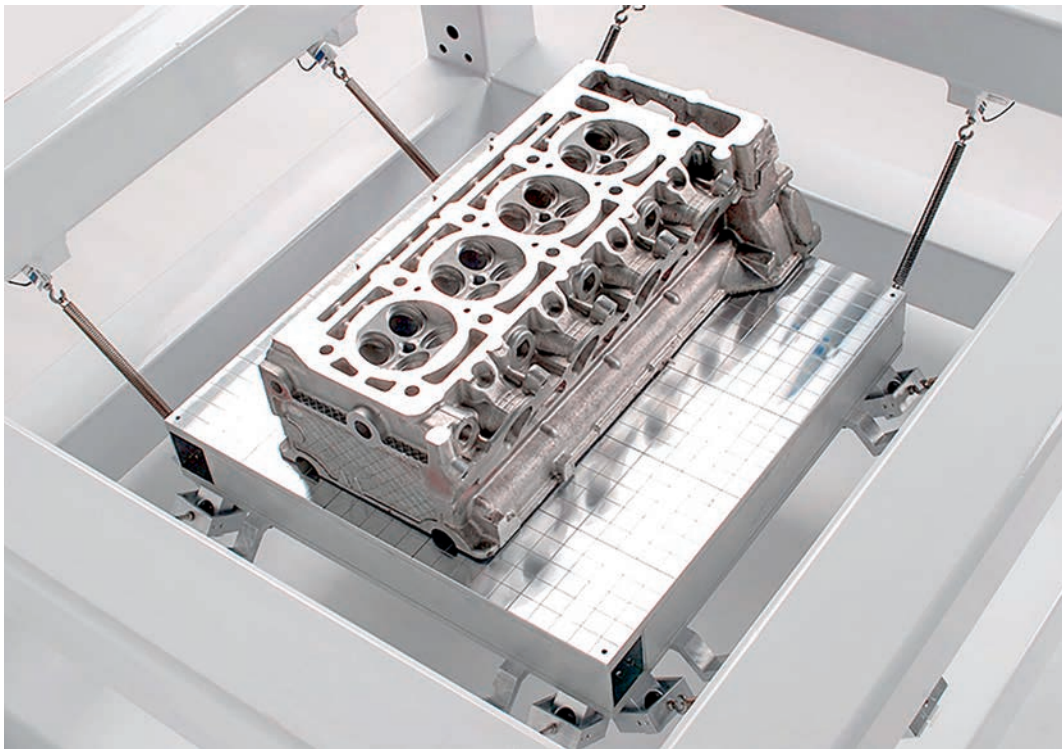


Figura 3 - Misura dei momenti d'inerzia tramite piattaforma flottante.

- carichi dinamici indotti attraverso interfaccie meccaniche (per apparecchiature, sottosistemi);
- carichi dinamici indotti da shock strutturali diretti per situazioni ben definite.

I test dinamici sono importanti per la verifica di apparecchiature o sottoassiemi, in cui i carichi dinamici sono per lo più causati o trasferiti da altri sottoassiemi adiacenti del sistema di prodotto. Ad esempio, i motori di propulsione introducono importanti carichi dinamici sugli altri sottogruppi dell'intero sistema, e questi devono essere rigorosamente verificati.

La qualificazione a livello dei componenti o i test di accettazione di solito richiedono test acustici quasi fino a 165 dB di pressione sonora in uno spettro di frequenze sonore ben definito e diversi tipi di test di vibrazione come input casuale PSD e sweep di frequenza sinusoidale a frequenze da 5 a 2000 Hz (o più).

Una buona descrizione dettagliata dei test dinamici e alcuni livelli di input di riferimento per le applicazioni aerospaziali si trovano nella MIL-STD-810, in particolare:

- accelerazioni: Metodo 513.6;
- vibrazioni: Metodo 514.6;
- rumore acustico: Metodo 515.6;
- shock: Metodo 516.6.

L'ingegneria di progettazione del prodotto deve definire livelli e condizioni specifici caso per caso, tenendo conto della progettazione del prodotto, dei requisiti e degli scenari di missione.

La prova dinamica ha lo scopo di verificare la resistenza del prodotto ai carichi dinamici, e di valutarne la risposta strutturale e la capacità di trasmettere i carichi ad altre apparecchiature. La valutazione completa delle prestazioni strutturali del prodotto è completata da un'analisi che deve essere convalidata dai risultati dei test.

Il test e l'analisi devono iniziare con un set di dati ben definito: lo spettro di input dinamico definito caso per caso.

Nel settore aerospaziale, le vibrazioni sono principalmente prodotte dall'aerodinamica del veicolo, dai motori di propulsione e dalle eliche, dall'input stradale nelle fasi di atterraggio e decollo.

Nei satelliti spaziali, la maggior parte degli alti livelli di vibrazione è presente durante la fase di accelerazione del lancio e viene trasferita al satellite attraverso l'interfaccia con lo stadio superiore del veicolo di lancio. L'esposizione all'ambiente acustico è presente all'interno della carenatura del veicolo di lancio, che sostiene la maggior parte del carico aerodinamico. I dati di input spettrali sono definiti per ogni veicolo di lancio nel suo manuale utente. Un altro importante ambiente dinamico è rappresentato dalla

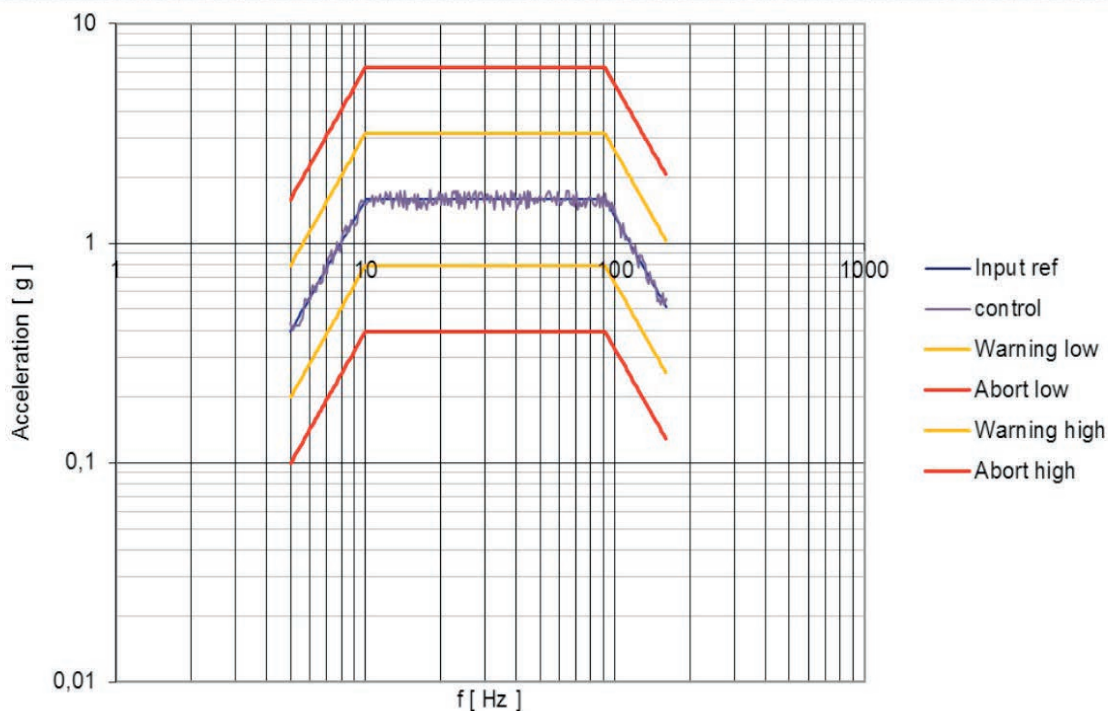


Figura 4 - Spettro di input dinamico.

Tipica sequenza di esecuzione di test dinamici (vibrazioni, acustici)	
Run	Descrizione
1° Low Level	Spettro piatto di basso livello, caratterizza i picchi di risonanza, le ampiezze e le frequenze.
1° 25% Level	Primo step di applicazione dello spettro di carico
2° Low Level	Come 1° Low Level, primo confronto di eventuali cambiamenti di risposta in frequenza e ampiezza
2° 50% Level	Secondo step (intermedio) di applicazione dello spettro di carico
3° Low Level	Secondo confronto di eventuali cambiamenti di risposta in frequenza e ampiezza
3° 75% Level	Terzo step (intermedio) di applicazione dello spettro di carico
4° Low Level	Terzo confronto di eventuali cambiamenti di risposta in frequenza e ampiezza
4° 100% Level (Full qualification)	Ultimo step (qualifica) di applicazione dello spettro di carico
Last Low Level	Confronto finale di eventuali cambiamenti di risposta in frequenza e ampiezza

Tabella 1

Tipologia di flusso aerodinamico in funzione del numero di Mach: $M = v/s$ dove: v = velocità dell'aria locale relativa al confine del veicolo; s = velocità del suono alle condizioni fluide locali	
Intervallo	Tipologia di flusso
$M < 0.3$	flusso isotermico quasi stazionario, gli effetti di compressione sono trascurabili.
$0.3 < M < 0.8$	flusso comprimibile dinamico subsonico
$0.8 < M < 1.3$	Flusso transonico, formazioni locali di onde d'urto soniche
$1.3 < M < 5$	Supersonico con onde d'urto prevalentemente coniche
$M > 5$	Ipersonico (es. condizioni di rientro in atmosfera)

Tabella 2

fase di rientro, se il veicolo spaziale prevede il rientro a terra. In questo caso, l'ambiente meccanico-dinamico deve essere valutato mediante un modello e un'analisi di fluidodinamica computazionale (CFD) dedicato.

Prove termodinamiche ed esposizione ambientale

I test aerodinamici nella produzione aerospaziale rappresentano la più importante verifica delle prestazioni funzionali per aeromobili, veicoli spaziali di lancio e rientro. Tali test verificano la progettazione di un prodotto aerospaziale. In molti casi, i campioni di prova devono essere ridimensionati per adattarsi ai limiti delle strutture della galleria del vento. I valori delle prestazioni che possono essere verificati in un test aerodinamico sono: controllo del volo, trascinamento, portanza, dinamica aeroelastica e interazioni strutturali, generazione di vibrazioni e acustica. La definizione del test e le relative strutture della galleria del vento sono scelte per la velocità dell'aria necessaria per eseguire il test, indicata da un numero di Mach.

Ciascuno di questi intervalli di Mach elencati nella Tabella 2 richiede un tipo dedicato di struttura della galleria del vento. Le soluzioni tecnologiche possono essere adottate per aumentare il valore

Mach testato, ma hanno anche un impatto diretto sui costi. Per questo motivo il volume disponibile di un provino, inteso come sezione trasversale e lunghezza, diminuisce all'aumentare del numero di Mach da testare. In questi casi, vengono applicati valori più elevati di fattori di scala per definire correttamente il campione.

Qualità ed affidabilità del processo produttivo aerospaziale

Assicurare la qualità lungo tutta la catena di approvvigionamento è un presupposto fondamentale nel settore aerospaziale. Sviluppata dall'International Aerospace Quality Group (IAQG), la AS/EN9100 garantisce lo standard di gestione della qualità riconosciuto a livello mondiale per il settore aerospaziale, che copre l'aviazione, lo spazio e la difesa. All'interno di queste industrie, la sicurezza è essenziale per l'intera catena di fornitura. Anche il più piccolo difetto del prodotto o del servizio potrebbe avere esiti fatali.

La serie consiste in tre standard: AS/EN9100, AS/EN9110 e AS/EN9120. Tutti e tre gli standard sono basati sulla norma ISO 9001 sui sistemi di gestione della qualità, ma aggiungono requisiti per affrontare sfide specifiche dell'industria.

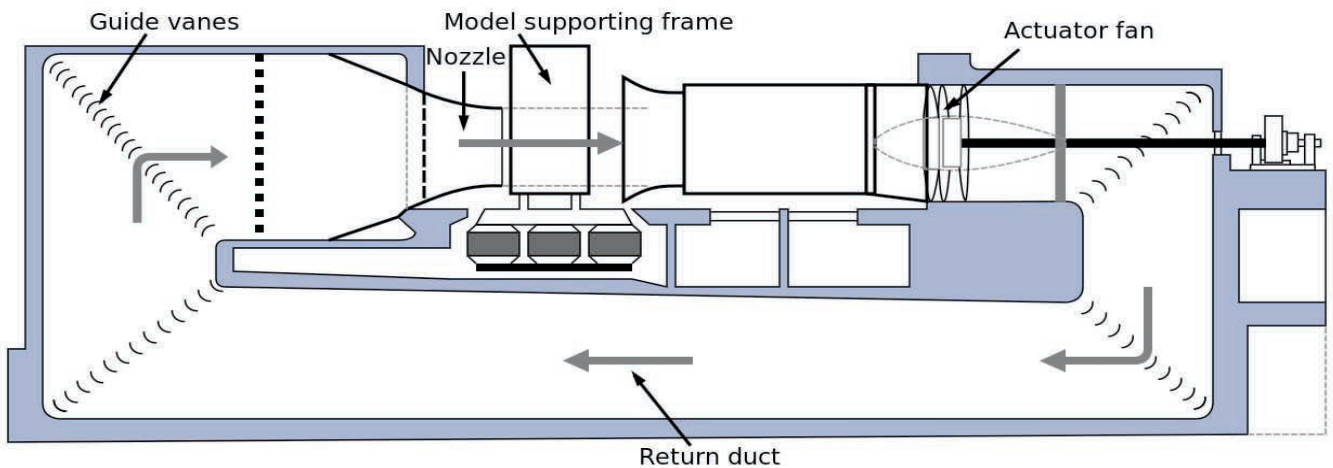


Figura 5 - Galleria del vento a ciclo chiuso per prove a flusso subsonico.

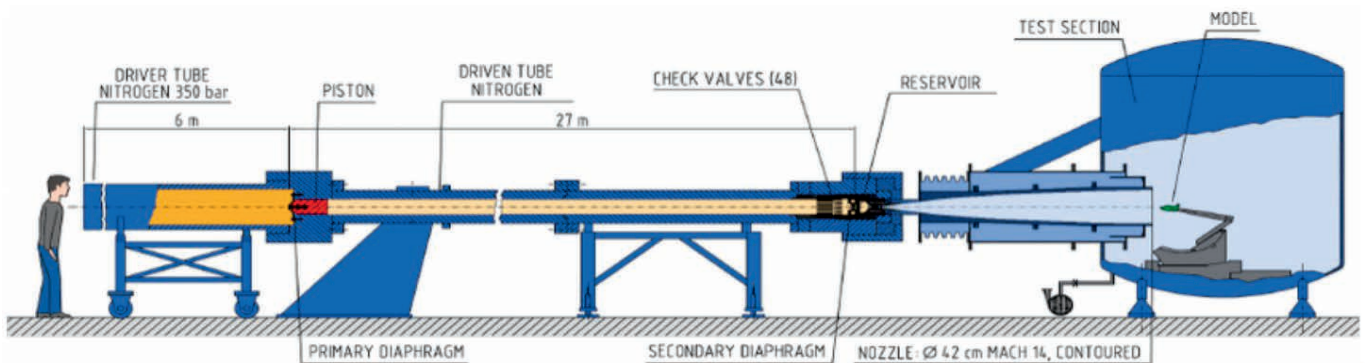


Figura 6 - Von Karman Institute "Longshot" hypersonic windtunnel: tunnel ipersonico a pistone libero, produce un flusso ipersonico di brevissima durata, può funzionare con azoto o anidride carbonica ed è progettato per fornire il raggiungimento di flussi ipersonici con un numero di Reynolds molto elevato.

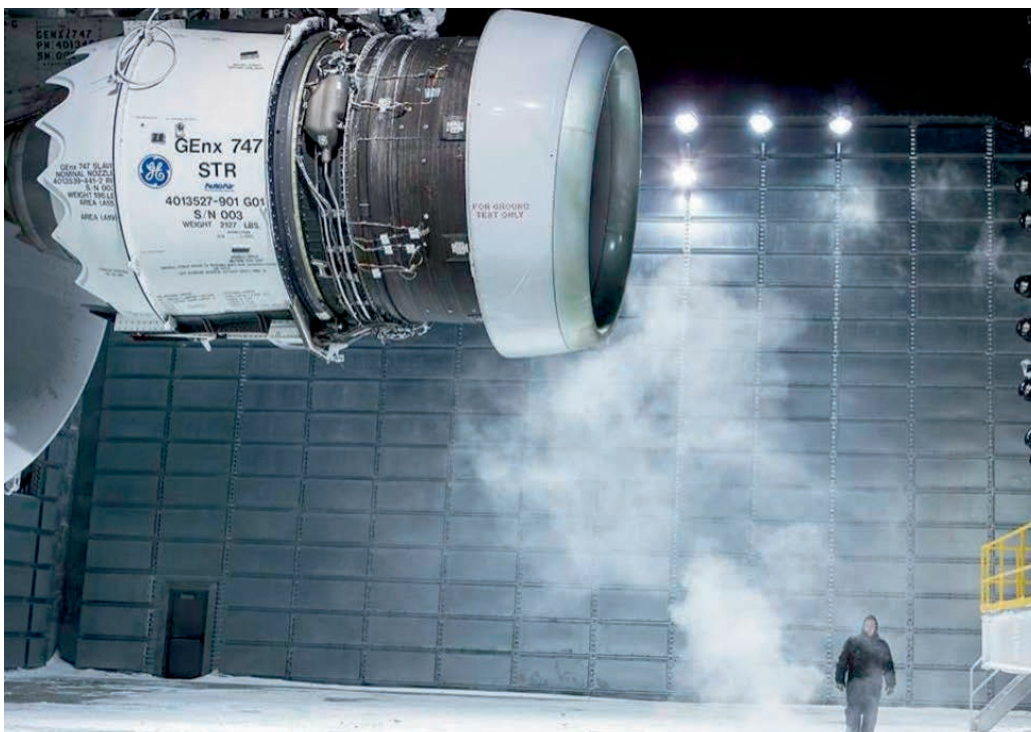


Figura 7
Galleria di prova motore
con simulazione condizioni
ambientali.



Figura 8 - Prove di compatibilità elettromagnetica.

La certificazione secondo gli standard della serie AS/EN 9100 dimostra la capacità di soddisfare i requisiti di qualità.

La qualità del prodotto deve essere tenuta sotto stretto controllo durante tutte le fasi della produzione, al fine di ridurre al minimo le non conformità.

Quando si verificano non conformità, la fonte del problema deve essere rapidamente identificata e corretta. Qualsiasi tipo di problema produttivo è da considerarsi come un costo di non qualità da evitare o fortemente minimizzare ad ogni ciclo fino all'eliminazione.

I tipici costi di non qualità hanno origine usualmente da:

- prestazioni funzionali non richieste a causa di problemi di assemblaggio di integrazione;
- danni fisici al prodotto indotti dalle operazioni;
- difetti generici derivanti dal processo di assemblaggio.

L'affidabilità di un processo produttivo è la capacità di mantenere i costi di non qualità inferiori a un livello massimo consentito, per garantire il profitto di produzione come previsto. Un'adeguata e qualificata analisi dei rischi deve essere applicata all'intero processo, a partire da un singolo componente fino all'intero sistema di prodotto. La qualità e l'affidabilità di tutto il processo produttivo è da considerarsi un fattore

importante. Colpisce l'immagine di marketing delle aziende coinvolte. Molti sono i fattori che determinano il rischio di eventi di costo di non qualità, a partire dal lavoro di un singolo operatore fino alla competenza del management nella prevenzione o risoluzione dei problemi.

La fase di sviluppo di un progetto è il periodo per affinare la qualità e l'affidabilità del design del prodotto e delle relative operazioni di produzione. Questa è la fase tipica in cui il tempo dedicato e gli investimenti possono fornire risultati diretti nell'efficienza produttiva futura. Analisi e test supportati da un adeguato coordinamento sono fortemente raccomandati in questa fase, soprattutto quando l'obiettivo del progetto è una piattaforma di prodotto standard, che porterà vantaggi e profitti a lungo termine.

Gestione della produzione aerospaziale: i metodi innovativi

La gestione della produzione è il lavoro che si occupa dell'amministrazione di una linea di produzione, dove il prodotto, gli approvvigionamenti, i fornitori e tutto ciò che è necessario devono essere definiti e gestiti.

In un programma aerospaziale, la gestione dell'intero programma, inclusi lo sviluppo e la produzione, è efficace quando consente la sinergia di sviluppo tra progettazione del prodotto e definizione della produzione, inclusa la

definizione dettagliata delle fasi operative, del trasporto e della logistica. Gestione del programma in un'attività complessa, che per un prodotto aerospaziale richiede la supervisione amministrativa del progetto dal livello di sistema a quello dei componenti, inclusa la definizione e il controllo della/e linea/e di produzione. Le funzioni principali della gestione possono essere definite come segue:

- coordinamento dei progetti ad ogni livello da ogni componente, o sottoassieme, all'intero sistema al fine di ottimizzare i flussi di budget (gestione del progetto);
- stakeholder e coordinamento delle risorse;
- valutazione dei rischi e gestione degli eventi;
- identificazione e gestione delle interazioni dei progetti a tutti i livelli.

Fasi del programma di produzione aerospaziale

- Avvio del programma: definisce il piano dettagliato del programma e attiva il business dei relativi flussi finanziari.
- Impostazione del programma: definisce il masterplan, proietta il sistema ai sottosistemi che compongono i livelli e la relativa Work Breakdown Structure.
- Architettura tecnica, sviluppo del prodotto e definizione della linea di produzione.
- Piano dei costi e rendimenti finanziari e funzioni di monitoraggio finanziario.
- Fase di produzione ricorrente e relativa gestione.
- Chiusura del programma: verifiche degli obiettivi raggiunti e non raggiunti.

È fondamentale che un programma aerospaziale industriale, con un obiettivo di produzione ben definito, sviluppi sin dall'inizio una strategia che incorpori:

- internalizzazione ed esternalizzazione del lavoro;
- coinvolgimento delle risorse tecniche e umane.

Strategia tecnologica per migliorare la posizione di mercato del prodotto:

- livello di know-how dell'azienda e degli stakeholder;
- attuali stati dell'arte del mercato;
- aree di miglioramento della ricerca e sviluppo da considerare.

Un programma di produzione aerospaziale deve gestire gli sforzi di ogni dipartimento delle aziende coinvolte e delle parti interessate, dagli aspetti tecnici, di qualità e gestionali. Va evidenziato che per un'azienda la strategia produttiva adottata ne definisce l'immagine, in termini di capacità

tecnologica e di business, e di conseguenza la sua posizione nel mercato aerospaziale.

Processi di Lean Manufacturing

Il concetto Kaizen

Kaizen è una parola che unisce due concetti: Change (Kai) e Better (Zen). Si tratta di una strategia comportamentale orientata al miglioramento continuo dei processi produttivi, ingegneristici e aziendali secondo una logica bottom-up. Il concetto della metodologia Kaizen è il continuo miglioramento quotidiano a piccoli passi. L'innovazione viene favorita attraverso l'incoraggiamento e la motivazione di ogni persona, fino al raggiungimento di un pieno miglioramento dell'intera organizzazione.

Le cinque "regole d'oro" del concetto Kaizen, volte a migliorare le prestazioni e la competitività di un'azienda, sono:

Regola 1: Nessuna soluzione predefinita. Sfortunatamente, le soluzioni predefinite non includono necessariamente le condizioni specifiche di ciascun evento, che sono imprevedibili.

Regola 2: Gestione dall'alto verso il basso. Solitamente il middle management (che non ha una visione globale) definisce la strategia di approccio. Kaizen prevede che il top management partecipi direttamente alla definizione della strategia, insieme al management di livello inferiore, come coaching per il miglioramento continuo.

Regola 3: Fornire responsabilità alla base. Coinvolgimento dei lavoratori a tutti i livelli aziendali. Ad esempio, il personale che gestisce la linea di produzione conosce meglio di altri gli aspetti di miglioramento della linea di produzione.

Regola 4: Flessibilità e dimensioni aziendali intelligenti. Identificare gli aspetti più forti delle piccole e medie imprese di produzione e adottarli per migliorarli. Piccole dimensioni significano più reattività, risposte più rapide e flessibili ai cambiamenti in tutte le aree aziendali.

Regola 5: Visione meno finanziaria, più operativa. L'attenzione dell'azienda da concentrare sul suo know-how tecnico e sulle capacità di produzione fondamentali. La riorganizzazione operativa produce risultati più significativi nel tempo.

L'approccio Kaizen per la gestione della qualità è strettamente correlato a Lean Manufacturing, Total Quality Management (TQM), Just in Time (JIT), Kanban per il costante rifornimento di materiali e controllo statistico di processo.

Produzione snella

Il concetto di produzione snella si concentra sulla rimozione di attività non produttive, come:

- Eliminazione delle attività che non producono valore.
- Spostamenti: personale che si sposta per

raggiungere materiali lontani dal loro punto di utilizzo.

- Difetti: produrre scarti o rilavorazioni.
- Spare: per fabbricare o procurarsi materiali in eccesso.
- Eccesso di produzione: produrre più prodotti di quelli richiesti.
- Tempo di attesa: passare il tempo in modo improduttivo.
- Trasferimento: spostare materiali senza necessità di produzione legate alla creazione di valore.

Principi guida

I cinque principi guida del modello di lean manufacturing sono:

1. Valore incentrato sul punto di vista del cliente: ciò che il cliente è veramente disposto a pagare.
2. Identificare il flusso di valore: elenco di azioni che portano alla realizzazione del prodotto.
3. Flusso di attività: tutto fatto per processi e non per funzioni, senza alcuna interruzione.
4. Impostare le attività utilizzando una logica

“pull” e non “push”: questo significa eseguire un’attività solo quando il passo successivo lo richiede.

5. Fare Kaizen: miglioramento continuo.

Industria aerospaziale 4.0

Logica intelligente: la Smart Factory

- **Smart Production:** nuove tecnologie di produzione orientate al leggero miglioramento della collaborazione e dello scambio di dati, tra operatori, macchine e strumenti.
- **Smart Services:** Infrastrutture informatiche e tecniche che collegano i sistemi e anche tutte le soluzioni che collegano le aziende e le parti interessate in modo collaborativo.
- **Smart Energy:** Ottimizzazione dell’impiego di energia con consumi minimi, massimizzazione delle prestazioni e riduzione degli sprechi orientata a un concetto di energia sostenibile.

Il fattore chiave dell’Industria 4.0 sono i Cyber-Physical Systems (CPS): sistemi fisici, come una macchina o uno strumento meccanico connesso a sistemi informatici, che sono in grado di operare insieme e collaborare con altri CPS.



Tecnologie abilitanti

La rivoluzione dell'Industria 4.0 si concentra su 9 tecnologie, definite abilitanti. Alcune di queste tecnologie sono "vecchie" ma mai applicate correttamente, a causa della mancanza di una corretta sinergia e dello sviluppo dei mezzi di comunicazione e connessione. La giusta integrazione di queste tecnologie consente la loro giusta applicazione, inducendo elevate capacità di personalizzazione della produzione con conseguente aumento dell'interesse da parte dell'industria manifatturiera.

Soluzioni di produzione avanzata: Strumenti di movimentazione automatizzata dei materiali, macchine robot avanzate sviluppate in sinergia con la tecnologia della comunicazione: i "cobot". Nella produzione aerospaziale i cobot trovano applicazione in processi di produzione di grandi dimensioni ad alta precisione, come le strutture in fibra di carbonio.

Produzione additiva: Nell'industria aerospaziale, la produzione additiva migliora l'ottimizzazione morfologica del dimensionamento strutturale. Essa offre una significativa riduzione del peso e la progettazione di forme non altrimenti possibili con la lavorazione di produzione

standard. Per contro, i prodotti stampati in 3D, hanno diversi limiti, tra cui le dimensioni utili del dispositivo stampante, inoltre devono essere sottoposti a un dedicato processo di qualifica per il volo aerospaziale; tale processo, spesso non ancora del tutto sviluppato e definito, può richiedere particolari trattamenti dal costo rilevante, come l'HIP.

Realtà Aumentata: Sistemi di visione per guidare al meglio gli operatori durante le attività produttive. In questo modo, è possibile dare all'operatore indicazioni e informazioni operative in tempo reale e senza che egli si distolga dall'attività in corso.

Simulazione: tecniche di simulazione per ottenere previsioni sul comportamento produttivo e attuare azioni di ottimizzazione. L'applicazione degli strumenti di simulazione è riscontrabile nei test virtuali, consentendo l'ottimizzazione dei processi di sviluppo e qualifica, creando così una forte sinergia tra analisi progettuali e capacità di test.

Integrazione orizzontale e verticale: orizzontale e verticale, comunicazione e scambio di informazioni tra tutti gli attori della produzione, operatori, tecnici, manager e stakeholder.

Industrial Internet: comunicazione e scambio



di dati tra unità interne ed esterne, attraverso i media internet. Industrial Internet offre vantaggi immediati, ad esempio nella selezione di parti standard, riducendo i tempi e i costi di selezione e approvvigionamento.

Cloud, Big Data Analytics: coinvolgimento di tecnologie cloud come l'archiviazione di dati online, il cloud computing o servizi di informazione esterni. In questa tecnologia è compresa anche la gestione di grandi quantità di dati da parte di sistemi aperti. Le tecnologie di elaborazione dei big data sono utili nell'industria aerospaziale, quando il tasso di volume di produzione dei suoi prodotti ad alta tecnologia aumenta per mantenere la domanda del mercato.

Cyber-Security: L'obiettivo della sicurezza informatica è fermare la diffusione incontrollata di informazioni e la manomissione dei dati. La sicurezza dei dati è un problema principale nell'industria aerospaziale; quindi, il corretto sviluppo di questo tipo di tecnologia è obbligatorio per l'applicazione dei criteri di Industria 4.0 per la produzione aerospaziale.

Nuove frontiere: "Il progetto Starship di SpaceX"

Elon Musk si può ritenere l'imprenditore di gran lunga più innovativo, soprattutto nel settore aerospaziale. Dopo aver messo in piedi il sistema di lancio commerciale più innovativo del mondo, con i suoi razzi che tornano indietro incolumi, qualche anno fa annunciò di voler costruire

un'astronave grande abbastanza per portare gente a colonizzare Marte. Forse non esiste una sola persona che non lo prese per matto.

Centinaia di prove di lancio, molte delle quali andate distrutte, compresa l'ultima del 20 aprile 2023; dalle prime prove sembrava volesse far volare scaldabagni, decine di migliaia di ore lavoro e relativi investimenti in materiali sono state spese. Dalle prime immagini di quel razzo con l'astronave sopra saltava all'occhio esperto qualcosa che non tornava, nulla di nulla di quanto visto in passato tra americani, russi, europei. Troppo metallo luccicante, acciaioso, ma cos'è un elettrodomestico? No, è fatto con lo stesso materiale usato nell'industria alimentare, con l'inossidabile del pentolame che usiamo in cucina. Tutti quei materiali e tecnologie che sulla carta caratterizzerebbero l'innovazione, semplicemente non c'erano, per lo meno non per la struttura principale. Il risultato ha portato i costi dei materiali ridotti drasticamente a un centesimo. L'astronave "impossibile" costa meno, molto meno, di qualunque razzo vettore usato sinora.

La lezione è che l'innovazione non è una ricetta di cucina, ma parte da una visione che appartiene solo a chi ha il desiderio imprescindibile di inseguirla. Tecnologie, processi, materiali, approcci gestionali vengono completamente subordinati a tale visione, e quelle che non ne risultano compatibili, non convenienti, devono essere scartati.



Bibliografia

- Krofchak L.; Mack R. J. "A holistic approach to aircraft assembly" – SAE Int.l article n. 12568
- O'Connor J.; "Streamlining the airframe fastener management process" – SAE Int.l article n. 10409
- Schedlinski C., M. Link - "On the identification of rigid body properties of an elastic system" International Modal Analysis Conference 1997
- Kloepper R., Sakamotoy H., Okumaz M., - "Experimental Identification of Rigid Body Inertia Properties Using Low-Frequency Unbalance Excitation" 50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference 17th
- Allan. G Piersol, Thomas L. Paez – "Harris' Shock Vibration Handbook" McGraw Hill Professional
- Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics
- NASA-TP-1435 – Similitude Requirements and Scaling Relationships as Applied to Model Testing
- Womack, James P., Jones, Daniel T., and Roos, Daniel (1991), The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production, Harper Business, 2003, ISBN 0060974176
- Markus Liffler; Andreas Tschiesner (2013-01-06). "The Internet of Things and the future of manufacturing" McKinsey & Company
- Kucinski W.; "Norsk gives Boeing manufacturing edge with first 3D-printed titanium components" – SAE Int.l article n. 15373
- MIL-STD-810-G "Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests" – Dept. of Defense USA, Test Method Standard
- ISO/TS 15066: 2016 Robots and robotic devices – collaborative robots



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI ROMA

Piazza della Repubblica, 59 - 00185 - Roma

Tel. 06.487.93.11 - Fax: 06.487.931.223

Cod. Fisc. 80201950583

Orari di apertura al pubblico degli uffici

Lunedì 09:30-12:30 14:30-17.30

Martedì 09:30-12:30 14:30-17.30

Mercoledì 09:30-12:30 14:30-17.30

Giovedì 09:30-12:30 14:30-17.30

Venerdì 09:30-12:30

Sabato 09:30-12:30

La Segreteria dell'ordine chiude alle 16.00

AREE DEL SITO WEB DEL QUADERNO



AREA CIVILE AMBIENTALE

<https://rivista.ording.roma.it/civile/>



AREA INDUSTRIALE

<https://rivista.ording.roma.it/industriale/>



AREA DELL'INFORMAZIONE

<https://rivista.ording.roma.it/informazione/>



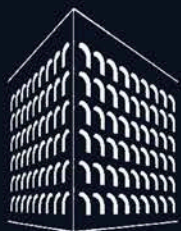
AREA INTERSETTORIALE

<https://rivista.ording.roma.it/intersectoriale/>



È possibile consultare tutti i numeri
all'indirizzo Internet
ioroma.info





Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
Piazza della Repubblica, 59 - 00185 Roma
www.ording.roma.it