



Nerbini

<i>Editoriale</i> Quella critica costruttiva chiamata dialettica	3
Aurelio Fischetti	
La necessità della razionalizzazione energetica sul territorio	5
Giuseppe Grazzini	
L'acustica nella riqualificazione edilizia e urbanistica	11
Sergio Luzzi - Simone Secchi	
Sistemi di gestione per la sicurezza: una crescita per le aziende e per le imprese edili, un'opportunità per i professionisti	20
Carlo La Ferlita - Giacomo Mecatti	
L'impiego della zincatura a caldo nei sostegni delle linee elettriche aeree	24
Alberto Giorgi - Marco Pistolozzi	
Uno sguardo alla disciplina degli scarichi idrici	27
Giancarlo Mariani	
Félix Candela: lo strutturista poeta che conformava le forme esistenti	32
Fausto Giovannardi	
Macchiaoli: quei giovani che al Caffè Michelangelo cambiarono la pittura	38
Gian Luigi Corinto	
Asmara. La sconosciuta capitale africana della modernità	41
Helen Barr	
<i>"Ingegneri in Toscana tra passato e futuro" - rubrica a cura di Franco Nuti</i>	
Vulnerabilità sismica del patrimonio monumentale della Toscana: il caso della Torre Grossa di San Gimignano	44
Gianni Bartoli - Michele Betti - Barbara Tordini	

*Trimestrale d'informazione
dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze*

Via della Scala 91 - 50123 Firenze
Tel. 055/213704 - Fax 055/2381138
e-mail: info@ordineingegneri.fi.it
URL: www.ording.fi.it

Anno II, n. 1
gennaio-marzo 2007

Direttore responsabile:
Aurelio Fischetti
(direttore.progettandoing@nerbini.it)

Comitato di redazione:
Franco Nuti
Enrica Suffredini
Marco Masi

Consulenti:
Giampaolo di Cocco - teorico arte-architettura
Marco Dezzi Bardeschi - ingegnere e architetto

Segreteria di redazione:
Daniela Pecchioni
(redazione.progettandoing@nerbini.it)

Progetto grafico e impaginazione:
Paolo Bulletti e Federico Cagnucci
(ufficiografico@nerbini.it)

Pubblicità:
Lisa Silvestri
(ufficiosviluppo@nerbini.it)

Stampa:
Tecnostampa - Loreto (AN)

Autorizzazione del Tribunale di Firenze
n. 5493 del 31.5.2006

Questa rivista viene distribuita gratuitamente agli iscritti
dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze.

Realizzazione editoriale: Prohemio editoriale srl, Firenze

© 2007 - Edizioni Nerbini
Via G.B. Vico, 11 - 50136 Firenze
Tel. 055/200.1085
e-mail: edizioni@nerbini.it
www.nerbini.it

ISBN 978-88-88625-56-0

Istruzioni per gli autori

I testi devono pervenire alla Direzione su supporto informatico di corredo a quello cartaceo. È possibile indirizzare al Direttore via e-mail: direttore.progettandoing@nerbini.it
Illustrazioni, fotografie ecc. saranno pubblicate spazio permettendo. L'invio dell'iconografia su supporto informatico è comunque indispensabile. Salvo casi eccezionali gli originali non verranno restituiti.

Gli articoli firmati esprimono solo l'opinione dell'autore e non impegnano l'Ordine e/o la direzione e/o l'editore della rivista.

*Questo numero è stato chiuso in tipografia
il 26 aprile 2007*

*In copertina:
Louis Barragan con Andrea Casillas
"Scuderia San Cristobal" a casa Folke Egerstrom,
Los Clubes, Messico (1967-1968)*

Ing. Aurelio Fischetti

Consigliere dell'Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Firenze

Direttore responsabile

a qualche collega gli articoli sulla moschea di Colle Val d'Elsa e sulle architetture delle strutture religiose musulmane, pubblicati nel numero 3-2006, toccando aspetti anche teologici e politici, sono sembrati inadeguati alla nostra rivista. Qualcun altro non comprende l'utilità e la necessità di raccontare la storia del ceramista faentino Melandri, come riportata tra le pagine dell'ultimo numero della rivista. Altri ancora, cavalcando le critiche citate, bollano il progetto editoriale di inadeguatezza per l'eccessiva presenza di argomenti culturali a scapito di contenuti tecnici; contenuti che invece dovrebbero prevalere nella rivista di un ordine professionale tecnico come il nostro.

A un anno dall'inizio di questa nuova esperienza, nella rivista *Progettando ing*[®] sono stati pubblicati articoli su argomenti specificatamente tecnici, altri hanno affrontato aspetti normativi della nostra professione ed infine si è dato spazio ad articoli a sfondo culturale. Tutti scritti da ingegneri, architetti, agronomi, avvocati e giornalisti. A sostenere questo progetto editoriale che ha prodotto fino ad ora quattro numeri, c'è stata la preziosa collaborazione dei colleghi del comitato di redazione, di alcuni consiglieri e rappresentanti di commissioni dell'Ordine e di un folto gruppo di collaboratori esterni; docenti universitari, professionisti fiorentini e di altre città italiane.

Le critiche dunque, in qualunque forma arrivino, vanno prese in considerazione per trarne un utile momento di dibattito e riflessione per la dialettica interna al nostro Ordine.

Quali obiettivi si vuole raggiungere con la nostra rivista, cosa vuole trasmettere e a chi è rivolta?

Queste sono alcune domande essenziali a cui ho cercato di dare risposta con il progetto editoriale che contraddistingue la rivista e che intendiamo, come redazione e gruppo di collaboratori, portare avanti.

Come ho più volte avuto modo di scrivere in altri editoriali, l'ingegnere italiano si è involuto negli anni relegandosi sempre più ad un ruolo di semplice "esecutore" e quindi tecnicistico, restando lontano dal dibattito "progettuale" inteso in senso globale.

Altri hanno scritto che le qualità umanistiche degli ingegneri si sono perse negli anni per una diminuita attenzione verso gli aspetti filosofici, politici e culturali della società.

L'ingegner Carlo Emilio Gadda, ad esempio, vissuto nel secolo scorso è stato un

*quella critica costruttiva
chiamata dialettica*

modello per gli scrittori della neoavanguardia. Secondo Calvino, “cercò per tutta la vita di rappresentare il mondo come un garbuglio, o groviglio, o gomitolino, di rappresentarlo senza attenuarne affatto l’inestricabile complessità, o per meglio dire la presenza simultanea degli elementi più eterogenei che concorrono a determinare ogni evento”.

Mentre Alberto Arbasino, analizzando la scrittura del Gadda nel saggio *Genius Loci* (1977), ha scritto: “la derisoria violenza della sua scrittura esplodeva esasperata, contestando insieme il linguaggio e la parodia, tra il ron-ron rondesco-neoclassico-fascistello e il pio-pio crepuscolare-ermetico-pretino, in schegge di incandescente (espressionistica) espressività... Proprio come per Rabelais e per Joyce che gli sarebbero poi stati accostati, ‘a braccio’ e ‘a orecchio’, i suoi messaggi fanno a pezzi ogni codice, spiritate e irritate, le sue invenzioni verbali dileggiano significati e significanti; devastano ogni funzione o finalità comunicativa; rappresentano innanzitutto se stesse, e i propri fantasmi, in un *foisonnement* inaudito e implacabile di spettacolari idioletti...”

Del napoletano Luciano De Crescenzo, ex ingegnere IBM, saggista, narratore, autore di cinema e di televisione, vale poi forse la pena riportare alcune sue citazioni come:

“... molti studiano come allungare la vita quando invece bisognerebbe allargarla” o “... due rette parallele s’incontrano solo all’infinito, quando ormai non gliene frega più niente” e infine “... ognuno ha l’età che vuole, i soldi che gli servono, l’ammirazione del prossimo, e perfino le donne più belle del mondo, e tutto questo è gratis”.

E che dire di Roberto Vacca, uno dei più noti esperti di informatica italiani, romanziere, saggista, ingegnere, docente universitario in automazione del calcolo all’Università di Roma, divulgatore scientifico che, con la sua tempra di “picconatore di bufale”, smaschera i luoghi comuni? È studioso di scenari nei settori: energia, trasporti, socio-economia, cultura, considerando trend globali o mirati in regioni particolari, oltre ad essere precursore dell’informatica e del calcolo elettronico.

Come ancora, e sebbene apparentemente antitetici e che potrebbe suscitare stupore, merita citare la lunga e proficua tradizione che accomuna due ambiti quali ingegneria e archeologia, da Giuseppe Valadier fino ad Antonio Zannoni, che vanta in realtà numerosi ingegneri dedicati con ampio successo allo studio e tutela dell’antichità, conseguendo risultati significativi. Trovo che il dibattere non solo in termini tecnicistici sia sempre stato una grossa prerogativa degli ingegneri e l’occasione che offre la rivista mira ad un arricchimento culturale tra i colleghi, oltre che a dare un contributo al mondo esterno a cui è rivolta anche attraverso la sua presenza nelle librerie.

Che la rivista non dedichi eccessivo spazio agli articoli tecnici e che emergano quelle piccole ambizioni culturali, potrà mai creare qualche perplessità o persino indebolire l’identità della categoria, disorientando i colleghi, in particolare i giovani?

Che lo spendere energie e risorse economiche, anche per ambizioni culturali, possano diventare incomprensibili e finanche inutili se si va contro il *modus vivendi*?



Struttura in acciaio di sostegno del Campanone della Torre di Montalcino
Arch. STEFANO AMIDEI
Ing. STEFANO DE VITO

la necessità della razionalizzazione energetica sul territorio

Ing. Prof.
Giuseppe Grazzini

Dipartimento di Energetica
Università degli Studi di Firenze

In un articolo del 1990 (Grazzini, 1990), pensando soprattutto ai paesi in via di sviluppo scrivevo:

Non si può coniugare il rispetto dell'ambiente, su cui tutti dicono di essere d'accordo, l'idea delle risorse limitate, il rispetto della vita con l'assenza di politica demografica, se si intende con questo termine una politica che cerchi di gestire il rapporto tra popolazione e territorio. Adottando questo punto di vista la politica demografica non riguarda più i soli paesi del terzo mondo, ma anche i paesi industrializzati, con tassi di natalità in continua diminuzione, ma la cui popolazione continua ancora a crescere, sia pur lentamente. Li riguarda non per gli aspetti spesso toccati sui giornali relativi all'invecchiamento della popolazione e quindi per le conseguenze che questo comporta in termini di assistenza agli anziani, di pagamento delle pensioni, bensì perché essi sono non solo sovrappopolati rispetto alla maggior parte del mondo, ma soprattutto perché lo sono in rapporto alle risorse che utilizzano e che sono superiori a quelle fornibili dal territorio da loro occupato.

Spesso si parla di carrying capacity, di capacità di sostentamento da parte dei paesi e dei terreni agricoli, anche se di rado si fanno quantificazioni e solo oggi ci si pone il problema della sostenibilità in senso ampio, considerando la necessità di salvaguardare anche ambienti non occupati dall'uomo, sempre nell'ottica della sopravvivenza dell'uomo stesso.

[...] Molti sono d'accordo sull'affermazione che le culture sono state per la specie umana l'equivalente della differenziazione biologica subita dalle altre specie animali; esse hanno permesso di adattarsi alle condizioni di vita più diverse, con una diffusione sul globo che trova concorrenza solo in alcuni insetti, senza richiedere forti specializzazioni fisiologiche, dato che le differenze tra le razze umane sono molto limitate.

[...] in Europa la crescita della popolazione è stata rapida nel secolo scorso e in questo, malgrado la fortissima emigrazione in continenti molto più grandi e poco popolati, o resi tali dagli europei stessi, malgrado l'infanticidio praticato largamente, malgrado il lavoro notturno e diurno dei bambini dai 5 (cinque) anni in su, malgrado le guerre che hanno insanguinato il continente e il mondo.

E tuttavia mai sono stati raggiunti tali ritmi di crescita che non accennano a calare, anche se il tasso di natalità tende in parte a diminuire.

Il tasso d'incremento europeo raggiunse l'1,2% nel 1900, calò bruscamente con le due guerre e tornò al precedente valore nel baby boom dopo la seconda guerra mondiale, per cominciare poi il calo che lo ha portato agli attuali valori, al di sotto del limite di sostituzione.

Sono quindici anni che il tasso d'incremento dei paesi in via di sviluppo è intorno al 2,5%.

Nella storia dell'umanità mai si è verificata una simile situazione.

L'unico paragone può esser fatto nel senso opposto, quando la popolazione è diminuita, come dal 1346 al 1349, quando la peste spazzò via circa la metà della popolazione europea e forse non solo europea; oppure quando si scoprì l'America importandovi germi patogeni che ridussero la popolazione del continente a un decimo in un secolo.

La crescita invece è sempre avvenuta lentamente.

Trovo quindi fuorvianti affermazioni secondo cui l'esperienza storica mostra che il tasso di crescita incomincia a decrescere solo dopo che è avvenuto lo sviluppo economico e sociale. Il problema è se e come tale sviluppo potrà avvenire.

La mia attenzione era comunque incentrata soprattutto sul tasso di crescita e sui problemi che questo comporta. Oggi mi preme evidenziare il fatto che la rapidissima crescita della popolazione ha portato a un cambiamento di scala dei problemi, senza che sia cambiata la cultura dell'uomo nel rapporto con il mondo. La crescita della popolazione, permessa dalla rivoluzione industriale nata dallo sfruttamento delle fonti energetiche fossili, ha radicalmente cambiato il peso dell'uomo sul sistema che ha permesso la nascita e lo sviluppo della vita su questo pianeta, almeno nelle forme in cui la conosciamo e di cui facciamo parte.

Il grafico della figura 1 mostra la crescita della popolazione dal 5000 a.C. e la salita rapidissima dell'ultimo secolo.

L'unica rivoluzione con cui possiamo confrontare i cambiamenti avvenuti è quella che abbiamo definito neolitica, con l'introduzione dell'agricoltura e dell'allevamento stanziale. Tale cambiamento causò anche allora una notevole crescita, continuata fino all'inizio dell'era cristiana.

Con qualche "piccola" differenza: che la crescita avvenne in alcune migliaia di anni e con molteplici centri di sviluppo, in molte generazioni, con la possibilità di modificare le culture, che comunque non dovettero cambiare quanto dovrebbero oggi. Infatti gli errori fatti localmente, si pensi alla scomparsa della "mezzaluna fertile", non incidevano sul pianeta nella sua globalità. C'era sempre un altro territorio, più o meno abitato, da colonizzare o invadere. Mentre inizialmente si aveva un ritmo di crescita che portava al raddoppio ogni 1000 anni, siamo passati da 1 a 2 miliardi dal 1800 al 1930, a 4 nel 1975 e si prevede di arrivare a 8 nel 2030. Non solo sono ridottissimi i tempi di raddoppio, ma il valore numerico è spaventoso.

Alla fine del secolo scorso sono state completamente colonizzate l'America e l'Australia. Per la prima volta nella storia dell'umanità non ci sono nuove terre da invadere. L'energia necessaria per colonizzare altri pianeti e per portarvi uno o due miliardi di persone è probabilmente al di là di ogni nostra capacità di comprensione, malgrado i racconti di fantascienza.

Cambiamento culturale

Se la cultura è stata lo strumento evolutivistico che ha permesso la sopravvivenza dell'umanità finora, essa dovrà profondamente cambiare per garantire il futuro della specie. Non si possono affrontare i problemi posti dalla popolazione attuale usando le idee e le esperienze sviluppate in condizioni totalmente diverse. Non si può dimenticare che quando si superano alcuni livelli quantitativi, i problemi cambiano dal punto di vista qualitativo a causa della diversa scala. Un elefante non può avere la stessa struttura di una formica, né una sequoia quella di una spiga di grano.

La storia non ci può più essere maestra, può solo fornire scarse indicazioni.

Dovremo rielaborare le esperienze fatte per adattarci a una situazione quale mai si è presentata. Segnali di tale elaborazione cominciano a esserci, ma non sono abbastanza forti, dato che non seguono le azioni. Si pensi a quanti convegni internazionali ci sono stati con faticosa stesura di protocolli sottoscritti dagli Stati, generalmente inapplicati quando riguardano il complesso della società (Kyoto docet). Si tratta spesso di sostenibilità, concetto introdotto per l'evidente impatto che le attività umane hanno sul pianeta, di cui finalmente si comincia a prendere coscienza. La sostenibilità non è tuttavia un concetto univocamente definito, variando le accezioni da una conservazione integrale degli ambienti "naturali", cioè senza l'uomo o con livelli di presenza umana molto bassa, fino a una sostenibilità essenzialmente di tipo economico, con scarso riferimento all'ambiente. L'idea più ampiamente accettata fu enunciata dalla

Commissione internazionale dell'ONU per l'ambiente e lo sviluppo nel 1987, che definì sostenibile uno sviluppo che soddisfa «i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere ai loro» (Brundtland, 1988). Il problema è come interpretare in concreto tale enunciato quando si analizza il modello dei vari paesi.

In particolare nel settore energetico, che pure è all'origine dell'esplosione demografica, scarsa è la coscienza dei problemi e dell'entità delle grandezze in gioco, pur limitandosi a ciò che avviene nel nostro paese.

Quando si parla di energia usualmente si pone l'accento soprattutto sull'energia elettrica e sulle risorse complessivamente consumate dal paese. È opportuno invece considerare che solo una percentuale, che non arriva al 20% dei consumi finali, viene usata sotto forma di energia elettrica, mentre il resto è per lo più usato come combustibile per i trasporti, l'industria e il riscaldamento. Come mostra la figura 2, è ampia la differenza tra le risorse impegnate e l'energia effettivamente utilizzata. La forte differenza esistente tra risorse usate ed energia consumata, che si può rilevare dalla figura, dipende soprattutto dal fatto che il sistema di produzione di energia elettrica è incentrato sulle grosse centrali termoelettriche che, necessariamente, debbono disperdere nell'ambiente calore a bassa temperatura. Se in ipotesi estrema riuscissimo a recuperare interamente questo calore, potremmo coprire tutti i consumi termici a bassa temperatura.

Conseguentemente è necessario non solo risparmiare, cioè ridurre i consumi in senso assoluto, ma soprattutto razionalizzare il sistema al fine di ridurre la differenza tra le risorse impegnate e l'effettiva utilizzazione dell'energia. Dato che circa un 30% degli usi finali è destinato al riscaldamento di fluidi a bassa temperatura, cioè inferiore ai 100°C, una razionalizzazione legata alla qualità termodinamica delle risorse utilizzate, per lo più combustibili capaci di fornire energia termica a temperature superiori ai 1000°C, porta subito a considerare la necessità di ottenere energia elettrica e calore attraverso la cogenerazione. Tale tipo di impianto può trovare applicazione nel settore civile se si abbandona l'idea di megaimpianti a scala urbana.

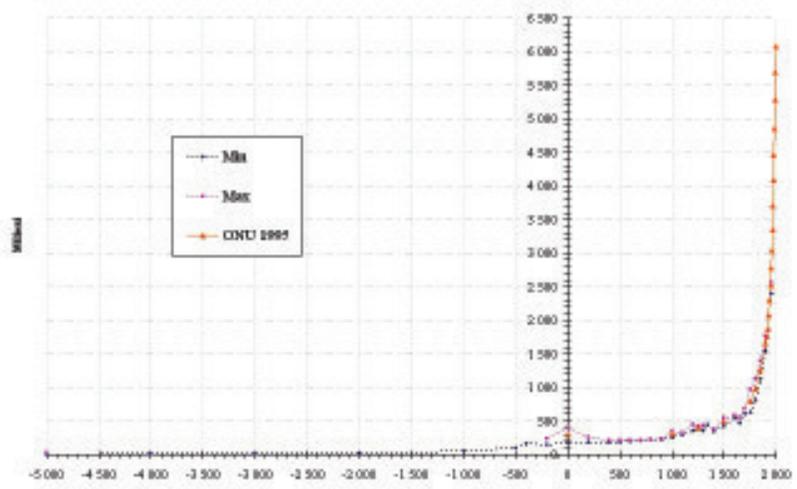


Fig.1 - Evoluzione della popolazione mondiale. Elaborazione da dati dell'Ufficio Statistico USA (www.census.gov, 5/10/00)

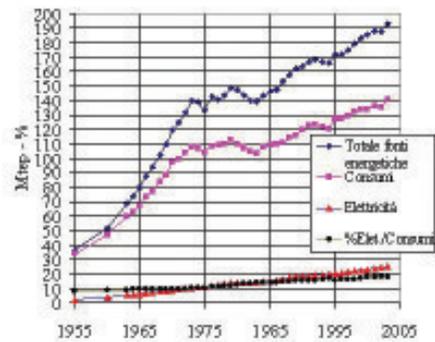


Fig. 2 - Consumi energetici italiani. Elaborazione dati ENI, IRPET, ENEL, Ministero Industria

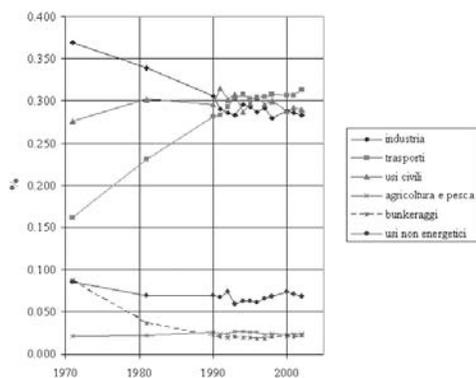


Fig. 3 - Ripartizione usi finali in Italia

Particolarmente interessante è la composizione percentuale degli usi finali, riportata in figura 3, che mostra anche l'incidenza dei trasporti. La maggior parte dei consumi del terziario sono legati al riscaldamento, settore dove si potrebbe facilmente intervenire, più facilmente ancora che sui trasporti. Su questi ultimi l'eventuale introduzione di trasporti pubblici elettrici porterebbe a spostare i consumi verso la fonte elettrica, ma non a diminuire i consumi stessi; l'impatto forte sui consumi globali si avrebbe se si riuscisse a passare a un sistema quasi totalmente pubblico per i passeggeri. Viceversa, nel campo del riscaldamento, i consumi potrebbero essere notevolmente ridotti con la semplice introduzione generalizzata di controlli automatici. Si consideri che solo oggi la normativa italiana ha imposto valori confrontabili con quelli del resto d'Europa, dove sono in vigore da decenni, nonostante le ben diverse condizioni climatiche.

Tali consumi energetici comportano un notevole costo economico, legato all'inquinamento, ma anche al costo intrinseco; una stima grossolana valuta a 190.000 € l'anno i costi per gas e a 230.000 € quelli per l'energia elettrica nella città di Firenze.

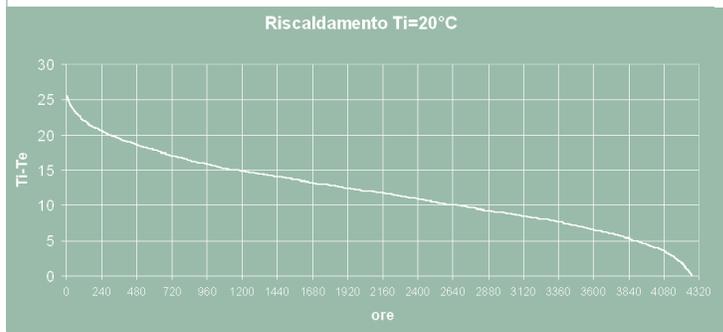
Razionalizzazione

Questo termine non va considerato solo in relazione al secondo principio della termodinamica, ma anche dal punto di vista impiantistico. Mentre il risparmio si può ottenere con interventi di limitazione delle perdite, oppure modificando le abitudini degli utilizzatori, la razionalizzazione degli impianti è compito dei progettisti e dei conduttori. Essa si può attuare mediante controlli più sofisticati, che adeguino meglio nel tempo la fornitura di energia alla richiesta, ma soprattutto con un diverso atteggiamento nei confronti dei molteplici tipi di impianti possibili, andando a fornire il corretto livello qualitativo energetico corrispondente alle utenze. Per fare quanto sopra occorre considerare che gli impianti richiedono investimenti, nel caso di edifici per uffici si va oltre il 50% del costo totale, e quindi vanno visti in un'ottica economicamente valida.

Bisogna infatti ridurre il livello dei costi di acquisto, aumentando per quanto è possibile le sinergie tra i diversi impianti (illuminazione e riscaldamento, telegestione e allarmi, ecc.), ma soprattutto si deve considerare il costo totale durante tutta la vita dell'impianto, e non solo il costo di acquisto. Ciò implica introdurre tra le variabili economiche il costo di gestione e di manutenzione, cosa che accade di solito a livello industriale, ma raramente nel campo civile.

Un altro punto importante è la tipologia di impianto e la sua risposta alla richiesta del sistema. Come mostra la figura 4, relativa al salto di temperatura che si ha tra interno ed esterno durante il periodo di riscaldamento secondo l'anno tipo per Firenze, i periodi di massima richiesta sono molto limitati, e ciò vale anche nel periodo estivo. Però è sulla

Fig. 4 - Cumulata delle richieste di potenza.



il consumo energetico dei paesi industrializzati è sempre più influenzato dalla richiesta di energia elettrica per impianti di refrigerazione

massima richiesta che vengono usualmente dimensionati gli impianti e questi presentano in genere la massima efficienza proprio alla massima potenza. Vale a dire che si usa una macchina da corsa per viaggiare nel traffico cittadino. Dovremmo fare in modo di avere l'efficienza massima ai più frequenti carichi intermedi piuttosto che alla massima potenza. Per questo è necessario riconsiderare gli impianti, valutando schemi e apparati diversi, dalle caldaie a condensazione alle pompe di calore, elettriche o a motore a combustione, per limitarsi al riscaldamento, realizzando sistemi energeticamente ed economicamente razionali, adeguandoli alle specifiche esigenze delle varie utenze, costruendo anche, se necessario, nuove macchine.

Produzione di freddo e impatto ambientale

Il consumo energetico dei paesi industrializzati è sempre più influenzato dalla richiesta di energia elettrica da parte degli impianti di refrigerazione; d'altra parte la produzione di freddo è importantissima sia per esigenze di conservazione degli alimenti che per il condizionamento degli ambienti civili e industriali, anche al fine di realizzare processi produttivi.

Oggi, i problemi che si pongono nell'impiego delle macchine frigorifere riguardano soprattutto il consumo energetico e l'inquinamento ambientale.

I sistemi più diffusi di produzione del freddo funzionano secondo cicli termodinamici a compressione di vapore e richiedono il consumo di energia pregiata, soprattutto elettrica, oltre all'impiego di fluidi di lavoro spesso dannosi per l'ambiente.

A partire dal protocollo di Montreal nel 1987, essendo stata accertata l'azione dannosa dei clorofluorocarburi (CFC) nei confronti dell'ozono stratosferico, è stata prevista la loro eliminazione e questo ha spinto i ricercatori di tutto il mondo alla ricerca di fluidi alternativi, possibilmente naturali.

Dal punto di vista energetico si possono aumentare i rendimenti della macchina o del sistema di utilizzazione dell'energia, razionalizzandolo sulla base del secondo principio della termodinamica. Ad esempio la cogenerazione, associata a macchine ad assorbimento o ad altri sistemi che permettano la cosiddetta trigenerazione, oltre a consentire un notevole risparmio di energia primaria, permette anche di conseguire una consistente riduzione delle emissioni di CO₂, riducendo così l'effetto serra.

Per i fluidi frigoriferi occorre considerare l'indice ODP (Ozone Depletion Potential) che riporta la capacità distruttiva nei confronti dell'ozono, riferita all'azione del freon R-11 assunta pari a 1; il valore dell'ODP risulta prossimo all'unità per la maggioranza dei CFC, molto minore per gli HCFC e nullo per gli HFC, ultimi introdotti sul mercato. Spesso questi fluidi comportano una minore efficienza del ciclo frigorifero con conseguente maggior emissione di CO₂ legata alla produzione dell'energia consumata.

È importante considerare che l'uso di tali fluidi nei sistemi frigoriferi rappresentava quantitativamente la minore delle destinazioni e che, tra contributo diretto e indiretto (emissione di CO₂), la refrigerazione incide per circa il 15% sull'effetto serra (IIR, 1998).

Conclusioni

Il problema che oggi ci spinge a occuparci dell'energia non è tanto la scarsità delle risorse, come si temeva negli anni settanta, quanto l'impatto ambientale che l'utilizzazione delle fonti energetiche ha, impatto che si manifesta come inquinamento chimico e come alterazione delle condizioni climatiche del pianeta, il cui cambiamento potrebbe minacciare l'esistenza stessa della vita umana, ma che comunque avrebbe un impatto economico devastante. Dobbiamo quindi considerare non solo la possibilità di ridurre i consumi di energia attraverso il risparmio e la razionalizzazione, termodinamica e concettuale, ma soprattutto di controllare le emissioni degli impianti. I risultati ottenibili con i possibili interventi non sono facilmente quantificabili quando ci si riferisce all'intero sistema, dato che mancano dati affidabili, in particolare sugli impianti civili. La notevole frammentazione delle utenze e delle proprietà complica ulteriormente il quadro. È tuttavia vero che molte soluzioni sono spesso sconosciute ai diretti interessati e non proposte dagli operatori. Su impianti tradizionali una corretta regolazione può portare a risparmi del 30%, ma questo perché molti impianti hanno una pessima regolazione, o addirittura ne sono del tutto sprovvisti.

C'è quindi un problema di informazione e di formazione importante, che va affrontato con pubblicità, corsi di aggiornamento per operatori e anche promuovendo la creazione di società di servizio capaci di intervenire significativamente sul mercato.

È fondamentale realizzare impianti che non impongano rigidità strutturali, cioè impianti di dimensioni non eccessive, così da ridurre i rischi di interruzione delle forniture aumentando il numero dei fornitori, diversificando le fonti e possibilmente utilizzando fonti non dipendenti da importazioni, come ad esempio la geotermia. Nel settore terziario la centralizzazione degli impianti permetterebbe anche una elevata flessibilità nella utilizzazione di fonti rinnovabili, in particolare per il solare. Sembrano invece problematici gli impianti che usano prodotti il cui ciclo di lavorazione non sappiamo ancora chiudere, come nel caso del nucleare che ancora non ha risolto il problema delle scorie.

È necessario considerare che la distribuzione territoriale condiziona il ciclo di produzione e quindi i consumi energetici e la produzione di inquinanti. Se ci sono altri impianti, occorrerebbe ragionare come se si avesse un'unica grande unità di produzione con linee dedicate ai diversi prodotti. In questo modo diventerebbe possibile collegare tra loro attività che sembrano lontanissime, come quelle siderurgiche e quelle di produzione e trasformazione di prodotti alimentari: anche queste ultime necessitano di calore, a temperature bassissime rispetto a quelle della siderurgia; si possono inoltre trovare soluzioni tecnologiche commerciali per refrigerare a partire da energia termica. Integrazione su scala territoriale sia delle attività industriali che di quelle civili, per risparmiare energia e ridurre l'inquinamento razionalizzando il sistema: questa è la strada che può portarci alla sostenibilità, a dare un futuro alla nostra società.

Bibliografia

- BRUNTLAND G.H. *et al.*, *Il futuro di noi tutti*, Bompiani, Milano 1988.
 ENEA, *Rapporto energia e ambiente*, in www.enea.it (2006).
 GRAZZINI G., «Politica, demografia, cultura», in *Testimonianze* 326 (1990).
 IIR, «I fluorocarburi e l'effetto serra. XII nota informativa IIF», in *Il Freddo*, gennaio 1998.



Ing. Sergio Luzzi

Coordinatore gruppo "Acustica" –
Commissione Ambiente
Membro del Consiglio direttivo
nazionale
dell'Associazione Italiana di Acustica

Prof. arch.

Simone Secchi

Docente di Fisica tecnica ambientale
Dipartimento Tecnologie
dell'Architettura e del Design
"Pierluigi Spadolini" dell'Università
degli Studi di Firenze

l'acustica nella riqualificazione edilizia e urbanistica

La legge 447 del 1995 stabilisce che l'inquinamento acustico è «l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo e alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi».

Dalla prima definizione del legislatore già si evincono le molteplici implicazioni di carattere edilizio e urbanistico che sottintende ogni possibile approccio alla questione del rumore ambientale negli scenari urbanizzati.

È dimostrato che in tali scenari i suoni indesiderati o nocivi che inducono sensazioni di fastidio o di disturbo sono dovuti prevalentemente, per quanto riguarda le sorgenti:

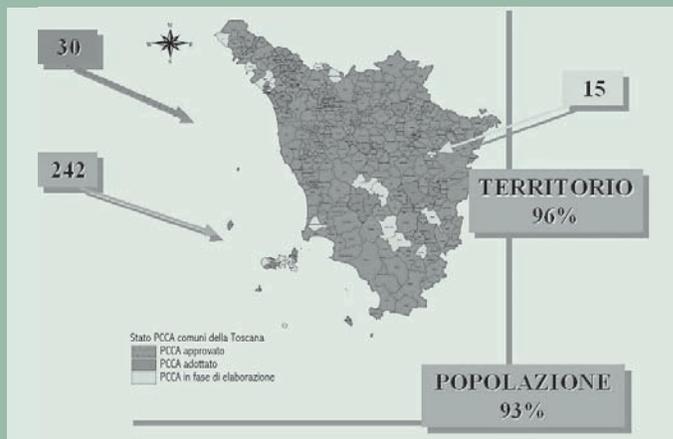
- al traffico stradale, ferroviario e aereo;
- alle attività produttive e ai pubblici esercizi;
- alle abitudini di vita dei cittadini;

e per quanto riguarda i ricettori:

- all'errata dislocazione, forma e disposizione degli edifici;
- a scelte di materiali e impianti privi di idonee caratteristiche acustiche;
- alla debolezza dell'isolamento acustico verso l'esterno e fra partizioni interne.

La Regione Toscana è fra le più virtuose per quanto riguarda gli adempimenti connessi al risanamento acustico ambientale. Quasi tutti i Comuni toscani hanno approvato il Piano di Classificazione acustica. Come si vede in figura 1, il 96% del territorio (corrispondente al 93% dei residenti) è stato correttamente classificato e nelle situazioni più critiche sono in corso le azioni di risanamento acustico previste dagli appositi piani.

Fig. 1
Stato dei piani comunali di classificazione acustica nella Regione Toscana (fonte: Settore "Tutela dall'Inquinamento Elettromagnetico ed Acustico e Radioattività Ambientale" - 2007).



La stima della popolazione esposta all'inquinamento acustico va però intesa come numero totale stimato di persone che vivono nelle abitazioni esposte a predeterminati livelli di rumore, la cui riduzione sistematica è uno dei principali obiettivi della strategia ambientale della Comunità europea, e assume un ruolo prioritario nella valutazione dello stato dell'ambiente acustico, sia in relazione agli effetti indotti sulla salute, sia per definire l'efficacia delle misure da intraprendere e le conseguenti priorità di interventi. Si veda a tale proposito quanto previsto dal D.Lgs. 194/2005 (recepimento della direttiva 2002/49/CE) che contiene importanti novità in materia di Noise Mapping e Action Planning, ovvero di valutazione del rumore ambientale finalizzata al risanamento del territorio.

Da questo punto di vista la situazione acustica delle città italiane non sembra particolarmente felice. Nella tabella 1 è rappresentata la percentuale di popolazione residente in aree in cui la rumorosità ambientale in esterno è maggiore di 65 dBA di giorno e di 55 dBA di notte, in alcuni Comuni italiani capoluogo di provincia. Nella città di Firenze la popolazione residente in aree in cui il livello di esposizione al rumore si stima che superi questi limiti di riferimento è pari al 46% di giorno e al 56% di notte, con riferimento alla sorgente traffico stradale. Si tenga presente che i valori di 65 dB(A) e 55 dB(A) sono i limiti superiori di immissione previsti dalla legge e dalla classificazione acustica per gran parte degli edifici che si trovano nel centro urbano e/o in prossimità di sorgenti lineari (strade e ferrovie).

Comune	Popolazione totale residente nel comune		Popolazione considerata nello studio sul totale della popolazione residente		Popolazione residente in aree in cui LAeq giorno > 65 dBA rispetto alla popolazione considerata nello studio		Popolazione residente in aree in cui LAeq notturno > 55 dBA rispetto alla popolazione considerata nello studio		Sorgenti a cui è riferita l'esposizione della popolazione (anno di elaborazione dello studio) ^b	Metodologia di studio utilizzata ^c
	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%		
Bologna	381.178	100			53 ^a	-			Infrastrutture di trasporto (1997)	A1
Ferrara	131.737	90			35	-			Traffico veicolare (1997)	A1
Modena	174.000	80			29	33			Traffico veicolare urbano (1991)	B
Modena	177.800	91			47 ^a	60 ^a			Traffico veicolare (2003)	A1
Busalla GE	6.000	100			30	-			Infrastrutture trasporto e industrie (2001)	-
Genova	600.000	23			31	-			Infrastrutture trasporto e industrie (1997)	-
Arezzo ^a	91.729	80			42	45			Traffico stradale	A2
Firenze	376.662	100			46	56			Traffico stradale (2003)	A2
Firenze ^a	75440 ^a				32	7,9			Infrastrutture ferroviarie (2003)	-
Livorno ^a	161.673	25			85	94			Traffico stradale	A1
Pisa ^a	92.378	20			83	99			Traffico stradale	A1
Pisaro	88.713	100			32	-			Traffico (1998)	-
Foligno ^a	51.130	100			49,7	29,9			Rumore ambientale (2006)	-
Perugia	148.575	100			-	22			Infrastrutture di trasporto (1995-1996)	A1
Terni	103.964	100			-	10			Infrastrutture di trasporto (1995-1997)	A1

Fonte: Elaborazione su dati ARPA/APPA

LEGENDE:

- A1 Stima della popolazione esposta a partire dai dati demografici e da mappature acustiche ottenute attraverso misure fonometriche e/o modelli di calcolo
- A2 Stima della popolazione esposta a partire dai dati demografici e da mappature acustiche ottenute anche attraverso metodi di tipo statistico che prevedono una classificazione delle rotte viarie e misure fonometriche effettuate su un campione di strade
- B Completamento statistico della popolazione e valutazione dell'esposizione a rumore del campione di popolazione scelto attraverso misure fonometriche ed eventuali applicazioni modellistiche
- C Altro

Tab. 1 - Percentuale di popolazione residente in aree in cui la rumorosità ambientale, in esterno, è maggiore di 65 dBA di giorno e di 55 dBA di notte, in alcuni Comuni italiani (Fonte Annuario APAT - 2006)

Da qui il rinnovato interesse per le problematiche connesse all'acustica nell'ambito dell'edilizia sostenibile e della compatibilità ambientale e la necessità di procedere non solo alla progettazione del risanamento acustico degli edifici e del comfort acustico degli ambienti di vita e di lavoro, ma anche a una pianificazione urbanistica acusticamente corretta.

I temi dell'acustica urbanistica, edilizia e architettonica vengono così ad aggiungersi a quelli "classici" dell'acustica ambientale e all'acustica dei luoghi di lavoro nel bagaglio di competenza e di opportunità professionali degli esperti in acustica, così come diventano argomento di studio, di regolamentazione e di controllo per gli enti preposti alla salvaguardia ambientale del territorio e alla verifica della conformità dell'ambiente costruito.

Più volte si è detto che la progettazione acustica deve essere una fase propedeutica alle diverse fasi della progettazione civile, integrandosi con esse e con la direzione dei lavori. Il lavoro del progettista acustico precede e poi accompagna quello degli altri progettisti, che si occupano di strutture, impianti, finiture, arredi.

Ancora prima il pianificatore acustico dovrebbe affiancare i responsabili delle scelte urbanistiche visto che, con riferimento al modello classico di propagazione del rumore (sorgente-cammino-ricettore), l'efficacia di un intervento di qualificazione acustica è tanto maggiore quanto più siamo vicini alla sorgente e non sempre, soprattutto quando si progetta il comfort acustico di spazi interni influenzati da forte rumorosità esterna, la riduzione del rumore alla sorgente è di competenza di chi progetta l'edificio.

Si deve così intervenire sull'edificio per "proteggerlo" acusticamente dall'esterno e, contemporaneamente, da se stesso, ovvero dalle sorgenti che si trovano al suo interno, anche laddove era possibile con scelte strategiche opportune garantire all'edificio un clima acustico conforme alla destinazione d'uso e limitarne l'esigenza di autoprotezione dal rumore.

Essendo l'edificio, allo stesso tempo, sorgente e ricettore di inquinanti, generati al di fuori di esso e anche al suo interno, la salubrità degli spazi progettati si esprime anche in termini di contemporanea minimizzazione delle immissioni moleste provenienti da sorgenti esterne e delle emissioni moleste che dall'edificio si propagano verso l'ambiente esterno; in altre parole, nell'edificio "sano" gli impatti acustici di sorgenti esterne su ricettori interni e di sorgenti interne su ricettori interni (ed esterni) devono essere ridotti al minimo possibile.

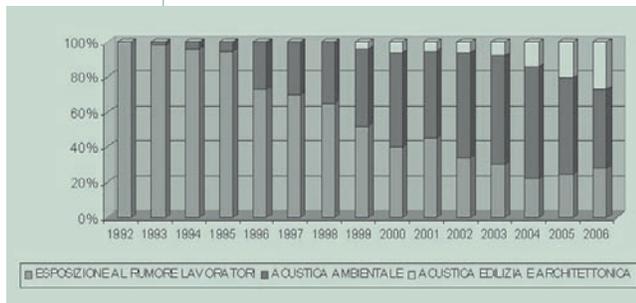


Fig. 2 - Incarichi professionali nel campo dell'acustica suddivisi per tipologia di prestazione.

Nella figura 2 è riportata la distribuzione percentuale delle prestazioni professionali di un gruppo statisticamente rappresentativo di tecnici competenti in acustica operanti in tutte le Province della Toscana, raggruppate secondo le tre grandi categorie sopra descritte. Si noti come la valutazione dell'esposizione dei lavoratori sia stata costantemente la prestazione più diffusa fino all'emanazione della legge 447/1995 (legge quadro sull'inquinamento acustico) e come siano in costante aumento le prestazioni connesse all'acustica edilizia e architettonica, che si aggiungono a quelle di verifica e bonifica del rumore ambientale (comprendenti le valutazioni di impatto e di clima acustico, le classificazioni acustiche, ecc.). Parallelamente cominciano a essere conferiti i primi incarichi di progettazione acustica anche se, come si vede nella figura 3, rimane esigua la quota percentuale di incarichi di progettazione sul totale delle prestazioni professionali.



Fig. 3 - Incarichi professionali nel campo dell'acustica suddivisi fra valutazioni e progetti acustici.

È questo, in estrema sintesi, il compito che spetta ai pianificatori e ai progettisti acustici. Nella speranza che il loro ruolo sia considerato e correttamente inserito e ai vari livelli di competenza.

Rispetto a tale quadro, si può affermare che vi è oggi una maggiore attenzione verso la protezione acustica degli edifici che verso altri aspetti del comfort ambientale (protezione termica, qualità dell'aria interna, ecc.). L'isolamento acustico degli edifici è stato infatti a lungo ignorato dal quadro normativo italiano e pertanto la sensibilità progettuale e le esperienze acquisite risentono oggi di un considerevole ritardo in tale senso rispetto a quanto avviene in altri contesti europei.

Nel corso degli ultimi dieci anni, la normativa nazionale in materia di protezione dal rumore ha invece subito riguardevoli aggiornamenti e modifiche.

Particolarmente importante, per quanto concerne la progettazione edilizia, è il DPCM 5/12/97 (Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici).

Ancora più ampia è stata la produzione di norme tecniche relativa all'acustica degli edifici.

Si citano a tale riguardo due sole norme nazionali, di particolare rilevanza al riguardo. UNI EN ISO 12354, 2001, Acustica edilizia – Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti;

UNI TR 11175, 2005, Acustica edilizia – Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale.

Il decreto 5/12/97 indica i livelli prestazionali minimi richiesti alle strutture edilizie e all'edificio nel suo insieme attraverso gli indici di valutazione delle seguenti grandezze rilevate in opera:

- indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni interne (R'_w);
- indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione ($D_{2m,nT,w}$);
- livello di rumore di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione ($L'_{n,w}$);
- livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderato A ($L_{A,eq}$);
- livello massimo di pressione sonora misurato con costante temporale slow, ponderato A ($L_{A,s,max}$).

Nella tabella 2 sono riportati i valori limite relativi a tali grandezze.

Tab. 2 - Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

Categorie	R'_w ⁽¹⁾	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	$L_{A,s,max}$	L_{Aeq}
Residenze, alberghi, pensioni e assimilabili	50	40	63	35	35
Scuole e simili	50	48	58	35	25
Ospedali, cliniche, case di cura e simili	55	45	58	35	25
Uffici, per attività ricreative, il culto, il commercio o simili	50	42	55	35	35

⁽¹⁾ Valori di R'_w riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari



nel corso degli ultimi dieci anni, la normativa nazionale in materia di protezione dal rumore ha subito riguardevoli aggiornamenti e modifiche

L'entrata in vigore di tale norma, cogente dal marzo del 1998, ha generato numerose perplessità legate da un lato alla mancanza di chiarezza nei contenuti e delle previste linee guida ministeriali di indirizzo per l'applicazione del decreto, dall'altro alla difficoltà a garantire i valori limite ivi specificati con i componenti e i materiali correntemente impiegati nell'edilizia, in particolare per quanto attiene l'isolamento delle facciate e il rumore degli impianti a funzionamento continuo.

In merito di protezione acustica, il decreto ha, infatti, indotto una notevole evoluzione agli standard qualitativi dell'edilizia nazionale, portandoli a livelli comparabili a quelli degli altri paesi europei. Ciò ha avuto e ha ripercussioni sul piano dei costi di costruzione e in specie per i serramenti, mentre è richiesta una maggiore conoscenza tecnologica e accuratezza esecutiva raramente posseduta dalle maestranze.

Le tabelle 3 e 4 mostrano il confronto tra i valori limite definiti dal DPCM 5/12/97 (tab. 2) e quelli stabiliti dalle norme di altri paesi europei.

Le grandezze impiegate nei diversi regolamenti non sono omogenee, come si osserva dalla seconda colonna della tabella 5. Per questo il confronto è possibile solo sotto determinate condizioni in cui si riconducono le varie grandezze a quella standard, che è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente $R'w$ (colonna 6).

Tab. 3 - Riepilogo dei requisiti di isolamento acustico ai rumori aerei secondo i regolamenti di diversi paesi europei. Partizioni verticali tra alloggi differenti

		Edifici in linea		Edifici a schiera	
		Specifica tecnica (min.)	CorrISP. valore di $R'w$	Specifica tecnica (min.)	CorrISP. valore di $R'w$
Danimarca	$R'w$	52	52	55	55
Svezia	$R'w$	52	52	55	55
Norvegia	$R'w$	52	52	55	55
Finlandia	$R'w$	52	52	55	55
Islanda	$R'w$	52	52	55	55
Gran Bretagna	DnT,w	52	51-54	52	51-54
Francia	$DnAT$	54 ¹	54-57	54	54-57
Germania	$R'w$	53 ²	53	57	57
Austria	DnT,w	55	54-57	60	59-62
Olanda	$Ilu;k$	0	52	0	55
Italia	$R'w$	50	50	50	50

¹ Nel regolamento acustico francese (Arrêté du 28 octobre 1994) sono previsti 54 dB(A) di isolamento acustico ($DnAT$) tra alloggi adiacenti per le parti principali degli alloggi e 51 dB(A) per le cucine e i bagni. Sono inoltre previsti 41 dB(A) tra parte principale di un alloggio e spazi di circolazione comune se la separazione avviene attraverso una porta (38 dB(A) quando si tratta di cucine o bagni).

² La norma tedesca DIN 4109 richiede 52 dB di potere fonoisolante apparente ($R'w$) per le pareti del vano scale e le pareti accanto ai corridoi, 55 dB per le pareti accanto a passaggi, ingressi di garage collettivi e altro e 55 dB per le pareti di sale da gioco o altri ambienti collettivi simili.

Paese	Grandezza	Sorgente	Valore limite Case in linea	Note
Danimarca	$L_{A,eq,24h}$	Strade	≤ 30 dB	Livello all'interno
		Ferrovie	≤ 30 dB	
Svezia	L7 pt	Strade	≤ 30 dB	Livello all'interno (solo raccomandato)
Francia	D_{nAT}	strade - ferr.	$\geq 30 - 45$ dB(A)	Dipende dalla categoria di strada o ferrovia
		Aerei	≥ 35 dB(A)	
		≤ 55 dB	30	
		56 - 60	30	
		61 - 65	35	
Germania	R'_{res}	66 - 70	≤ 40	Il limite è riferito al livello sonoro sul fronte della facciata (*) Dipende da condizioni locali
		71 - 75	45	
		76 - 80	50	
		> 80	(*)	
Austria	R'_{res}	giorno	notte	\leq
		≤ 55	≤ 45	33
		56 - 65	46 - 55	38
		66 - 70	56 - 60	43
		71 - 75	61 - 65	48
		76 - 80	66 - 70	53
		81 - 85	71 - 75	58
> 85	> 75	63		
Italia	$D_{2m,nT}$		40	

Tab. 4
Riepilogo dei requisiti
di isolamento acustico
di facciata secondo
i regolamenti di
diversi paesi europei

Tra le principali perplessità generate dall'entrata in vigore del DPCM 5/12/97, vi è l'assenza di dettagliate indicazioni sulle condizioni di applicabilità delle specifiche tecniche definite dal decreto.

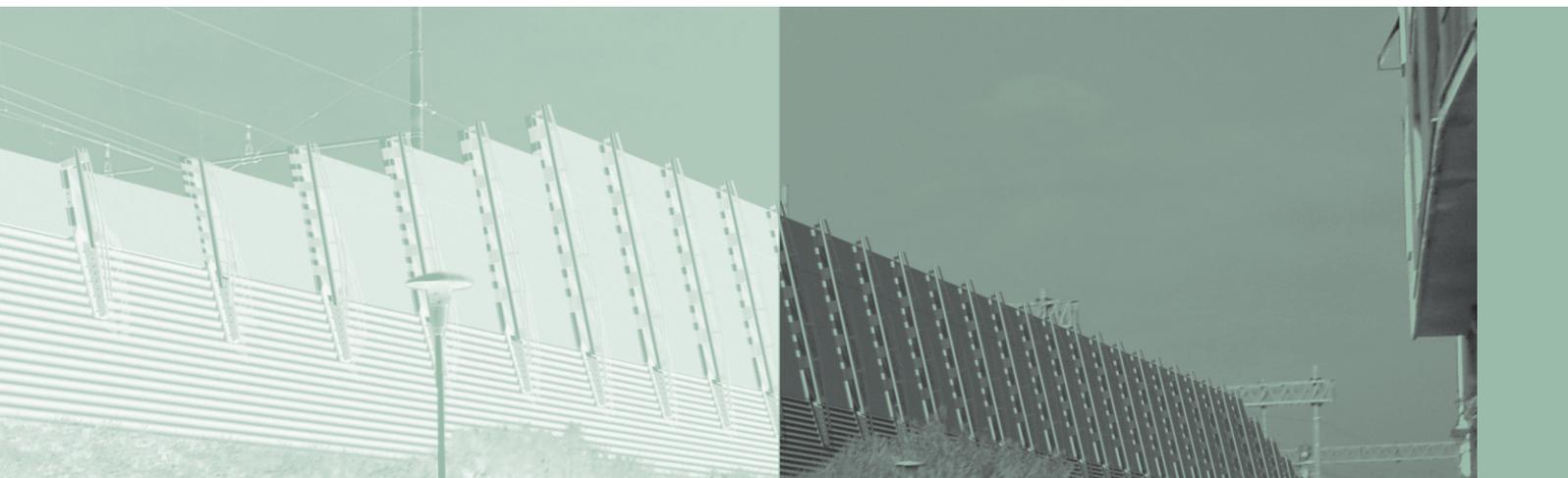
Infatti, mentre è certa l'applicazione dei valori limite definiti dal decreto alle nuove edificazioni, resta incerta l'estensione ai casi degli interventi di recupero.

Altrettanto vale per la verifica del potere fonoisolante di partizioni interne di scuole, ospedali, uffici, alberghi, che, essendo interne a una medesima unità immobiliare, non sarebbero soggette a verifica ai sensi del DPCM 5/12/97.

Per ovviare a questa e ad altre mancanze, alcune Amministrazioni comunali e regionali hanno emanato propri regolamenti che specificano tali condizioni di applicabilità.

Negli ultimi mesi molte sono state le iniziative di confronto pubblico sui temi dell'acustica per l'edilizia sostenibile. La più recente è il Seminario di studio "Edilizia sostenibile - I requisiti passivi degli edifici e la valutazione del clima acustico - Strumenti, regole, obiettivi per una diversa qualità urbana", organizzato dalla III Commissione consiliare del Comune di Firenze, con la collaborazione di vari Ordini e Collegi professionali, che si è tenuto a Palazzo Vecchio il 20 febbraio 2007.

Nel corso di questo importante momento di confronto fra gli amministratori e i professionisti che si occupano di acustica, sono state presentate le "Linee guida per la valutazione dei requisiti passivi degli edifici" della Regione Toscana, elaborate dal Gruppo di lavoro regionale sul Clima acustico, e una serie di "Integrazioni al Regolamento edilizio comunale di Firenze



tra le principali perplessità vi è l'assenza di dettagliate indicazioni di applicabilità delle specifiche tecniche definite dal decreto

in merito ai requisiti acustici delle costruzioni”, destinate a far parte di un fascicolo di vere e proprie “Linee guida per la riqualificazione acustica urbanistica ed edilizia del Comune di Firenze”, elaborate dall’ARPAT e dal Dipartimento di Tecnologia dell’Architettura e Design dell’Università di Firenze.

Tra gli aspetti più rilevanti trattati nella proposta di integrazione al Regolamento edilizio comunale, vi è la definizione di valori limite per gli interventi sul patrimonio edilizio esistente e per le prestazioni acustiche delle partizioni interne di edifici scolastici. Nelle tabelle 5 e 6 sono riportati i valori limite proposti per tali specifici interventi.

In particolare, i valori limite per edilizia esistente riportati in tabella 5 fanno riferimento a interventi su facciate di edifici scolastici od ospedalieri finalizzati alle opere di risanamento acustico previste dai decreti 459 del 18/11/98 e 142 del 30/03/04 (risanamento acustico di aree interessate da rumore da infrastrutture stradali e ferroviarie).

Per gli altri interventi su edifici esistenti, viene proposto invece di applicare i valori limite previsti per la nuova edilizia dal DPCM 5/12/97 (seconda colonna di tab. 5) limitatamente alle seguenti specifiche categorie di interventi, come definiti dalla LR n. 1 del 3 gennaio 2005:

- ristrutturazione urbanistica (art. 78, c. 1, lettera f);
- addizioni volumetriche (art. 78, c. 1, lettera g);
- sostituzione edilizia (art. 78, c. 1, lettera h);
- manutenzione straordinaria (art. 79, c. 2, lettera b), restauro e risanamento conservativo (art. 79, c. 2, lettera c), ristrutturazione edilizia (art. 79, c. 2 lettera d), limitatamente alle parti di edificio su cui si interviene.

Per edifici esistenti si intendono quelli realizzati prima dell’entrata in vigore del DPCM 5/12/97 (marzo 1998).

Tab. 5
Valori limite per l’edilizia nuova (DPCM 5/12/97) ed esistente proposti per la revisione del regolamento edilizio comunale di Firenze.

Categorie di edifici	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	
	Edilizia nuova o assimilabile	Edilizia esistente
Scuole e simili	48	37
Residenze, alberghi, pensioni e assimilabili	40	-
Ospedali, cliniche, case di cura e simili	45	37
Uffici, per attività ricreative, il culto, il commercio o simili	42	-

Categorie di edifici	R'_w (dB)
<i>Residenze, alberghi, edifici per uffici, attività ricreative, di culto, commerciali o simili</i>	
pareti e solai tra unità immobiliari distinte	50
<i>Scuole e simili</i>	
pareti e solai tra unità immobiliari distinte	50
pareti interne tra aule, tra aule e corridoi, atri o altri vani di collegamento	40
pareti interne tra ambienti in cui è richiesta quiete e ambienti in cui si produce rumore (pareti senza porta di comunicazione)	50
pareti mobili	30
<i>Ospedali e simili</i>	
pareti e solai tra unità immobiliari distinte	55

Tab. 6
Firenze. Valori limite per partizioni tra unità immobiliari distinte (DPCM 5/12/97) e per partizioni interne esistenti proposti per la revisione del regolamento edilizio comunale di Firenze.³

Inoltre, sempre nella citata proposta, è stato chiarito il processo di asseverazione finale di rispondenza delle opere realizzate al progetto acustico, ai fini della certificazione della conformità ai valori limite definiti dal DPCM 5/12/97.

Altro aspetto di primaria importanza è l'impatto che l'applicazione delle nuove norme potrà avere sui costi di costruzione dei nuovi fabbricati.

A tale riguardo, nel corso del seminario di studio già citato sono stati presentati i nuovi archivi prezzi per materiali e opere compiute in fase di preparazione e che saranno presto pubblicati sul Bollettino Ingegneri. Si è infatti da tempo insediata una specifica Commissione Acustica che ha lo scopo di:

- selezionare e identificare i materiali con particolari proprietà acustiche, questi materiali saranno marcati con la sigla "ACU";
- introdurre nuovi materiali, attualmente non presenti (con "specifiche prestazioni acustiche");
- introdurre appositi archivi dedicati ai materiali con proprietà acustiche, raccogliendo le voci sparse nei vari archivi;
- introdurre ulteriori archivi per prodotti specifici quali silenziatori attivi e passivi, griglie acustiche, supporti antivibranti, ecc.;
- introdurre archivi per le opere compiute con specifica attinenza al settore dell'acustica (ad es. asfalti, barriere...).

A ogni voce sarà assegnato il prezzo che terrà conto dei costi medi di fornitura, trasporto, nolo, sicurezza e, per le opere compiute, manodopera, oltre a spese generali e utili d'impresa (secondo lo standard adottato dal Bollettino Ingegneri).

Si avrà così una corretta valorizzazione dei materiali con specifiche caratteristiche acustiche. La possibilità di confrontare materiali che hanno idonee prestazioni ai fini acustici, con i prezzi allineati in ragione di fattori oggettivi, consentirà di ottimizzare le scelte progettuali e di compilare capitolati e computi con la massima correttezza.

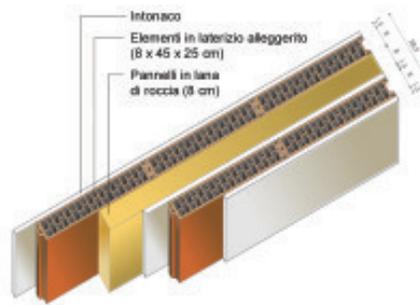
Nel corso del seminario si è inoltre riferito come dall'esperienza dei colleghi che operano nel settore dell'acustica, riportata nell'ambito della Commissione Ambiente dell'Ordine degli Ingegneri, e nelle omologhe commissioni degli altri Ordini e Collegi professionali presenti, emerga la necessità di definire, per l'effettuazione di alcune prestazioni, un insieme di procedure standard, condivise da tutti gli enti interessati e dai diversi organi di controllo.

In particolare si è messa in evidenza l'importanza di fissare criteri univoci per la redazione della documentazione finalizzata all'ottenimento di autorizzazioni e concessioni o necessaria per l'erogazione di sanzioni. Ciò allo scopo di assolvere agli incarichi professionali e produrre la relativa documentazione, interpretando in modo univoco le disposizioni di legge nazionali e regionali.

³ Nel caso di separazione tra unità immobiliari a diversa destinazione, si adotta il più rigoroso dei valori limite relativi alle due unità immobiliari confinanti.

Nelle scuole, sono da considerarsi ambienti in cui si produce rumore i laboratori, gli spazi d'ingresso, di distribuzione e relazione, le ludoteche, i servizi igienici, le lavanderie, gli spazi per la musica, i teatri, le cucine, le palestre, gli spogliatoi, le mense e gli spazi di ristoro. Sono da considerarsi spazi in cui si richiede quiete le aule, le biblioteche-mediateche, gli auditorium, i teatri, le stanze per il riposo.

Fig. 4
Esempi di pacchetti murari multistrato con caratteristiche fonoassorbenti



I regolamenti comunali e le linee guida possono essere un utile ausilio, anche se restano alcuni dubbi applicativi che speriamo si possano sciogliere, con il contributo di tutti, nei prossimi mesi.

Fra questi segnaliamo:

1) L'importanza dell'inserimento della progettazione acustica a livello di progettazione preliminare e di inserire le problematiche di acustica negli studi di fattibilità e di prefattibilità.

2) L'importanza dell'assistenza dell'esperto in acustica alla direzione dei lavori: la figura del direttore lavori per l'isolamento acustico e le sue responsabilità.

3) La necessità di definire, nel collaudo acustico degli edifici e degli impianti, quanti scenari e dove effettuare le misure.

4) Nella regolamentazione dei contenziosi decidere a chi spetta l'onere della conformità per edifici esistenti.

5) La valutazione della rumorosità di strade, ferrovie, aeroporti effettuata dai gestori dei servizi di trasporto deve essere univoca e integrata; deve essere monitorato lo stato di attuazione dei piani di risanamento e di contenimento e previsioni per i prossimi anni, compatibilmente con gli adempimenti previsti dalla direttiva sul Noise Mapping.

6) La pianificazione del risanamento comunale, monitorando i piani. Il Piano di risanamento comunale di Firenze prevede al momento interventi sulle scuole, poi toccherà a ospedali, residenziale, ecc. Sarebbe opportuno conoscere la priorità e la tempistica di attuazione.

7) La gestione attiva della rumorosità dei cantieri e delle attività temporanee di intrattenimento, mediante regolamentazione delle autorizzazioni e velocizzazione degli iter di concessione e di rilascio dei pareri, anche mediante deroghe semplificate e deroghe quadro per grandi opere e per manutenzioni.

8) La verifica univoca delle immissioni in ambiente abitativo, dirimendo l'annosa questione fra contenzioso civile e pratiche autorizzative, ovvero il conflitto di risultati che talvolta si produce nell'applicazione del cosiddetto criterio della normale tollerabilità invece del criterio previsto dal DPCM 14/11/97.

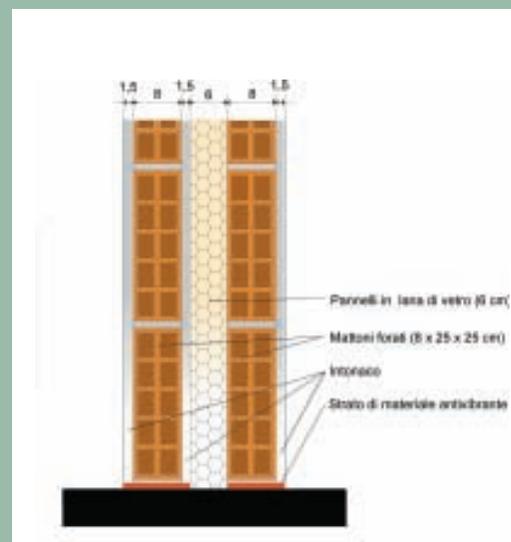
In conclusione, si ribadisce che la conformità ai requisiti acustici passivi è obbligatoria per legge e, insieme alla qualità acustica degli spazi interni, rappresenta un importante valore aggiunto per molte categorie di edifici.

Allo stesso tempo la corretta pianificazione urbanistica non può prescindere dalle ragioni di compatibilità fra sorgenti e ricettori di rumore e dal rispetto dei livelli di clima acustico, che devono essere garantiti negli ambienti di vita e negli edifici acusticamente sensibili.

La soluzione del problema non è emanare nuove norme, ma trovare strumenti che riducano drasticamente la distanza tra quanto la normativa prescrive e la prassi corrente.

Riteniamo che i nuovi strumenti di pianificazione e di regolamentazione possano agevolare una crescita culturale (nel senso di diffusione della conoscenza e presa di coscienza dei problemi) che deve riguardare amministratori, progettisti e imprese, relativamente alla questione del rumore, perché le grandi modificazioni del territorio e delle città, che sono in programma per i prossimi anni, siano caratterizzate da scelte di pianificazione urbanistica e da esperienze di progettazione edilizia attente all'acustica e davvero sostenibili dal punto di vista ambientale.

Fig. 5
Esempi di pacchetti murari multistrato con caratteristiche fonoassorbenti



sistemi di gestione per la sicurezza:

Ing.

Carlo La Ferlita

D.T. della Società di Ingegneria
Sicuring s.r.l. Firenze
vincitrice del premio A.I.A.S.
per i Sistemi di Gestione
per la Sicurezza,
la Qualità e l'Ambiente

Ing.

Giacomo Mecatti

Libero professionista in Firenze e
docente esterno presso la
Scuola Professionale Edile di Firenze



*una crescita per le aziende
e per le imprese edili,
un'opportunità per i professionisti*

Un Sistema di gestione della salute e sicurezza sul lavoro SGSL può definirsi «parte del sistema complessivo del management che facilita la gestione dei rischi per la salute e la sicurezza sul lavoro associati al business dell'organizzazione. Include la struttura organizzativa, le attività di pianificazione, le responsabilità, le pratiche, le procedure, i processi e le risorse necessarie per sviluppare, implementare, raggiungere, riesaminare e mantenere la politica dell'organizzazione in materia di salute e sicurezza sul lavoro».

Questa definizione è forse la più completa e interessante tra quelle proposte da norme e linee guida in materia. Essa caratterizza il SGSL come parte integrante del sistema complessivo di gestione di un'organizzazione ma, soprattutto, parla dei rischi per la salute e sicurezza sul lavoro come associati al business, cioè allo scopo stesso per il quale nasce e vive un'organizzazione. In questa ottica la salute e la sicurezza sono certamente condizionate dall'attività lavorativa e dalle sue modalità, ma sono anche elementi fondamentali in grado di condizionare, a loro volta, i risultati del business dell'organizzazione.

In materia normativa ancora non ci sono precisi riferimenti, anche se sembrano assumere rilievo le norme pubblicate in Gran Bretagna, che si propongono fini certificativi e fissano gli standard minimi che un Sistema di gestione della sicurezza sul lavoro deve avere per poter essere riconosciuto come regolarmente ed efficacemente implementato e mantenuto attivo. Queste norme sono le OHSAS 18001, cui sono seguite le linee guida OHSAS 18002, che forniscono consigli per l'implementazione del Sistema di gestione e attualmente rappresentano lo standard che è riuscito a imporsi meglio, rispetto agli altri.

Sarebbero ancora da citare altre norme per la loro importanza politica e di indirizzo, ma non vogliamo farlo in questo spazio, citiamo però che in assenza di un documento italiano di riferimento che, a livello nazionale, interpretasse la realtà produttiva del paese, e nella certezza che la gestione della salute e della sicurezza sul lavoro sia essenziale per una concreta svolta in ambito prevenzionale, nonché determinante in termini di competitività sul mercato globale per le organizzazioni, INAIL e UNI hanno promosso la nascita di un gruppo di lavoro su questi sistemi: il documento pubblicato nel 2001 non è una norma, non è certificabile e non è soggetto all'attività degli organi istituzionali di vigilanza; come tutti i Sistemi di gestione, anche quello della salute e sicurezza sul lavoro descritto nelle linee guida SGSL viene adottato liberamente e volontariamente per iniziativa dell'alta direzione delle aziende. Esso è costruito per essere compatibile con i sistemi della qualità e ambiente basandosi sul "Cerchio di Deming": Plan - Do - Check - Act e sul concetto di "miglioramento continuo".

Fig. 1
Immagine del "Cerchio di Deming":
Plan - Do - Check - Act.



Si tratta di un modello di Sistema di gestione costruito in modo semplificato per agevolare l'uso da parte delle piccole e medie imprese e di quelle artigiane, che costituiscono in Italia oltre il 98% di tutte le attività produttive. L'essenza metodologica suggerita dalle linee guida SGSL sta, da un lato, nella pianificazione e programmazione e, dall'altro, nel monitoraggio continuo a livello operativo e periodico in termini di controllo, ai fini del miglioramento continuo.

Secondo questa impostazione, l'elemento qualificante del sistema è costituito dalla partecipazione, dal coinvolgimento, dalla cooperazione e consapevolezza di tutti coloro che operano all'interno dell'azienda indipendentemente dal loro ruolo e livello gerarchico, e dalla consapevolezza che gli obiettivi della salute e sicurezza sono comuni a tutti e devono da tutti essere perseguiti proporzionalmente ai ruoli assegnati e alle relative responsabilità.

In quest'ottica si può inserire anche l'operato del *consulente tecnico esterno*, che con la sua esperienza può contribuire all'attività di pianificazione e razionalizzazione, tenendo anche conto degli elementi di criticità e deviazione dal previsto che si possono verificare. Agire in questo modo significa affrontare le problematiche di sicurezza sempre presenti nelle attività produttive, in modo realmente preventivo.

Nel frattempo, e in attesa della futura norma UNI, il SINCERT, l'organismo italiano di accreditamento, ha pubblicato un protocollo di certificazione; questo documento è un passo molto importante che consente di inquadrare la certificazione dei processi di gestione delle aziende in un contesto di regole e controlli necessari per garantire l'insieme degli *stakeholders*, tenendo presente che si tratta di un sistema che ha per oggetto beni primari delle persone come la salute e la sicurezza.

Si ritiene però che l'obiettivo delle aziende che intendono adottare un SGSL non debba essere la certificazione, ma l'efficacia e l'efficienza dell'azione prevenzionale e dell'operatività aziendale complessiva. La certificazione potrà arrivare solo in seguito, a sistema correttamente applicato, efficacemente funzionante e realmente in grado di gestire il miglioramento della salute e sicurezza, per evidenziare tale capacità agli *stakeholders* e al mercato.

L'importanza dei Sistemi di gestione viene riconosciuta implicitamente dalle più recenti norme, che alla luce della Conferenza Stato-Regioni del 26 gennaio 2006 inquadrano la formazione delle figure che ricoprono l'incarico di responsabili del Servizio di prevenzione e protezione; nella suddivisione dei percorsi, nel modulo "C", comune a tutti i settori di attività Ateco, viene proprio ampiamente trattato l'argomento relativo ai Sistemi di gestione per la sicurezza.

L'implementazione, la gestione e l'eventuale certificazione rappresentano quindi una nuova opportunità per i tecnici, che potranno offrire le loro consulenze in materia: *un modo nuovo di fare sicurezza, un nuovo approccio professionale.*



Fig. 2
Esempio di report realizzati tramite software utilizzato per gestire la sicurezza sui luoghi di lavoro.

*l'importanza
dei Sistemi di gestione
viene riconosciuta
implicitamente dalle più recenti
norme*

L'interesse mostrato dalle aziende può essere mosso non solo nell'ottica del miglioramento, dell'efficienza, dell'efficacia, ma anche del risparmio: contrariamente a una negletta opinione, tali strumenti, applicabili su base volontaria, se gestiti correttamente e intelligentemente dagli imprenditori, anche delle piccole e medie imprese, possono contribuire in modo significativo a inserirle e a mantenerle nei segmenti di mercato più redditizi a livello italiano, europeo e internazionale e a permettere alle organizzazioni che li adottano il rispetto degli standard sulle responsabilità sociali che si stanno affermando nei settori produttivi più evoluti.

L'ultima Finanziaria, dato che nel 2006 si è registrato un incremento del 35% degli infortuni mortali rispetto al 2005, ha validato il concetto di programmazione: infatti le imprese che vorranno perseguire obiettivi virtuosi potranno presentare la propria politica della sicurezza, inserita in una gestione pluriennale, alle associazioni dei datori di lavoro di categoria, anche all'interno di enti bilaterali, che ne vaglieranno i contenuti al fine di poter ottenere sconti sui premi assicurativi INAIL.

Dato che la Finanziaria 2007 ha quintuplicato le sanzioni per il mancato rispetto normativo in materia di sicurezza, ci si rende conto dell'importanza di un Sistema gestionale, che possa aiutare le aziende a mettere in atto tutti quei passaggi, anche procedurali, richiesti dalle norme, a fronte di sanzioni che possono raggiungere anche importi di 20.000 € per una singola inadempienza.

Anche la Regione Toscana, da anni particolarmente impegnata sul fronte sicurezza nei luoghi di lavoro, con un bando, scaduto il 31 gennaio 2007, ha finanziato l'implementazione di questi sistemi.

Ing.

Alberto Giorgi

TERNA Rete Elettrica Nazionale
Consigliere dell'Ordine degli
Ingegneri della Provincia di Firenze
e Coordinatore Commissione
Ambiente

P.I. Marco Pistolozzi

Le strutture in acciaio, quali i sostegni delle linee elettriche aeree, necessitano di protezioni a lunga durata, sia per i costi e le difficoltà delle loro manutenzioni, sia per i problemi legati all'impatto ambientale.

Le linee elettriche, come noto, attraversano località con atmosfere a inquinamento diversificato, passando da aree urbane e industriali a elevato inquinamento ad aree rurali con scarsi problemi corrosivi.

Una valida risoluzione del problema è stata trovata da alcuni decenni nella zincatura a caldo di tutti i manufatti dei sostegni delle linee elettriche, il che ha permesso di combinare efficacemente costi a buon mercato con prestazioni di lunga durata e poco significative alterazioni ambientali.

Processo di zincatura dei manufatti di sostegni di linee elettriche

I sostegni delle linee aeree sono costituiti da una vasta serie di manufatti dalle svariate forme e diverse caratteristiche meccaniche (montanti, traverse, piastre, difese, mensole e bulloneria, ecc.) ma che non comportano particolari problemi durante l'intero processo di zincatura.

La zincatura a caldo viene effettuata attraverso varie fasi che vanno dalla pulitura dell'acciaio alla sua immersione in una vasca di zinco fuso intorno a 450°C, fino all'estrazione e stoccaggio.

L'operazione di sgrassaggio è spesso determinante per ottenere zincature di qualità, perché la presenza di grassi e oli da lavorazione potrebbe impedire un efficace decapaggio e una parziale eliminazione degli ossidi condurrebbe ad avere alcune zone non adeguatamente zincate.

Durante l'immersione, lo zinco forma una lega ferro-zinco con percentuale di zinco decrescente verso l'interno; la durata del tempo di immersione, la temperatura del bagno e l'uso di additivi sono determinanti per ottenere un rivestimento protettivo di lunga durata e qualità.

Le vasche di immersione hanno dimensioni tali da consentire agevolmente l'immersione di montanti e traverse anche di lunghezza elevata, quali quelli costituenti i sostegni di linea.

l'impiego della zincatura a caldo nei sostegni delle linee elettriche aeree



Caratteristiche del rivestimento

Il rivestimento dei sostegni di linee elettriche aeree deve essere liscio e relativamente brillante e la sua qualità sarà determinata dal tipo di zinco presente nel bagno, dall'acciaio del manufatto, dall'aggiunta di additivi, dalla temperatura, dalla velocità di immersione ed estrazione, dalla vibrazione e centrifugazione e infine dal raffreddamento e dallo stoccaggio.

I difetti causati da una cattiva preparazione superficiale possono essere rilevati dal semplice controllo visivo e il rivestimento dovrà presentarsi liscio, continuo e aderente.

La durata dell'acciaio zincato è proporzionale alla massa del rivestimento e dipende dal tipo di inquinamento atmosferico presente nella sua collocazione finale.

La zincatura è in grado di realizzare una doppia protezione alla corrosione sia di tipo "passivo", comportandosi come una barriera agli agenti atmosferici e all'umidità impedendo la combinazione con l'ossigeno, sia di tipo "catodico", consumandosi a favore del ferro nelle zone scoperte evitando la formazione di ruggine.

Impianto di lavorazione:
particolare



Le prescrizioni per la costruzione ENEL e per il collaudo ENEL

La soc. TERNA Rete Elettrica Nazionale nelle prescrizioni per la fornitura dei sostegni a traliccio per linee elettriche ad alta tensione (380 kV – 220 kV – 150÷132 kV) richiama i requisiti delle Prescrizioni per la costruzione ENEL LS 10002 – gennaio 1994 – e delle Prescrizioni per il collaudo ENEL LS 10003 – gennaio 1994.

In tali prescrizioni si riporta quanto segue:

- La zincatura deve essere eseguita per immersione in bagno di zinco fuso e deve rispondere ai requisiti delle Norme CEI 7.6 "Controllo della zincatura a caldo".
- È ammessa la zincatura in due tempi delle porzioni di lunghezza superiore a quella della vasca; in questo caso, prima di procedere alla seconda immersione, la "zona di ripresa" della zincatura dovrà essere accuratamente ridecapata.

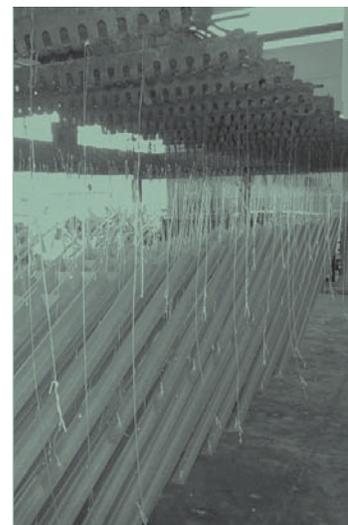
Controlli in ambito TERNA sulle zincature a caldo di sostegni di linee elettriche aeree

La verifica della zincatura consiste nella misura dello spessore dello strato di zinco effettuata mediante strumenti a flusso magnetico; nel caso di contestazioni la verifica deve essere effettuata in base a quanto prescritto dalle Norme CEI 7.6, ovvero:

- Prove per la determinazione della massa dello strato di zinco (metodo di Aupperle).
- Prova di Preece per la determinazione dell'uniformità dello strato di zinco.

Nel metodo di Aupperle il campione per la prova deve essere pesato con bilancia di precisione. Si prepara dapprima la soluzione di Aupperle (20 g di triossido di antimonio [Sb₂O₃] e 32 g di tricloruro di antimonio [SbCl₃] in un litro di acido cloridrico puro concentrato [circa 37% densità 1,18 – 1,19]).

La soluzione per le prove è costituita da acido cloridrico puro concentrato, addizionato con la soluzione come sopra ottenuta,



Processo di lavorazione: particolare

nella proporzione di 5 cm³ di soluzione per ogni 100 cm³ di acido puro.

L'elemento in prova va immerso nella soluzione; si sviluppa una violenta reazione che richiede meno di un minuto in soluzione fresca. Non appena la reazione è cessata l'elemento estratto dalla soluzione acida è pesato con la stessa precisione di prima.

La differenza fra le due masse, divisa per la superficie, dà la massa dello strato di zinco per unità di superficie.

La prova di Preece consiste nel sottoporre un campione a immersione nella soluzione di Preece, costituita sciogliendo 36 g di solfato di rame puro cristallino per ogni 100 cm³ di acqua distillata; detta soluzione deve essere neutralizzata con aggiunta di un eccesso di ossido di rame, che deve depositarsi al fondo del recipiente.

Le immersioni durano un minuto ciascuna; la prova ha termine quando compare un deposito di rame lucido aderente, non asportabile con spazzola non metallica di almeno 7 mm² di superficie.

Caratteristiche e durata delle zincature a caldodi sostegni di linee elettriche aeree

I rivestimenti ottenuti mediante zincatura a caldo sui sostegni di linee elettriche oscillano fra i 65 e 90 micron e il consumo annuo di spessore varia tra 1 micron in ambiente rurale e 2 micron in ambiente industriale.

In alcuni casi TERNA per ragioni estetiche è ricorsa al sistema definito "Duplex", consistente nell'impiego di cicli di pitturazione idonei a essere applicati su zincatura a caldo. Si sono ottenuti risultati di durata molto significativi, pari a quasi il doppio alla somma della durata della zincatura e verniciatura considerate singolarmente.

Sostegni di linee elettriche zincati intorno ai 500 g/m² possono durare fino a 30 anni in atmosfere particolarmente inquinate e tali valori possono raddoppiare in atmosfere rurali o a basso inquinamento.

Conclusioni

I risultati di eccezionale resistenza alla corrosione conseguiti dai sostegni di linee elettriche aeree protetti con zincatura a caldo sono la conseguenza di una solida base scientifica e di una esperienza tecnologica di moltissimi anni.

È stato inoltre stimato che i rilasci di zinco, in normali condizioni ambientali, non generano aumenti alla concentrazione naturale del suolo, il che consente l'impiego di sostegni zincati anche in luoghi con elevate problematiche di inquinamento ambientale.



Processo di lavorazione

uno sguardo alla disciplina degli scarichi idrici

Ing.
Giancarlo Mariani
Coordinatore gruppo "Acqua"
della Commissione Ambiente

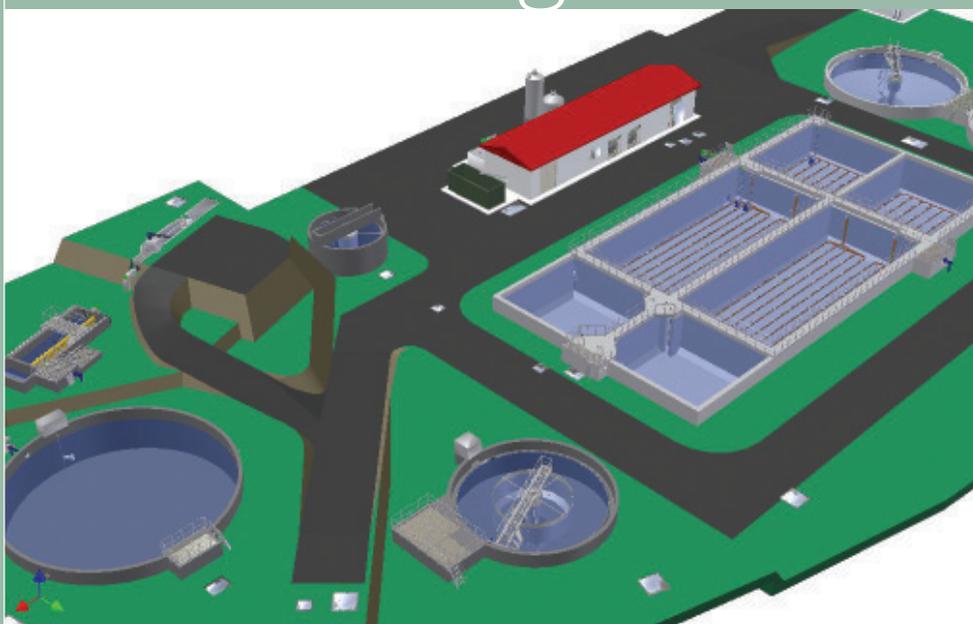


Fig. 1 - Sezione biologica
impianto di depurazione.

Il 29 aprile 2006 è entrato in vigore il Testo unico ambientale D.Lgs. 152/2006, pubblicato sul supplemento ordinario della *Gazzetta ufficiale* della Repubblica italiana il 14 aprile 2006.

Il decreto legislativo rielabora, riunendole in un'unica norma, le principali leggi in materia ambientale e suddivide gli argomenti nelle seguenti sezioni:

- disposizioni comuni;
- procedure per la valutazione di impatto ambientale strategico (VAS), per la valutazione di impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPCC);
- norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche;
- norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinanti;
- norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera;
- norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni dell'ambiente.

In questo articolo sarà analizzata solamente quella parte della normativa che regola la disciplina degli scarichi idrici. Nel Testo unico ambientale la disciplina degli scarichi idrici è presa in esame nel capo III del titolo III della parte III del decreto "Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche". Gli articoli che ci interessano al riguardo sono dal 100 al 108 compresi. Le procedure di autorizzazione agli scarichi sono invece prese in esame nel titolo IV al capo II, agli artt. 124, 125, 126 e 127.

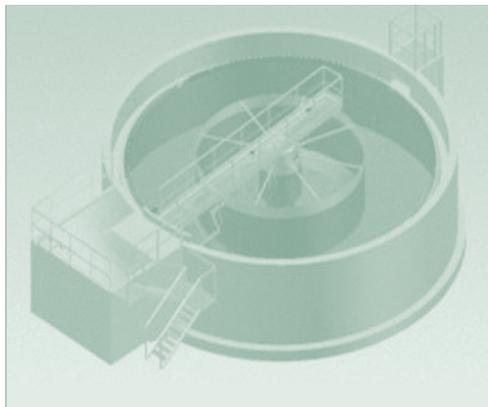


Fig. 2
Sedimentazione primaria
e chiariflocculazione:
impianto di depurazione.

Il nuovo decreto legislativo ricalca in parte il decreto legislativo n. 152 del 1999, ma modifica sostanzialmente la definizione del termine “scarico”. Infatti nel D.Lgs. 152/1999 con *scarico* si intende «qualsiasi immissione diretta tramite condotta di acque reflue liquide o semiliquide o comunque convogliabili nelle acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione». Nel nuovo testo all'art. 74 la definizione di scarico viene così indicata: «qualsiasi immissione di acque reflue in acque superficiali sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione». La nuova definizione quindi si differenzia in maniera evidente, poiché non è più necessario avere un'immissione tramite condotta, ma vengono definite come scarichi anche le immissioni indirette.

Relativamente agli altri punti, il nuovo testo ribadisce quanto già diceva il D.Lgs. 152/1999 e di seguito ne diamo un breve riassunto.

Tutti gli scarichi devono essere autorizzati. L'autorizzazione è rilasciata al titolare dell'attività che origina lo scarico. Viene indicata anche la possibilità per più stabilimenti di effettuare un consorzio per l'effettuazione dello scarico in comune. A differenza del D.Lgs. 152/99 viene consentito lo scarico in comune anche senza la costituzione di un consorzio.

Tutti gli scarichi, suddivisi in acque reflue domestiche, acque reflue industriali, acque reflue urbane, devono rispettare valori limiti

di emissione stabiliti in funzione degli obiettivi di qualità dei corpi idrici.

Lo scarico è ammesso:

1) In *pubblica fognatura*: sempre per acque reflue domestiche nel rispetto dei regolamenti emanati dal soggetto gestore del servizio idrico integrato, mentre gli scarichi di acque reflue industriali sono permessi nel rispetto delle norme tecniche, dei regolamenti e dei valori limite adottati dall'autorità d'ambito competente sulla base delle caratteristiche dell'impianto e del corpo idrico ricettore.

2) In *acque superficiali*: sia per acque reflue industriali, sia per acque reflue urbane nel rispetto dei valori limiti indicati dalla normativa (vedi allegato 5, dove sono riportate tutte le tabelle con i limiti da rispettare). Nel caso in cui il corpo idrico sia in area sensibile, le acque reflue urbane devono essere sottoposte a trattamenti più spinti, secondo quanto riportato nel medesimo allegato 5.

3) Nel *suolo*: solamente nel caso in cui si tratti di acque reflue domestiche provenienti da insediamenti isolati e per gli scaricatori di piena delle fognature e per gli scarichi di acque reflue urbane e industriali, qualora si dimostri l'impossibilità tecnica di convogliarli in corpi idrici superficiali. In tale situazione devono comunque essere rispettati i limiti previsti dallo stesso allegato 5.

Non è consentito, salvo casi particolari, lo scarico nel sottosuolo e nelle acque sotterranee.

La domanda di autorizzazione allo scarico è presentata alla Provincia se in acque superficiali o nel suolo, all'autorità d'ambito territoriale ottimale se in pubblica fognatura. La durata dell'autorizzazione è di 4 anni per gli scarichi industriali. La presentazione della domanda di autorizzazione allo scarico industriale deve essere correlata dalle caratteristiche quantitative e qualitative dello scarico e del volume annuo di acqua da scaricare, dalla tipologia del ricettore, dall'individuazione del punto previsto per effettuare i controlli, ecc. In questa fase vengono richieste le planimetrie con indicazione dell'ubicazione

Il rischio dei serbatoi interrati: un problema “sommerso”

Nella tutela ambientale del suolo e delle acque oggi c'è molta più attenzione. Qui si vuole fare riferimento a un aspetto particolare ma vasto del problema: i serbatoi interrati. Sono tanti, un numero veramente impressionante, e non riguardano solo i siti industriali ma anche quelli per uso civile o pubblico (ospedali, grandi condomini, banche, grandi aziende, ecc.). Sui siti industriali dimessi è stata fatta negli ultimi anni una mappatura dei più importanti per rischiosità. Per questi casi la normativa è chiara, le procedure da rispettare molte e rigide ma ben codificate, le competenze richieste molte e ovviamente costano.

Ma i serbatoi interrati sono considerati solo in due casi legati all'emergenza o urgenza nella bonifica dei siti industriali mappati oppure al verificarsi di versamenti o stravasi di olio improvvisi, che costringono i Comuni a intervenire con progetti di bonifica mirati e con costi necessariamente più ampi per ripristinare il suolo contaminato.

Ma oltre a questo, esiste un terzo aspetto del problema serbatoi: la loro gestione in quanto “oggetti” pericolosi per l'ambiente, sia per uso civile che pubblico o privato. Infatti quelli fuori uso sono per lo più lasciati nel suolo per anni o decenni, perché non sono chiare regole e obblighi per la loro manutenzione e dismissione con messa in sicurezza.

Questa lacuna ha alimentato modalità spesso “non corrette” di dismissione, esigenza che emerge solo durante lavori edili o per installazione di nuovo impianto.

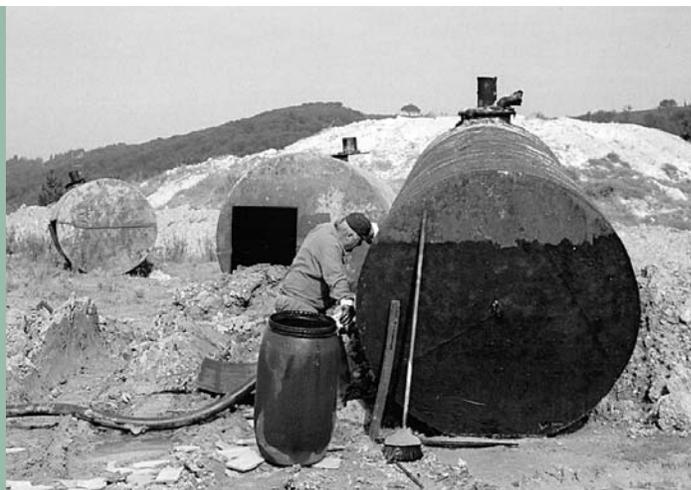
Abbiamo verificato che quando si trova un serbatoio durante uno scavo, non sempre si chiama la ditta autorizzata, ma per risparmiare si fa un intervento “tampone” usando magari i detriti dei lavori edili per riempire il serbatoio e aumentando in tal modo la rischiosità e il costo finale dello smaltimento. E alla domanda fatta ad alcuni installatori: «Ma cosa viene fatto del serbatoio precedente?», la risposta è stata: «Nessuno ci chiede niente, pertanto resta lì».

I serbatoi *fuori uso* rappresentano un fattore di rischio non trascurabile per il suolo e per le acque, perché se l'olio si infiltra nel terreno può raggiungere le falde acquifere!

Quel che non è chiaro è che la perdita di olio nel tempo è un processo inevitabile se non si interviene.

Resta per noi importante un'azione di informazione per far emergere un modo di lavorare “consapevole”. Avviare una collaborazione con le aziende del settore edile, con i progettisti, con Comuni e Province e con le Agenzie regionali per informare di più e meglio. Ma è altrettanto importante, mentre si procede nella realizzazione di una prima filiera per l'ambiente in Toscana impegnata nella qualità, completare le lacune applicative della normativa che vada a definire le responsabilità in chi le ha.

La consapevolezza dei rischi che possiamo causare all'ambiente è andata crescendo molto. Beta Ecoservice ritiene sia importante alzare il livello della qualità anche in questo settore fatto di tante piccole aziende, a tutto vantaggio di una maggiore trasparenza delle operazioni e di una sinergia con le istituzioni locali, per “ripulire” meglio i nostri territori da questo rischio “sommerso”.



Il contributo di ciascuno all'ambiente

Il contributo di ciascuno all'ambiente parte da comportamenti responsabili. Questo è il nostro slogan, condiviso da tutti. Ma per ottenere questo occorre anche esercitare un'azione di informazione e sensibilizzazione. La Beta Ecoservice sta promuovendo una filiera ambientale in Toscana per alzare il livello della proposta di servizi nel settore, puntando molto sull'informazione e sulla creazione di una rete di aziende qualificate e attente.

La normativa

- 1) D.Lgs. 22/97 (decreto Ronchi sui rifiuti): abrogato; DM 25/10/1999 n. 471 "Messa in sicurezza e ripristino siti inquinati": abrogato.
 - 2) Decreto 24 maggio 1999 n. 246 "Regolamento recante norme concernenti i requisiti tecnici per la costruzione, l'installazione e l'esercizio dei serbatoi interrati": abrogato nel 2001.
 - 3) Legge 31/07/02 n. 179 "Disposizioni in materia ambientale": abrogata.
 - 4) DM 29/11/02 inerente le prescrizioni per serbatoi interrati *per distributori di carburanti*: vigente.
- Alle normative nazionali esistenti il 3 aprile 2006 è stato sostituito il decreto legislativo n. 152 "Norme in materia ambientale", detto anche Codice dell'ambiente.

Il decreto, emanato sulla base di una delega al Governo prevista dalla legge 308/2004, per il riordino, il coordinamento e l'integrazione della legislazione in materia ambientale, presenta a detta degli esperti del settore molte lacune. Nel corso del 2006 è stato avviato un comitato di studio per la sua revisione, presieduto dal senatore Sauro Turroni.

Altri provvedimenti normativi e applicativi sono rimessi alle Regioni. In Toscana la legge per questo settore è la n. 25 del 18/05/98 "Norme per la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati", oltre ai Piani provinciali per la gestione rifiuti (sono stati varati i piani nelle Province di Firenze, Prato, Grosseto e sono in corso predisposizioni più o meno avanzate nelle altre Province).

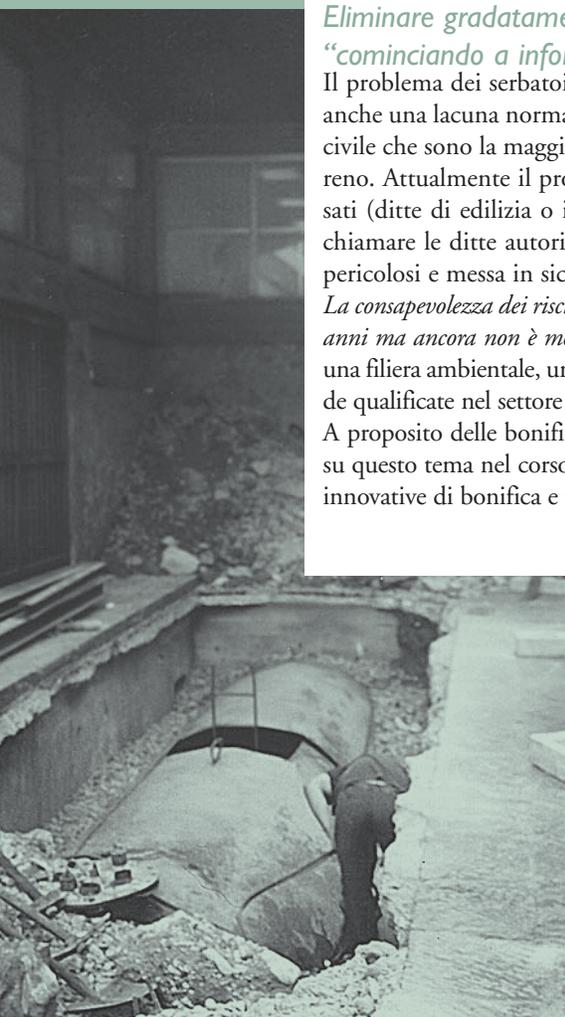
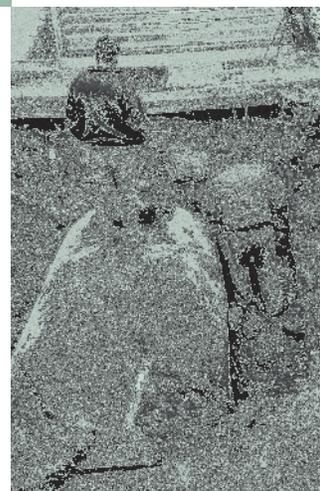
Eliminare gradatamente i fattori di rischio per l'ambiente è possibile, "cominciando a informare di più e meglio"

Il problema dei serbatoi interrati non è emerso quindi nella sua giusta dimensione ed esiste anche una lacuna normativa, in quanto le norme in vigore non si riferiscono ai serbatoi a uso civile che sono la maggioranza e rappresentano un rischio concreto di inquinamento del terreno. Attualmente il problema dei serbatoi in disuso è rimesso alla correttezza degli interessati (ditte di edilizia o installatori di impianti di riscaldamento in primis), che dovrebbero chiamare le ditte autorizzate per le necessarie operazioni di dismissione, trattamento rifiuti pericolosi e messa in sicurezza con le segnalazioni del caso.

La consapevolezza dei rischi che possiamo causare all'ambiente per questa via è andata crescendo negli anni ma ancora non è molto diffusa. Beta Ecoservice sta promuovendo, oltre alla formazione di una filiera ambientale, un'azione di informazione sul tema cercando di formare una rete di aziende qualificate nel settore e portare i serbatoi interrati un po' più "alla luce" per ridurre i rischi. A proposito delle bonifiche, annunciamo che abbiamo in programma di offrire un seminario su questo tema nel corso del 2007, probabilmente a Vinci, per fare il punto sulle tecniche più innovative di bonifica e risanamento con le aziende più qualificate in Toscana.

D. M.

Per ulteriori informazioni www.betaecoservice.it



**Ing. Fausto
Giovannardi**
Consigliere INARSIND

al principio dell'architettura moderna, l'acciaio dette ai costruttori l'impulso per creare nuovi modelli. La successiva innovazione di avvolgerlo con il calcestruzzo ha portato al materializzarsi delle forme più estreme: l'audacia si è accompagnata alla fantasia e le forme e i materiali sono stati adattati a tutti gli sforzi. Uno dei protagonisti principali di questa evoluzione è stato, intorno alla metà del secolo scorso, Félix Candela, che è ricordato per le sue straordinarie coperture a guscio di cemento armato, dalla forma di paraboloidi iperbolici.

Tuttavia molti architetti sostengono che Félix Candela è stato un magnifico strutturista, ma che non completò mai i suoi lavori. Non ci mise porte e finestre, né terminò le varie installazioni, e non si preoccupò dell'utilizzo. In una parola, preparava la struttura e poi non si occupava più di cosa succedeva dopo. Perciò, affermano che egli non ha titolo per figurare fra gli architetti.

Alcuni ingegneri – per contro – sostengono che Félix Candela è stato un magnifico architetto che non sapeva come calcolare le sue strutture, operazione che spesso effettuava a occhio. Pertanto modesta è la sua importanza nella storia dell'ingegneria. Félix Candela sta, quindi, in una terra di nessuno e per questo è attaccato dai due fronti, apparentemente inconciliabili.

Analizzando la sua opera si vede che egli si occupò prevalentemente di strutture, ma solo di quelle che sono indispensabili per l'architettura, non di ponti, depositi, opere di presa e altre costruzioni proprie dell'ingegneria. In particolare, la specificità del suo lavoro risiede nella sensibilità che ebbe nel conformare le forme resistenti.

Il suo più grande contributo nell'ambito dell'ingegneria strutturale sono state le strutture in forma di guscio, generate a partire dal paraboloide iperbolico, una forma geometrica di straordinaria efficacia che è divenuta il segno distintivo della sua architettura.

Candela ha espresso nel suo lavoro alcune idee guida: l'idea che anche lo strutturista deve essere un poeta, la convinzione che la struttura dipende dalla forma molto più che dal materiale impiegato, e la linea di ricerca sulle coperture leggere di cemento armato.



Félix Candela: lo strutturista poeta che conformava le forme esistenti



La mia maggiore soddisfazione non è stata quella d'aver eseguito certe strutture spettacolari [...] ma quella di aver dimostrato che la costruzione di gusci sottili non costituisce un'impresa straordinaria che immortala il suo autore ma un procedimento costruttivo semplice e flessibile.

F. Candela, *Arquitectura y estructuralismo*



Tutto il lavoro di Félix Candela riafferma il ruolo del progettista in relazione ai problemi strutturali, per la ricerca della forma della resistenza: nello straordinario rapporto tra forze e resistenze, egli cercò sempre la forma del problema e non il problema della forma. Ecco la ragione per cui egli fu un architetto strutturalista o, se più piace, un strutturalista architettonico. Laureatosi nel 1935, Félix Candela aprì subito un piccolo studio con Eduardo Robles e Ramirez Dampierre, e approfondì lo studio della progettazione di strutture d'acciaio e di calcestruzzo armato. Le strutture a guscio che si costruirono in Europa negli anni venti (Dischinger in Germania, Freyssinet in Francia, Nervi in Italia ed Eduardo Torroja in Spagna, ecc.) richiamano fortemente l'attenzione del giovane Candela e certamente segnano l'inizio di quella curiosità ed eccellenza tecnica, che lo porteranno a quelle coperture leggere in calcestruzzo armato con forma d'ombrelli spigolosi o di sinuosi manti che costruì negli anni cinquanta e sessanta rendendolo il simbolo dell'architettura messicana del XX secolo. Come dirà Frei Otto, «solo Candela riuscì a convertire le strutture laminari in un'opera d'arte».

Il suo maggiore apporto in campo strutturale sono state le strutture laminari in calcestruzzo, generate a partire da paraboloidi iperbolici (*hypar*), una forma geometrica di straordinaria efficacia, che nella versione a bordo libero è diventata il segno distintivo della sua architettura.

Il primo guscio (*cascarones*)¹ che ha costruito Candela è stato una volta funicolare sperimentale, nell'estate del 1949. Per la sua costruzione seguì l'esempio di alcuni prototipi eretti in Inghilterra durante la seconda guerra mondiale. Sembra che l'inventore della volta fosse Kurt Billington e il sistema usato fosse chiamato "Ctesiphon", dal nome di un vecchio palazzo porticato in Siria. Il successo che ottenne con questo esperimento incitò Candela a conside-

rare la possibilità di dedicarsi alla costruzione di gusci. Era indispensabile proporre qualche cosa di diverso per poter sopravvivere nel campo altamente competitivo delle costruzioni in Messico.

Una copertura per pullman fu la seconda avventura di Candela con gli *hypars*. La forma è molto simile alla volta del Pabellón de Rayos Cósmicos, però qui vennero omissi gli archi irrigidenti. Uno dei bordi appoggia sul suolo roccioso e l'altro è sostenuto da un muro di calcestruzzo, ai lati del quale il guscio si stacca sostenuto da un piccolo sostegno a "V".

L'impegno con cui Candela aveva studiato la resistenza dei materiali gli permise di comprendere quanto illusorie sono le cosiddette analisi esatte: «Quando io cominciai a costruire gusci, la mia mente stava evolvendo dal periodo scolastico. Come studenti noi crediamo a tutto quello che ci viene insegnato, come ad esempio, che ci sono dei metodi esatti per calcolare le strutture. Lavorando io ho cominciato a smettere di credere in tutte le cose in cui avevo creduto. Ma questo è un processo necessario, se uno vuole costruire qualche cosa di originale». Il Pabellón de Rayos Cósmicos, progettato con Jorge Gonzales Reyna per la città universitaria di Città del Messico, con la sua copertura ondulata in calcestruzzo dello spessore di soli 15 mm che permette dall'interno la misurazione dei neutroni, è uno degli edifici più emblematici della sua opera. Con la sua forma caratteristica, quasi di una nave spaziale che sta per atterrare, è stata la sua prima struttura acclamata da tutti e quella che gli procurò la fama.

Dal 1951 al 1953, il suo lavoro fu di una varietà impressionante. Questi due anni gli furono indispensabili per capire, quasi intuitivamente, come funzionano i gusci. Si concentrò sulle forme più semplici, guidato dai due principi che sono fondamentali in queste strutture: la statica e la geometria. Costruì volte corte, lastre prismatiche e ondulate, coni, conoidi, cupole; pressoché l'intera serie delle forme conosciute. Nella Residenza Romero, Candela ebbe l'opportunità di fare un copertura a lastra sinusoidale². L'ispirazione gli venne da una fotografia dell'aeroporto di Copenaghen, progettato da Vilhelm Lauritzen. La struttura era così ovvia che Candela fu «tentato a fare qualche cosa di simile».

Candela costruì ancora due di queste strutture. Forme di acciaio prefabbricato furono usate per la Escuela Montes Alpes e per un Seminario. La prima è una struttura di due

¹ Letteralmente: "guscio d'uovo".

² Le coperture prismatiche o piegate, che i tedeschi chiamano *Faltwerke* e i francesi *toits plissés*, seguono il principio di resistenza per mezzo della corrugazione.





piani, con luce di 8 m e con sbalzi di 2,5 m da ambo i lati. Il secondo ha quattro piani, che nelle intenzioni originali dovevano essere sei. Probabilmente questa è stata la prima volta che furono usati gusci come interpiani. Ma non risultarono una buona soluzione e Candela giunse a considerarlo come un «percorso di ricerca senza speranze».

Del 1952 è la collaborazione con Guillermo Rosel ed Enrique Yanez per la copertura dell'Auditorium della facoltà di Scienze chimiche dell'Università di Città del Messico, che è formata da due coni troncati, uniti lungo un bordo comune. Le luci dei coni aumentano da 9 a 18 m. I supporti inclinati furono una caratteristica aggiunta rispetto al progetto originale per migliorarne l'aspetto. Candela così commenta: «Pensai di evitare i problemi del calcolo considerando i coni come cilindri e dandogli forma di catenaria».

Questa è l'unica costruzione in cui Candela ha lavorato con i coni, ed è anche uno dei pochi casi in cui ha operato solamente come consulente e non anche come appaltatore.

Nel 1953, costruì una cupola ellittica per coprire con un tetto il soggiorno del salone da ballo del Centro Gallego. La cupola è relativamente ribassata e poggia sui muri esistenti; ma dato che la pianta della cupola non corrisponde ai muri, il suo peso è trasferito a questi per mezzo di un sistema complicato di raggi perimetrali. La sua resistenza fu messa alla prova quando i proprietari, mostrando una fiducia che, come dice Candela, «io non condivisi completamente», vi fecero appendere al centro un antico lampadario del peso di oltre una tonnellata. Questo carico concentrato ed enorme, così tanto allegramente imposto alla cupola, è stato sopportato fino a oggi, senza segni di deformazione.

La più semplice struttura creata con gli *hypar* fu l'ombrello rovescio (*paraguas invertido*) la cui pianta rettangolare unisce quattro vele, divise da linee rette e che si congiungono al centro in una sola colonna centrale in cui si trova il tubo di scarico pluviale. Per tutto questo, costituiva una forma molto semplice ed economica per

coprire gli spazi industriali, le stazioni di benzina e gli altri luoghi dove si muovono i veicoli. Gli ombrelli cominciarono a essere usati anche per attraenti pensiline d'ingresso di laboratori, capannoni e in altri tipi di edifici.

Nell'archivio di Candela vi è una serie di appunti che ne descrivono i vari tipi e le possibili dimensioni. Uno mostra addirittura un esemplare di ombrello piano, progettato per resistere a carichi pesanti, dedicato a parcheggi di molti piani o negozi all'ingrosso.

Che questa potesse essere una soluzione pratica per edilizia di basso costo fu dimostrato da più di cento unità erette nella pianura di Monterrey. L'ombrello rovescio produsse un tetto più attraente della lastra piana tradizionale, usata abitualmente in Messico per tali lavori. La struttura, usata in forma ripetuta, risultava economica perché tutti i carichi del tetto si concentravano su un solo punto, con i risparmi conseguenti nelle fondazioni dei muri che non risultano sollecitati. Candela costruì, per un albergo di Cuernavaca, trenta bungalow con tetti simili che hanno una pianta di 14x7 m. I loro abitanti le chiamavano «le case giapponesi».

Presto questa soluzione si articolò in una grande quantità di varianti, come le forme con pianta esagonale o triangolare. L'utilizzo di una costola diagonale e curva permise di aumentare le dimensioni coperte. Avanzando in questa specie di evoluzione dell'*hypar*, molto presto furono scoperte le parabole principali e i tagli orizzontali che sono iperboli dalle quali prende il nome pomposo questa superficie quasi magica. Unendoli per i loro bordi curvi, si forma una volta simile all'intersecazione delle due navate cilindriche delle crociere delle antiche chiese, costruite con volte di muratura di mattoni o pietra. La differenza ora è che, invece di un'intersecazione di cilindri, si ha un'intersecazione di iperboloidi, e invece della muratura, il calcestruzzo armato: due importanti caratteristiche della modernità.

Successivamente, molti lavori furono eseguiti con la base di un solo paraboloido con i bordi limitati da archi e molte altre combinazioni furono cercate a partire dal bordo retto combinato con quello curvo. Grazie a questa ultima combinazione, risultò molto spettacolare la chiesa di Santa Mónica, concepita da Fernando López Carmona ed eseguita dall'impresa Cubiertas Ala. Nella sua pianta con forma di ventilatore, dieci rami di paraboloido con una luce di 30 m si uniscono al centro in una sola

le strutture a forma di guscio, generate a partire dal paraboloido iperbolico, sono divenute il segno distintivo della sua architettura

robusta colonna, che dà l'impressione di essere una grande palma.

Poi gli ombrelli diventarono asimmetrici e con curvature diverse per permettere il passaggio della luce, e grazie a questo divennero adatti per costruire chiese e altri edifici con maggiori esigenze estetiche. Così si arrivò a concepire la chiesa della Virgen de la Medalla Milagrosa.

Questa chiesa, costruita a partire dal 1953, è un edificio straordinario. La poderosa struttura è una intrepida combinazione di superfici deformate, che creano uno spazio interno impressionante. Nella sua forma apparentemente caotica, si intravede il gioco delle forme naturalistiche di Gaudí e degli esperimenti cubisti di Picasso.

Basata sullo schema di una pianta tradizionale a tre navate, la copertura a guscio di 4 cm di spessore costante, raggiunge in questa opera la sua massima espressione plastica. Candela realizza una struttura spettacolare e innovativa, che ricorda le cattedrali gotiche, esprimendo per mezzo della struttura un sentimento di ascensione. La facciata principale è un grande triangolo, mentre la facciata laterale ha la forma zigzagante generata dagli estremi triangolari della quattro cappelle laterali. In realtà la struttura di questa chiesa è il risultato di una successione di *paraguas*, con cui Candela ha giocato, modificandone la forma e rompendo la simmetria. Le colonne prendono una forma deformata, disegnata intuitivamente secondo i carichi che devono portare; i capitelli non esistono e praticamente non esiste il passaggio tra appoggio e copertura, che si risolve in un unico elemento. Anche l'alto campanile è fatto con *hypars*. I committenti della chiesa desideravano un disegno tradizionale (sullo stile gotico) e non sospettarono che potessero ottenere qualche cosa di più. È come se Candela volesse vedere fino a dove si può arrivare con questo tipo di strutture.



Sotto questo aspetto la chiesa è un gotico triangolare, con tutta la sua enfasi verticale. Data l'idea di base degli ombrelli e lo zigzag dei loro bordi attraverso lo spazio, dice Candela: «Tutto in lei si disegna più o meno da se stesso». Il progetto preliminare fu fatto in un pomeriggio, disegnato in una settimana e calcolato durante la costruzione. I calcoli (necessariamente estesi, perché tutte le superfici hanno configurazione diversa) rivelarono una spinta inaspettata diretta verso i bordi superiori del tetto. I commenti su questo metodo di progetto hanno portato Candela a scrivere: «Le imponenti volte di pietra delle cattedrali gotiche e le cupole audaci del Rinascimento furono costruite senza aiuto del calcolo differenziale; ma invece di esso, fecero uso di un grande senso dell'equilibrio e del giudizio assennato del gioco delle forze, qualità molto necessarie, per un costruttore, molto più della conoscenza profonda delle scoperte della matematica».

In una intervista, in occasione di un premio, Candela ebbe a dire che questa era l'opera che gli aveva dato più soddisfazione, e alla domanda se al pubblico era piaciuta, rispose: «Alle donne soprattutto [...] agli architetti piace meno»³.

Nel 1955, Candela costruì con Enrique de la Mora e Fernando López Carmona una serie di strutture. La Capilla del Altílo ebbe una concezione completamente differente rispetto a quella della chiesa de la Medalla Milagrosa. Altra opera nata da questa collaborazione fu la Nuova Borsa dei Valori di calle de Uruguay a Città del Messico, in cui fu costruita una copertura di 15x26 m e un'altezza di 8,25 m nel centro, sostenuta nei quattro angoli, che fu il primo esempio di una realizzazione con il bordo libero.

Questa è una caratteristica particolare che da allora ha qualificato l'opera di Candela: lo sviluppo del bordo libero. Candela dice di esserci arrivato quasi per intuito: «Io sapevo che il bordo libero era un'idea pratica, molto prima che intellettualmente si comprendesse come funzionava», e inoltre descrive come si ottiene la necessaria resistenza: «Se desideriamo tenere i bordi liberi dobbiamo prevedere alcuni bordi o spigoli interni, che giungano al suolo per linee inclinate...»⁴.

A partire da questo tipo di volta di quattro rami, ne fu provata la variante a tre, cinque, sei e più rami, fino a trasformarsi in volte a pianta poligonale con la stessa soluzione di mantelli di iperboloidi. Con questo tipo furono realizzati



³ R. Dampierre, in *Arquitectura*, n. 30, giugno 1961, Madrid.

⁴ F. Candela, in *Arquitectura/Mexico*, a. XXX, t. XXIII, n. 100, aprile/giugno 1968.

molti lavori, i più straordinari dei quali sono la sala da pranzo dell'Hotel Casino de la Selva a Cuernavaca (di cinque rami) e il ristorante Los Manantiales (di otto rami) a Xochimilco, costruito tra il 1957 e il 1958 su progetto dell'architetto Joaquín Álvarez Ordóñez, dove le volte poligonali giunsero a 25 e 30 m di diametro.

Un'altra opera si caratterizza, nella sua grande produzione, per la qualità e la proposta innovativa: l'edificio dell'imbottigliamento della fabbrica Bacardi (1958). Per l'edificio della Bacardi, Candela si ispirò alla forma dell'aeroporto di San Luis Missouri di Minoru Yamasaki. Sei grandi cupole di 30 m di luce e 4 cm di spessore, disposte a coppia a formare tre file, coprono uno spazio di più che 5000 mq. Ogni cupola è a pianta quadrata e composta dall'incrocio di due *hypars*, con i quattro lati delimitati da archi di parabola con profilo inclinato a "bordo libero", da cui derivano, nelle parti di accostamento, tratti triangolari verticali, chiusi a vetro, che permettono il passaggio della luce. Gli archi perimetrali esterni sono chiusi da grandi vetrate che conferiscono al dinamico spazio interno, insieme alle costole triangolari pure vetrate, una luminosità sorprendente.

L'edificio di Candela si trova poco distante dall'unico progetto che Mies van der Rohe ha realizzato in Messico: la sede della Bacardi y Cia. Schietto come al solito, Candela ne criticò la grande copertura piana considerando contro natura il far lavorare il cemento armato in quella forma poco logica; per estendere poi il dissenso a tutta l'architettura razionalista.

Nel 1961, mentre era a Londra, al VI Congresso internazionale degli architetti, Félix Candela rimase impressionato dal progetto di concorso "Teatro ambulante", presentato dal giovane studente spagnolo Emilio Perez Piñero (1935-1972) e risultato vincitore. Iniziarono un'appassionata amicizia e una collaborazione che si concretizzò nel progetto di concorso per la copertura del Velodromo di Anoeta a San Sebastian (ES). Per questo lavoro Félix Candela rientrò in Spagna nel 1972. Il progetto prevedeva una grande cupola geodetica, ottenuta



dall'intersezione di tre famiglie di archi, che formano reticoli regolari di triangoli ed esagoni e nelle cui maglie sono inseriti elementi di copertura di *hypar*.

Emilio Perez Piñero, giovane genio delle strutture, terminò la sua straordinaria avventura terrena in un incidente con la sua Ferrari, a Dalí, mentre visitava alcuni cantieri.

Uno degli ultimi lavori (1967) che ha progettato Candela è stata la copertura dell'atrio della stazione del Metrò Candelaria, dove usa lo stesso tipo di ombrello di 6x14 m, ripetuto per 22 volte, raggruppato in 11 coppie simmetriche che lasciano una navata centrale con l'illuminazione zenitale centrale. In questi ombrelli si forma una specie di foglia di palma con dodici manti. L'effetto che risulta è sorprendente, con le colonne (di 4 m di altezza) che sembrano il tronco di quella specie di palma naturale.

Il progetto e la costruzione del Palazzo dello Sport per i giochi olimpici del 1968 in Messico, realizzato in collaborazione con Enrique Castañeda Tamborell e Antoni Peyri, rappresenta una particolarità nell'opera di Candela. Trattasi di un impressionante edificio a pianta circolare, al cui interno trova spazio una pista del diametro di 80 m. Per la sua realizzazione fu costretto a rinunciare all'uso di gusci di calcestruzzo, con cui poteva coprire fino a 30 m, e a usare una struttura di acciaio. Candela optò per una soluzione semplice: archi circolari di 140 m di luce posti a graticcio, con una corda di 5 m, che formano una griglia di 14 m. Il progetto è risultato una delle strutture sportive olimpiche più convenienti al mondo.



Cubiertas Ala

Con la ditta Cubiertas Ala di Félix Candela furono fatti 1439 progetti, di cui 896 costruiti. Una grande quantità di queste costruzioni fu di tipo industriale e con le forme molto note degli ombrelli, che ancora si possono vedere in tante stazioni di benzina e di servizio del Distretto federale (Città del Messico). È necessario ricordare che questo tipo di struttura, che possiede una sola colonna centrale dove alloggia il tubo pluviale e con un solo plinto di fondazione, è uno dei contributi più celebri di Candela per la sua leggerezza, semplicità ed economia, con cui sono stati eseguiti molti lavori, in cui l'uso ripetitivo ha permesso di coprire migliaia di metri quadrati e realizzare edifici industriali senza il bisogno di un vero e proprio progetto, ma attraverso una semplice procedura che ha finito per essere standardizzata.

Le coperture a forma di paraboloidi iperbolici, che hanno segnato un'epoca dell'architettura messicana, poterono essere costruite solo in quel luogo e in quel momento preciso, grazie alla capacità costruttiva e alla visione spaziale di Félix Candela e dei pochi altri architetti che dominarono il complesso sistema costruttivo necessario per svilupparle, e alla disponibilità di ottima mano d'opera a buon mercato. Opere impossibili da realizzare in altri paesi, perché le sottili lamine di calcestruzzo che conformano questi gusci non rispettano le norme dei regolamenti per le costruzioni nei paesi più sviluppati. Al riguardo Candela scrive: «La regolamentazione rigorosa di quello che si può fare, significa la quasi impossibilità di tentare strade nuove, di evolvere e progredire»¹.

La chiave del processo costruttivo dei gusci era nella complicata elaborazione delle cassaforme (cimbra), fatte con tavole di panconcello di legno, che si conformavano alla superficie voltata che dava la forma alla copertura. Sopra la cassaforma si collocava l'armatura di piccolo diametro, a formare un reticolo sopra al quale si gettava il cemento, per uno spessore di 4 cm. Appena questo aveva fatto presa si staccava la cassaforma e il guscio assumeva la sua forma definitiva. Per fare questo era necessaria la partecipazione di molte persone, reclutate tra il flusso migratorio che dalla campagna giungeva alla città, e che apportava buona mano d'opera a basso costo. Quando nel 1964 il presidente Gustavo Diaz Ordaz promulgò una legge che aumentava il salario minimo, *los cascarones* cessarono di essere convenienti e l'impresa Cubiertas Ala iniziò il suo inesorabile declino.

F. G.

Alcune delle principali opere e progetti di Félix Candela:

- 1940 - Hotel e appartamenti ad Acapulco, in collaborazione con Bringas
- 1950-51 - *Peabellón de los Rayos Cósmicos*, Città del Messico
- 1953-57 - *Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa*, Navarte
- 1954-55 - *Fábrica Celestino Fernández*, Colonia Vallejo
- 1954-55 - *Bolsa de Valores*, Città del Messico
- 1955 - *Capilla de Nuestra Señora de la Soledad*, Coyoacán
- 1955-56 - *Quiosco de Música*, Santa Fe
- 1956 - *Capilla de San Antonio de las Huertas*, Macuba
- 1956-57 - *Club notturno La Jacaranda*, Acapulco
- 1956-57 - *Restaurante Los Manantiales*, Xochimilco
- 1957-58 - *Capilla abierta en Lomas de Cuernavaca*, Palmira
- 1958-59 - *Basílica de Guadalupe*, Città del Messico
- 1958-59 - *Iglesia de San José Obrero*, Monterrey
- 1959 - *Capilla de San Vicente Paul*, Coyoacán
- 1959-60 - *Capilla de Santa Mónica*, San Lorenzo di Xochimancas
- 1959-60 - *Planta embotelladora ditta Bacardí*, Cuautitlán
- 1962-63 - *Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe*, Madrid, Spagna
- 1965-68 - *Palacio de Deportes per la XIX Olimpiade*, Città del Messico
- 1966 - *Parroquia del Señor del Campo Florido*, Città del Messico
- 1994-2002 - *L'Oceanogràfic*, Ciudad de las Artes y las Ciencias, Valencia, Spagna

¹ F. Candela, in *Arquitectura/Mexico*, a. XXX, t. XXIII, n. 100, aprile/giugno 1968.



Prof. Gian Luigi Corinto

Docente di Economia ed Estimo rurale
Università degli Studi di Macerata

Macchiaioli

quei giovani che
al Caffè Michelangelo
cambiarono la pittura

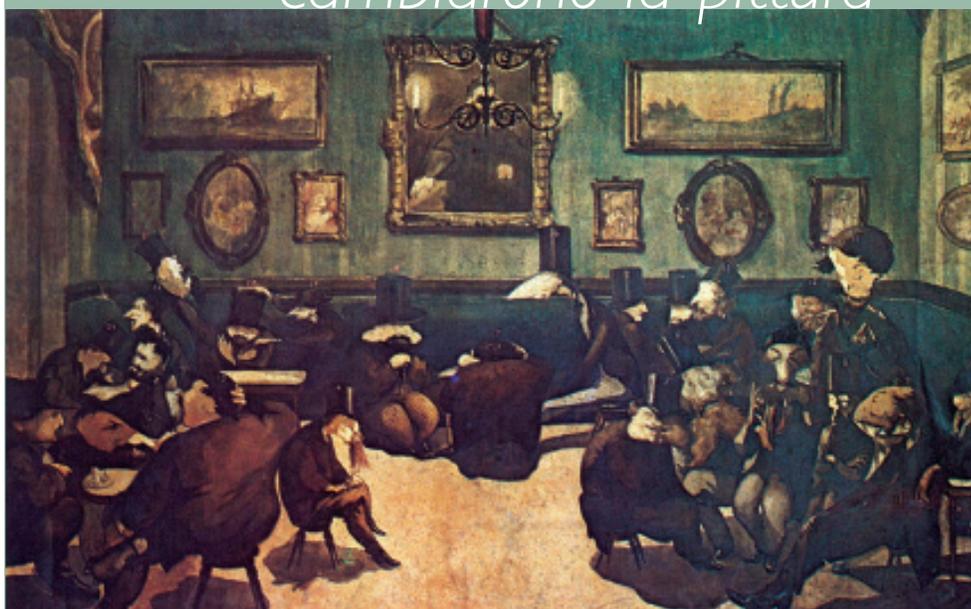


Fig. 1 - Adriano Cecioni,
Il Caffè Michelangelo (1866)

firenze fu capitale del Regno d'Italia dal 1865 al 1871, cinque anni intensi per la città che acquistò prestigio politico, pagato però a caro prezzo a livello architettonico e urbanistico. Georges Eugène Haussmann infilò Parigi con grandi viali, da artista demolitore come amava definirsi, per creare prospettive lunghe, senza dire che la misura dei viali era la gittata di un cannone che avrebbe controllato la folla insorgente.

A imitazione di quelli parigini, Firenze si fece i propri vialetti alberati, spianando le antiche mura per avere ampi spazi di comunicazione, oggi resi stradine ingorgate dall'eccesso di traffico. Solo le antiche porte furono risparmiate, con alcuni tratti di mura relitti nella zona collinare di Costa San Giorgio e quelli che delimitano il giardino Torrigiani nel viale Petrarca, il resto è trasporto su gomma.

Prima e durante il tempo di demolitoria ricostruzione, nella città di Firenze a partire dalla fine degli anni quaranta (il 1848 è l'anno della prima guerra di indipendenza) e fino al 1870, anno del ricongiungimento di Roma all'Italia, si visse un'epoca culturale ricca di speranze, di fermenti, di voglia di nuovo (da mettere al posto del vecchio, come si fa sempre in questi casi), di necessità di rompere gli equilibri autoritari tradizionali (come si dichiara sempre sentendosi avanguardia).



Fig. 2 - Telemaco Signorini, *Pescivendole a Lerici* (1860)

Eppure questa volta era vero, l'ansia del cambiamento dava frutti ricchi di semi. I protagonisti del nuovo movimento culturale furono i giovani pittori organizzati in gruppo, Giovanni Fattori, Silvestro Lega, Telemaco Signorini, Adriano Cecioni, Odoardo Borrani, Giovanni Boldini, Giuseppe Abbati e Raffaello Sernesi, Serafino De Tivoli, Vincenzo Cabianca, Cristiano Banti, Nino Costa, Vito d'Ancona, che precedettero con le loro macchie di colore perfino l'affermarsi dell'impressionismo francese.

Il termine Macchiaioli venne usato per la prima volta sulla *Gazzetta del popolo* nel 1862, ma come spesso accade ai giovani che innovano, non furono compresi e il termine era spregiativo, come accadde negli anni a seguire anche agli impressionisti. Le "macchie", come le "impressioni", nel secolo scorso sono state riabilite e i Macchiaioli sono diventati i pittori italiani più amati da collezionisti e pubblico.

I giovani Macchiaioli si ritrovano al Caffè Michelangelo di via Larga e – discussione dopo discussione – cambiarono in pochi anni il modo stesso di percepire le immagini. Oltre al caffè di via Cavour amavano la solitudine della Maremma toscana, della campagna di Livorno e di altri luoghi agresti toscani. Dipingere gli angoli allora poco noti della campagna toscana, gli interni domestici, i ritratti delle persone quotidianamente frequentate, ma anche rievocare le battaglie combattute per creare la nazione, era il modo di rendere testimonianza di una sensibilità artistica che non si riconosceva nello stile ufficiale, romantico e purista delle Accademie.



Fig. 3 - Vincenzo Cabianca, *Casa a Lerici* (1960)

il termine Macchiaioli venne usato per la prima volta sulla «Gazzetta del popolo» nel 1862, ma come termine spregiativo



Fig. 4 - Silvestro Lega, *Il canto dello stornello* (1867)

Nello stendere i colori abbandonarono il chiaroscuro, la divisione delle forme e le tecniche prospettive tradizionali. Gli effetti di resa dell'atmosfera del quadro erano ottenuti attraverso la composizione a macchie di colore che creano contrasti di luce e d'ombra. Le forme non esistono ma sono create dalla luce che si scompone in colori distinti, l'occhio non vede forme isolate dal contesto ma vede tutto il mondo come un insieme di macchie di colore separate o sovrapposte ad altre macchie. La luce colpisce gli oggetti ma viene percepita dal nostro occhio come colori. Il colore, e non la forma quindi, è per l'individuo che osserva il modo per entrare a contatto con la realtà, che per essere resa sulla tela come *vera* deve essere riprodotta dal pittore come una composizione a macchie.

Firenze si trovò capitale politica e all'avanguardia culturale europea, perché da questa nuova teoria formale prese le mosse il movimento degli impressionisti francesi, nato più tardi e "avviato" dalle frequenti visite a Parigi degli artisti fiorentini.

Adriano Cecioni, che oltre a dipingere era critico e teorico, scrisse chiaramente quale era la poetica del gruppo: «rendere le impressioni che ricevevano dal vero col mezzo di macchie di colori di chiari e di scuri». Intorno a questa idea si formò una vera e propria scuola, per la comunanza di obiettivi del gruppo, fatto da pittori che provenivano da diverse regioni e tradizioni ma che proprio per l'adesione al movimento ottennero straordinari risultati artistici. Una raccolta fondamentale delle opere di Giovanni Fattori, Silvestro Lega e Telemaco Signorini si trova alla Galleria d'Arte moderna ospitata nei locali di Palazzo Pitti.

Fig. 5 - Giovanni Fattori,
*La signora Martelli a
Castiglioncello* (1867)





Shell Service Station, 1937
(Carlo Marchi e Carlo Montalbetti)

la sconosciuta capitale africana della modernità*

Helen Barr

Storica dell'arte a Francoforte

C alla unificazione di quattro villaggi, già nemici tra di loro, è nata, secondo una leggenda vecchia di parecchi secoli, la città di Asmara il cui nome significa infatti “la riunita”.

A conformarsi in grande città moderna, all'Asmara sono bastati invece pochi decenni. Lo sviluppo dell'Asmara prese inizio nel 1899, con l'occupazione del paese da parte dei colonizzatori italiani. Nel 1900, l'Asmara divenne capitale della colonia italiana Eritrea. Dopo la sua ascesa al potere nel 1922, Mussolini rivolse il suo sguardo bramoso sui paesi dell'Africa orientale.

Per la realizzazione della sua visione di un impero italico che ricordasse l'antico impero romano, l'Eritrea e in particolare la città dell'Asmara dovevano servire come punto di partenza per la prevista invasione dell'Abissinia.

Per manifestare le sue pretese in modo ben chiaro e visibile, Mussolini inviò all'Asmara un buon numero di giovani ingegneri, architetti e urbanisti italiani e fece in modo che essi potessero costruirvi edifici amministrativi, scuole, fabbriche, cinema, distributori di benzina, ville ed edifici residenziali.

La città e il paese si svilupparono e crebbero in modo esplosivo. La popolazione europea dell'Asmara crebbe tra il 1934 e il 1940 da 4000 a 70.000 unità; nello stesso periodo, la popolazione eritrea raddoppiò, fino a contare quasi 200.000 abitanti.

Il centro dell'Asmara venne ampliato con numerosi edifici moderni, che rispecchiavano nelle loro forme le diverse correnti dell'architettura italiana.

A partire dall'inizio del secolo, all'Asmara furono costruiti edifici in stile neoclassico e barocco; negli anni trenta arrivarono le costruzioni nello stile dell'Art déco, del Novecento, della scuola romana, del razionalismo e del futurismo.

*Titolo originale *Asmara. Afrikas heimliche Hauptstadt der Moderne* (traduzione dal tedesco di G. di Cocco).



Cinema Impero, 1937
(Mario Messina)

Così, l'Asmara custodisce ancora oggi uno dei più grandi organismi edilizi, costituito dai diversi stili della moderna architettura europea.

Dalla fine dell'impero coloniale italiano fino al 2001, le condizioni politiche del paese sono state caratterizzate da una dominazione straniera che ha reso impossibili grossi investimenti nell'edilizia e nelle infrastrutture pubbliche. Ed è proprio grazie a ciò che la struttura urbana e architettonica dell'Asmara si sono mantenute così come erano state costruite negli anni quaranta.

Il governo eritreo ha posto nel 2001 l'intero centro dell'Asmara sotto vincolo architettonico e si è impegnato per farlo accettare dall'UNESCO come patrimonio dell'umanità.

Ma, nonostante gli sforzi, questo multiforme complesso architettonico (su di una superficie di soli 4 km² si trovano all'Asmara più di 400 edifici storici significativi) è rimasto pressoché sconosciuto e finora ha ricevuto ben poca attenzione dagli ambienti internazionali.

Una mostra dal titolo "Asmara. La sconosciuta capitale africana della modernità" è transitata dalla fine dello scorso anno per diverse città tedesche, documentando una eredità architettonica che è urgente salvare prima che venga definitivamente distrutta.

Come luoghi per l'esposizione sono state scelte le città di Berlino, Francoforte e Stoccarda, dato che in queste tre città vive la maggior parte dei circa 25.000 eritrei emigrati in Germania.

Si prevede che nel 2008 la mostra sarà alle-

stita a Torino in occasione del congresso mondiale della UIA (Union International des Architects) prima di trovare la sua collocazione definitiva all'Asmara.

Nella capitale eritrea, non sono solo i singoli edifici a costituire una originale e sorprendente eredità della storia coloniale italiana; anche la forma e la struttura urbanistica dell'Asmara sono una realtà che vale la pena di riscoprire e conoscere.

I piani urbanistici predisposti nel 1937-38 da Vittorio Cafiero e Guido Ferraza per la formazione della giovane metropoli erano orientati a seguire i principi di una moderna organizzazione urbana, così come questi erano stati formulati nella Carta d'Atene.

Ma contemporaneamente essi trasportarono nell'architettura le leggi razziali promulgate da Mussolini nel 1937: nel centro urbano era previsto una sorta di "campo cintato" riservato ai colonizzatori italiani e l'accesso al quale era vietato per la popolazione eritrea.

L'Asmara era così divisa in una "zona nazionale" e in una "zona indigena", e questa separazione influenza ancora oggi la suddivisione dei diversi gruppi di popolazione in città.

Tuttavia, questa città che proviene da una eredità coloniale viene oggi accettata dalla popolazione e, con una consapevole soddisfazione, gli abitanti di oggi constatano di poter vivere in quegli edifici che ai loro genitori non erano accessibili.

Il dottor Naigzy Gebremedhin, uno dei curatori della mostra, già direttore del Centro per la conservazione dell'eredità culturale eritrea (CARP), è impegnato assieme con altri esperti per avviare un restauro professionale degli edifici coloniali. Secondo lui, la difficoltà maggiore, dopo i finanzia-



Palazzo Mutton, 1944 (Antonio Vitaliti)

Cinema Odeon, 1937
(Giuseppe Zacche e
Giuseppe Borziani)



Selam Hotel, 1937
(Rinaldo Bornigno)



Fiat Tagliero Service Station, 1938
(Giuseppe Pettazzi)

menti troppo esigui, è costituita dalle insufficienti cognizioni tecniche e artigianali da parte della mano d'opera eritrea, così come dalla mancanza di materiali adatti.

In tutto ciò c'è anche un paradosso: nella madrepatria, le architetture fasciste che solo oggi si cominciano a reinterpretare e a definire razionaliste, eclettiche o altro ancora, sono state lasciate a se stesse, a volte demolite e cancellate, e a tutt'oggi non esiste in Italia in merito a questi edifici una coscienza architettonica precisa che valga a capire quale atteggiamento edilizio adottare. Viceversa, nella ex colonia Eritrea si parla a proposito degli edifici coevi di restauro conservativo e recupero funzionale.

In Italia, la confusione tra morale politica e valore architettonico ha portato alla rimozione, sia fisica che culturale, di questi edifici; in Eritrea, assistiamo invece alla valorizzazione culturale e funzionale di questi edifici. E questo atteggiamento ci pare ben giustificato, dato il valore estetico ed emotivo che essi rappresentano.

Valga per tutti l'esempio del distributore di benzina, illustrato nelle immagini (Fiat Tagliero Service station del Pettazzi, 1937), dove le grandi pensiline con un aggetto di ben 15 m echeggiano le ali d'aereo e gli idrovolanti Savoia-Marchetti delle trasvolate atlantiche, mentre le finestre rotonde ricordano gli oblò dei grandi transatlantici, ottenendo al piccolo edificio un effetto di leggerezza e felicità, come si trattasse di un grande giocattolo cui ci si accosta volentieri.

In una intervista centrata sulle particolari responsabilità dell'Italia verso l'Eritrea, in quanto ex potenza coloniale, il precedente ambasciatore italiano all'Asmara, dottor Emanuele Pignatelli, rimanda in modo vago all'impegno generale del suo paese nel campo dei patrimoni culturali dell'umanità.

Come si diceva: c'è ancora molto da scoprire e da apprendere.

Ingegneri in Toscana tra passato e futuro

rubrica a cura di Franco Nuti

professore ordinario
di Architettura Tecnica
presso la Facoltà di Ingegneria
di Firenze



vulnerabilità sismica del patrimonio monumentale della Toscana

*il caso della Torre Grossa
di San Gimignano*

Prof. Ing.
Gianni Bartoli
Ingg.
Michele Betti
Barbara Tordini

Dipartimento di Ingegneria civile
e ambientale
Università degli Studi di Firenze

I. Introduzione

gli edifici in muratura rappresentano una significativa porzione del patrimonio edilizio e monumentale italiano. Questi hanno mostrato negli anni una forte suscettibilità al danneggiamento, quando non addirittura al crollo totale o parziale, per effetto dell'azione sismica, talvolta a causa di interventi e/o modificazioni poco rispettose dell'integrità statica e culturale del manufatto. Ad oggi uno strumento di calcolo esaustivo dedicato alle costruzioni in muratura non è disponibile, sia a causa della eterogeneità delle costruzioni in muratura (tanto per forma e tipologia costruttiva che per materiali), sia a causa dello specifico comportamento del materiale muratura in sé: un materiale tipicamente non lineare, con comportamento monolatero (assenza di resistenza a trazione). Queste specificità, brevemente richiamate, unitamente al fatto che non sempre è possibile individuare in modo chiaro l'effettivo schema statico di una costruzio-

ne che è venuta modificandosi nei secoli, rendono estremamente complessa e piena di incertezze l'analisi di tali costruzioni. Ogni edificio in muratura infatti, pensando in modo specifico a edifici a carattere monumentale (chiese, torri medioevali, ecc.), rappresenta un *unicum*, un oggetto a sé stante e irripetibile; le difficoltà che normalmente si incontrano nello studio di un edificio in muratura si amplificano quando l'oggetto di studio è una costruzione monumentale in quanto i modelli e i metodi di calcolo abitualmente impiegati nello studio degli edifici ordinari non possono essere applicati indiscriminatamente alle strutture storiche (Siviero *et al.*, 1997) pena l'inaffidabilità dei risultati.

Anche da un punto di vista computazionale la modellazione di un edificio in muratura è un compito complesso, proprio perché la muratura non rispetta alcune delle ipotesi usualmente assunte per altri materiali (isotropia, comportamento elastico, omogeneità) e non può essere quindi studiata, dal punto di vista meccanico, come un materiale composito per il quale vengono ricavate leggi costitutive tali da assimilarlo a un continuo equivalente.

Lo studio di una costruzione monumentale non può prescindere da un'analisi delle principali vicende storiche subite dalla costruzione nella sua vita, sia in termini di eventi calamitosi sia in termini di modifiche apportate nei secoli alla struttura stessa dall'intervento dell'uomo. Altresì importante è l'esecuzione di una campagna di indagini sperimentali volta alla completa caratterizzazione meccanica del manufatto. Data, tuttavia, la difficoltà a eseguire una esaustiva serie di indagini sperimentali che potrebbe risultare troppo invasiva su beni di rilevanza culturale, è necessario possedere degli schemi semplificati capaci di restituire con una certa accuratezza il comportamento strutturale del manufatto.

Tra le costruzioni monumentali maggiormente significative e diffuse sul territorio, vanno certamente ricondotte le torri medioevali in muratura: la valutazione della sicurezza strutturale in campo sismico è stata effettuata sulla Torre Grossa di San Gimignano, partendo dalle informazioni disponibili sia sull'organismo strutturale sia sul comportamento meccanico della muratura dalla quale è costituita. La Torre Grossa rappresenta un caso emblematico di edificio storico in muratura a sviluppo verticale: una struttura snella il cui organismo resi-

stente è costituito da elementi multistrato (il sacco) soggetti principalmente a uno stato di compressione verticale indotto dal peso proprio (carico prevalente). Questa caratteristica, unitamente al degrado inevitabilmente provocato dai secoli, rende tali strutture particolarmente vulnerabili nei confronti di movimenti impressi, come quelli provocati dalle deformazioni del terreno o dalle azioni sismiche: eventi sismici severi possono portare al collasso, sia per la rottura localizzata della muratura, sia per il ribaltamento di una parte di essa.

La procedura parte da un modello agli elementi finiti (FEM) elastico lineare, opportunamente identificato sulla base di prove *in situ* in campo statico e dinamico, per la determinazione delle azioni globali indotte dal sisma sulla costruzione. Il problema della valutazione della vulnerabilità è successivamente ricondotto alla verifica di due opportuni stati limite nei quali si richiede che le azioni determinate in precedenza siano interne a specifici domini di resistenza. In effetti, pur rimanendo presenti tutte le problematiche esposte in precedenza, occorre anche sottolineare che la particolare tipologia strutturale delle torri medioevali consente di ricondurre la struttura a modelli sufficientemente semplici: lo schema strutturale può essere approssimato, con la dovuta cautela, a quello di una struttura a mensola, una struttura sostanzialmente isostatica. Proprio questo aspetto può far ritenere che anche modelli elastico lineari, pur se adottati per oggetti il cui comportamento meccanico è strettamente non lineare, possano essere in grado di fornire indicazioni attendibili in quanto è ragionevole attendersi che gli effetti di redistribuzione di sollecitazioni siano complessivamente molto limitati.



2. La Torre Grossa

La Torre Grossa di San Gimignano (figg. 1 e 2) è la più alta e imponente delle tredici torri che caratterizzano l'attuale profilo del borgo medievale di San Gimignano (SI) (Taddei *et al.*, 1997). La costruzione, risalente al XIV secolo, ha una pianta quadrata di 9.5 x 9.5 m e un'altezza totale di circa 60 m (figg. 3 e 4). Lo spessore delle pareti, variabile con l'altezza, passa da 2.6 m alla base a 1.6 m in sommità. Essa è suddivisa internamente in più ambienti, separati da volte a botte, ed è comunicante con il preesistente Palazzo Comunale. Una scala metallica permette l'accesso alla parte alta dalla quale è possibile accedere alla cella campanaria. L'impianto murario, realizzato secondo le tecniche in uso al tempo di costruzione, è costituito da due paramenti, uno interno in mattoni e uno esterno in pietra (con netta predominanza di travertino), coesi da un nucleo disomogeneo costituito da pietrame e malta. I due paramenti sono stati oggetto di prove *in situ* (Bartoli & Mennucci, 2000) che hanno consentito di stabilirne sia lo spessore (mediamente pari a 20 cm quello esterno in travertino e 25 cm per quello interno in laterizio) sia alcuni parametri meccanici significativi.

Il rilievo meccanico della Torre è stato effettuato mediante prove statiche (tecnica dei martinetti piatti ed estrazioni di carote di materiale) e prove dinamiche (con impiego di vibrodine) realizzate nel corso di due campagne di indagini sperimentali condotte nell'ambito del "Progetto San Gimignano" (Bartoli *et al.*, 2000a), un'attività di ricerca nata da una collaborazione iniziata nel 1996 tra la Regione Toscana e il Comune di San Gimignano, che ha coinvolto più università della Toscana, volta alla valutazione del grado di affidabilità delle torri nell'ottica della conservazione del patrimonio monumentale della città di San Gimignano. Nella prima campagna di indagini *in situ* (1996) sono state effettuate prove statiche con martinetti piatti e prove dinamiche mediante vibrodine. Una seconda campagna di indagini sperimentali, volta a indagare con maggiore approfondimento lo stato di sollecitazione presente nel paramento esterno in pietra, si è resa necessaria a causa delle discordanze riscontrate tra il modello agli elementi finiti della Torre successivamente realizzato e i risultati in termini di tensione sul paramento esterno ricavati sulla base della prima serie di prove del 1996. I principali risultati trovati in queste campagne di prove con i martinetti piatti sono riassunti in tabella 1. Sono stati eseguiti, in aggiunta, quattro carotaggi sul paramento esterno in pietra della Torre Grossa allo scopo di determinare il valore della tensione di rottura e del modulo elastico della pietra costituente i provini.

I risultati delle prove *in situ* hanno permesso di mettere a punto un modello agli elementi finiti della costruzione. Si sottolinea come il processo di identificazione di un modello, meglio descritto nel seguito, sia un procedimento di natura iterativa: si effettuano alcune prove, si tara un modello numerico, si osservano i risultati e si confrontano con i dati sperimentali. Sulla base di questi, e delle eventuali discordanze, si ripetono alcune delle prove. Il modello in sostanza risulta anche un utile strumento per avere delle indicazioni sul tipo e sulla posizione delle prove da effettuare (Vignoli & Betti, 2005).



Fig. 1- La Torre Grossa di San Gimignano: vista da piazza Duomo.

Fig. 2 - La Torre Grossa di San Gimignano: vista da via Costarella.

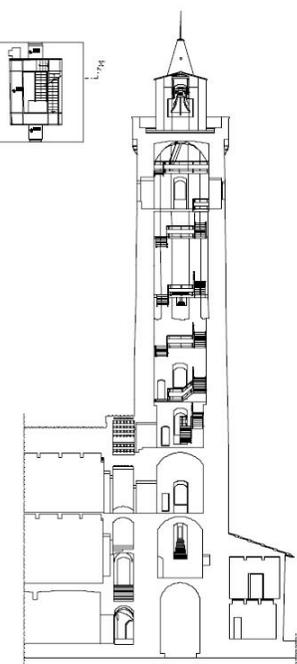


Fig. 3 - La Torre Grossa di San Gimignano: sezione longitudinale.

PROVA (lato, quota)	Tipo muratura (tipo prova)	Tensione verticale σ [kg/cm ²]	Modulo elastico E [kg/cm ²]
PROVA N. 1/96 (Ovest, +8.48 m)	Mattoni (doppia)	15.94	61269
PROVA N. 2/96 (Est, +20.63 m)	Mattoni (doppia)	9.22	22655
PROVA N. 3/96 (Ovest, +20.50 m)	Mattoni (singola)	15.55	---
PROVA N. 4/96 (Est, + m)	Pietra (doppia)	44.16	115300
PROVA N. 5/96 (Est, +19.60 m)	Pietra (singola)	44.16	---
PROVA N. 1/99 (Est, +20.00 m)	Pietra (singola)	48.00	---
PROVA N. 1 ^a /99 (Est, +20.00 m)	Pietra (doppia)	48.00	113500
PROVA N. 2/99 (Est, +20.40 m)	Mattoni (singola)	8.64	---
PROVA N. 3/99 (Ovest, +12.40 m)	Pietra (singola)	55.68	---
PROVA N. 4/99 (Ovest, +12.30 m)	Pietra (singola)	67.20	---

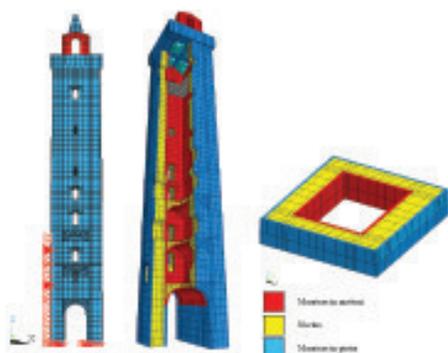
Tab. 1 - Risultati prove meccaniche con martinetti piatti (1996 e 1999)

3. Identificazione modello agli elementi finiti

Partendo dall'indagine storica e dal rilievo geometrico, combinando i risultati ottenuti da queste due operazioni con le informazioni sperimentali ricavate nell'ambito del "Progetto San Gimignano" è stato realizzato un modello numerico agli elementi finiti della Torre Grossa (fig. 5) per riprodurre il comportamento globale sia in campo statico che dinamico. Il modello è stato calibrato in campo dinamico, tramite i parametri modali ottenuti dalle vibrazioni indotte con le vibrodine, e tarato in campo statico sulla base delle tensioni stimate nelle prove effettuate con i martinetti piatti. Nella fase di identificazione un ruolo fondamentale è rivestito dal modulo di elasticità del nucleo che non è stato possibile identificare in maniera diretta. Sulla base delle analisi svolte sono state stimate le caratteristiche meccaniche del nucleo in modo tale da approssimare correttamente i dati sperimentali disponibili. Tuttora l'effettivo valore del modulo elastico, così come la reale composizione del nucleo, sono incogniti.

L'identificazione dinamica del modello ha permesso di determinare una distribuzione di vincoli lungo il lato est della Torre tale da riprodurre il grado di confinamento offerto dall'adiacente Palazzo Comunale.

L'identificazione statica ha condotto alla definizione di un appropriato modulo di elasticità per il materiale costituente il nucleo; in particolare sono state condotte analisi di viscosità (*creep*), adottando un modello reologico analogo a quello del calcestruzzo, in modo tale da stimare un modulo di elasticità a tempo infinito capace di riprodurre, sui paramenti interni ed esterni delle sezioni, lo stato di tensione ricavato sperimentalmente *in situ*. Il modello finale a elementi finiti della Torre è stato realizzato mediante il codice di calcolo ANSYS (Betti & Vignoli, 2005) utilizzando elementi finiti isoparametrici solidi a 8 nodi Solid45 a comportamento elastico lineare (cfr. fig. 5).



3.1. Identificazione dinamica

Il modello della struttura è stato vincolato ipotizzando la presenza di un incastro in corrispondenza dei nodi di base. Nonostante non sia disponibile alcuna informazione specifica sulla fondazione è ragionevole ritenere che la Torre Grossa, come peraltro altre costruzioni simili, sia direttamente appoggiata sul terreno. Il vincolo è stato supposto rigido anche in considerazione delle buone caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno su cui questa poggia e del fatto che nel tempo non sono stati rilevati fenomeni imputabili a cedimenti differenziali in fondazione.

Nel valutare la risposta del modello è stato verificato che solo alcuni parametri rivestono effettivamente una certa importanza ai fini della identificazione dinamica della costruzione. In particolare due parametri sono risultati essere particolarmente significativi, ed entrambi di difficile identificazione:

- il modulo di elasticità del nucleo;
- il grado di vincolo fornito dal Palazzo Comunale e dai dormitori della Pieve, adiacenti rispettivamente al lato est e ovest.

Il processo di identificazione ha pertanto posto l'attenzione sulla ricerca di una disposizione di vincoli e di un valore di E_N (modulo di elasticità del nucleo) che consentissero di avvicinarsi alle prime due frequenze fondamentali e ai corrispondenti modi propri ricavati sperimentalmente.

Le analisi (modali) sono state condotte schematizzando il grado di vincolo offerto dagli edifici adiacenti tramite degli appoggi rigidi (che eliminano gli spostamenti orizzontali) disposti soltanto sulla parete est, lasciando il lato ovest completamente libero. Dal momento che i vincoli si comportano in maniera bilatera e data la modesta deformabilità trasversale del manufatto, il vincolo posto rappresenta contemporaneamente il vincolamento dovuto a entrambi gli edifici. Il modulo di elasticità del nucleo E_N è stato assunto inizialmente pari a 10.000 kg/cm^2 ed è stato aumentato nel corso di analisi parametriche mantenendone il valore al di sotto di 30.000 kg/cm^2 (ipotizzando, quindi, che il riempimento non sia costituito da un materiale più rigido della muratura in mattoni).

Fig. 4 - La Torre Grossa di San Gimignano: sezione trasversale.

Fig. 5 - Modello agli elementi finiti.

Il procedimento seguito nella identificazione è, secondo l'opinione degli autori, giustificato dalle seguenti considerazioni:

- le prime due forme modali, date le caratteristiche “a mensola” della Torre, risultano quelle maggiormente significative in termini di risposta dinamica della struttura;
- i modi superiori ai primi, in particolare quelli torsionali, non sembrano essere stati caratterizzati correttamente nel corso delle prove sperimentali.

Variando la posizione e la distribuzione dei vincoli e il modulo elastico del nucleo si è pervenuti a una calibrazione in campo dinamico del modello a elementi finiti fissando per il modulo di elasticità del riempimento un valore pari a 16.000 kg/cm², ed estendendo i vincoli dalla base fino alla quota di +19.30 m.

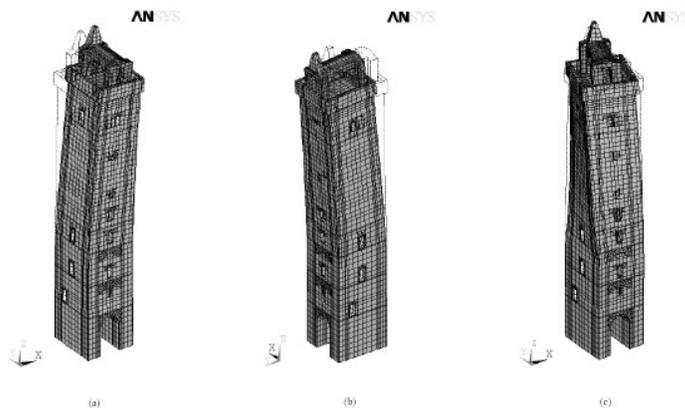
Il modello così identificato risulta avere valori di frequenze proprie in buon accordo con quelle ricavate sperimentalmente (tab. 2). Relativamente alle prime due forme modali la differenza tra frequenze misurate e frequenze del modello è inferiore all'1,5%. Le figure 6a-c riportano le prime forme modali della Torre.

Tab. 2 - Confronto tra i valori sperimentali e numerici sulle frequenze proprie

Modo	Direzione	Frequenza sperimentale [Hz]	Frequenza modello [Hz]	δ %
I	Est-Ovest	1.3060	1.2906	-1.19
II	Nord-Sud	1.3310	1.3306	-0.03
III	Torsionale	NI	5.1836	—
IV	Verticale	NI	5.9427	—
V	Est-Ovest	6.5500	6.2308	-5.12
VI	Nord-Sud	7.6150	6.6617	-14.31

NI = non identificata

si è eseguito un confronto tra le tensioni ottenute dall'analisi numerica e quelle misurate nel corso delle due campagne di prove con i martinetti piatti



3.2. Identificazione statica

Al fine di verificare che il modello tarato sulla base delle caratteristiche dinamiche potesse fornire risultati attendibili anche in campo statico, si è provveduto a eseguire un confronto fra le tensioni ottenute dall'analisi numerica e quelle misurate nel corso delle due campagne di prove con i martinetti piatti. Il confronto è stato in particolare effettuato in riferimento alla quota di +20.50 m, corrispondente alla sezione della Torre maggiormente investigata.

I risultati delle analisi numeriche svolte hanno, sia per la muratura esterna in pietra sia per quella interna in mattoni, valori di tensione (verticale) decisamente inferiori rispetto a quelle determinate nelle prove con i martinetti piatti (tab. 3). Tale difformità è in effetti giustificabile osservando che il valore del modulo di elasticità del nucleo, essendo incognito, è stato assegnato in base ad analisi dinamiche; è ragionevole ritenere che il nucleo, un materiale quasi incoerente, per azioni improvvise presenti un modulo di elasticità più elevato che non nel caso di azioni che perdurano nel tempo (quasi statiche), per cui un'analisi statica andrebbe condotta con un modulo di elasti-

Fig. 6 - Modi propri della Torre: (a) primo modo: flessionale in direzione est-ovest ($T_1=0.775s$); (b) secondo modo: flessionale in direzione nord-sud ($T_2=0.751s$); (c) terzo modo: torsionale ($T_3=0.193s$).

Valori ottenuti dalle prove			Valori ottenuti dal modello $E_{\infty} = 4.700 \text{ kg/cm}^2$			Valori ottenuti dal modello $E_N = 16.000 \text{ kg/cm}^2$				
Prova	Quota [m]	Tensione σ_z [kg/cm ²]	Quota [m]	Tensione $\sigma_{z,el}$ [kg/cm ²]			Quota [m]	Tensione σ_z [kg/cm ²]		
				Min	Media	Max		Min	Media	Max
2	+20.63	-9.22	+20.50	-9.73	-9.24	-8.83	+20.50	-7.10	-6.75	-6.40
3	+20.50	-15.55	+20.50	-9.19	-8.74	-8.28	+20.50	-5.89	-6.25	-6.60
4	+19.60	-35.33*	+20.50	-35.82	-35.36	-34.89	+20.50	-24.50	-24.36	-24.21
1'	+20.00	-38.40*	+20.50	-39.50	-39.15	-38.80	+20.50	-27.03	-26.93	-26.83
2'	+20.40	-8.64	+20.50	-9.74	-9.29	-8.84	+20.50	-7.14	-6.79	-6.44

Tab. 3 - Tensioni verticali sperimentali e confronto con i valori del modello numerico con $E_{\infty} = 4700 \text{ kg/cm}^2$ e $E_N = 16000 \text{ kg/cm}^2$

cià minore rispetto a quello già individuato su base dinamica. Oltre a questo aspetto, occorre tenere presente che nella struttura possono essere intervenuti anche dei fenomeni di trasferimento del carico (Bartoli *et al.*, 2000b) verso la muratura in pietra e a quella in mattoni riconducibili ai seguenti meccanismi:

- 1) se il materiale costituente il nucleo si comportasse alla stregua di un materiale sciolto dotato di coesione, trasferirebbe il proprio peso alle pareti più rigide attraverso la sola coesione interna (cfr. fig. 7a). Tale fatto, che implica comunque un'elevata rigidità tagliente del blocco costituente il nucleo, può essere ritenuto possibile se si pensa alle modeste tensioni di contatto necessarie a trasferire il proprio peso;
- 2) un secondo meccanismo di trasferimento del peso proprio dal nucleo alle due pareti può essersi innescato nel caso in cui siano presenti, tra le due murature, dei ricorsi di collegamento trasversale abbastanza diffusi. In questo caso, secondo lo schema riportato in figura 7b, i ricorsi vengono a costituire le "catene" di archi di scarico che, nel tempo, trasferiscono il peso proprio del nucleo verso le pareti esterne;
- 3) un terzo meccanismo che può giustificare come il peso proprio del nucleo possa essere andato a gravare progressivamente sulle pareti esterne è l'effetto della deformazione viscosa (*creep*) del materiale costituente il nucleo (cfr. fig. 7c). Naturalmente soltanto una conoscenza più approfondita delle qualità del materiale di riempimento darà la possibilità di verificare questo fenomeno dipendente dal tempo.

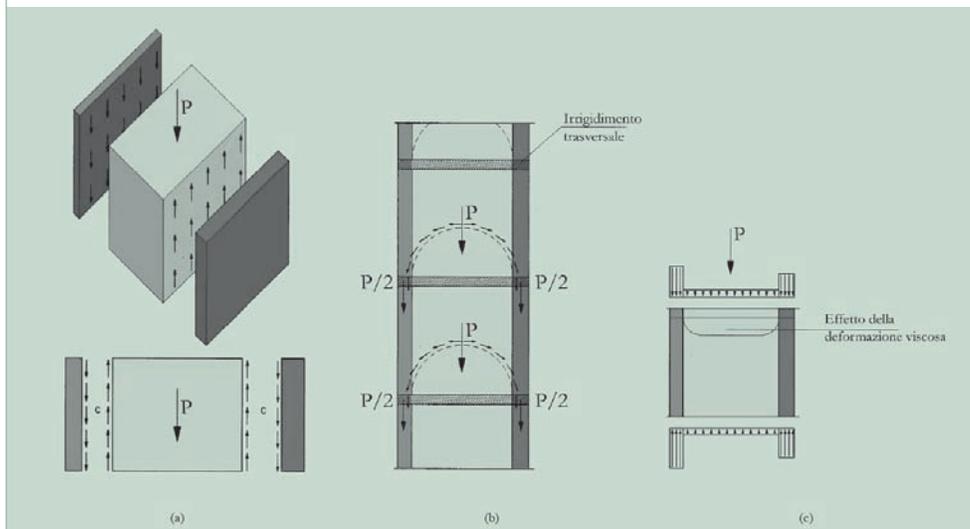
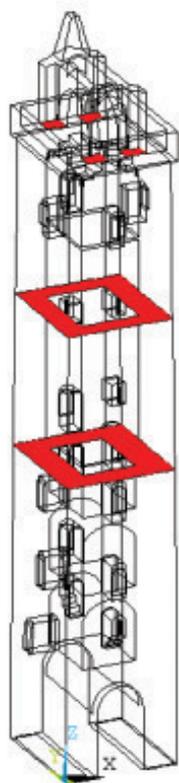


Fig. 7 - Possibili meccanismi di trasferimento del peso proprio dal nucleo alla muratura di mattoni e alla muratura di pietra: (a) effetto della coesione del nucleo; (b) formazione di archi di scarico; (c) influenza della deformazione viscosa.

Fig. 8 - Sezioni analizzate nella verifica degli stati limite ($z_1=24.00$ m; $z_2=36.30$ m; $z_3=50.0$ m).



Per poter investigare correttamente la presenza di questi fenomeni sono, tuttavia, necessarie informazioni attualmente non disponibili (presenza e posizione dei ricorsi, natura del materiale costituente il nucleo...). Si è ritenuto opportuno, in considerazione dei dati sperimentali disponibili, di porre l'attenzione esclusivamente al fenomeno di *creep*. La sola analisi di questo fenomeno consente comunque di pervenire a un valore attuale del modulo di elasticità capace di dare corrispondenza tra i valori sperimentali e risultati numerici.

Si suppone che il nucleo, essendo appunto costituito da un materiale incoerente, possa avere trasferito nel tempo per deformazione viscosa una parte dei carichi di propria pertinenza ai paramenti esterni più rigidi. Questo corrisponde a immaginare il nucleo come un materiale avente un modulo di elasticità variabile nel tempo. Al tempo iniziale, corrispondente al momento della costruzione della Torre, questo presentava un certo valore E_0 , il quale è andato progressivamente riducendosi fino a stabilizzarsi al valore attuale, nel seguito indicato come modulo di elasticità equivalente a tempo infinito E_∞ . Inoltre si può ritenere che se deformazioni viscosse vi sono state, queste abbiano ormai raggiunto un valore definitivo, anche in considerazione del fatto che per altri materiali come il calcestruzzo già dieci anni possono essere considerati come un tempo sufficiente per lo sviluppo complessivo del fenomeno viscoso.

Nella tabella 3 si riportano i valori delle tensioni verticali σ_z misurati durante le campagne di prove confrontati con quelli ottenuti dal modello numerico.

Esaminando i dati indicati nella tabella è immediato verificare che eseguendo un'analisi lineare con il modulo identificato E_∞ si ottengono tensioni verticali medie prossime a quelle misurate sperimentalmente (vicine a quelle derivanti dalla media dello stato tensionale sullo spessore della muratura). In particolare si osserva che nel caso del paramento in pietra i valori delle tensioni sono quasi coincidenti. I processi di identificazione dinamica e statica del modello agli elementi finiti della Torre Grossa hanno condotto alla definizione di tre diversi moduli di elasticità del materiale costituente il nucleo da utilizzare in base al tipo di analisi da eseguire.

4. Analisi sismica

L'analisi sismica di costruzioni in muratura, se condotta con l'ausilio di modelli agli elementi finiti, richiederebbe la definizione di un modello numerico non lineare (non linearità materiale). Per condurre un'analisi non lineare affidabile è tuttavia necessaria la conoscenza di un insieme di parametri la cui variabilità può influenzare in modo determinante l'attendibilità della risposta. In effetti, variazioni anche apparentemente modeste di alcuni dei parametri significativi che definiscono le proprietà del materiale possono condurre, come visto anche nella fase di identificazione, a variazioni sostanziali della risposta strutturale. In assenza di una precisa caratterizzazione dei parametri relativi ai materiali, eseguire analisi non lineari significherebbe aprire una strada di incertezza sui risultati dell'analisi. In sostanza si ritiene che il modello tridimensionale non lineare della struttura, allo stato attuale delle conoscenze, non possa offrire dei risultati attendibili a causa dell'elevata dipendenza della risposta strutturale dai parametri incogniti che definiscono le non linearità.

Sulla base dei dati sperimentali disponibili è stata pertanto condotta un'analisi sismica utilizzando il modello agli elementi finiti in campo elastico lineare per la determinazione delle sollecitazioni. Il comportamento "post-elastico" della Torre è stato valutato eseguendo delle analisi non lineari su singoli elementi, opportunamente identificati come "resistenti", ovvero i pannelli di muratura in pietra del paramento esterno. L'analisi non lineare viene così spostata dal modello globale della Torre al modello di un singolo pannello, opportunamente vincolato, sul quale si dispone di un maggiore controllo in quanto esiste una diffusa ed estesa letteratura (Tassios, 1988) che fornisce una serie di informazioni sulle modalità di collasso.

Su sezioni significative della Torre (figg. 8 e 9) sono stati identificati due stati limite ultimi di collasso così definiti:

I stato limite di ribaltamento (si verifica che l'azione sismica applicata alla struttura provochi in una generica sezione uno sforzo normale risultante eccentrico il cui punto di applicazione risulti esterno alla sezione stessa).

II stato limite di rottura del paramento murario nel piano (si verifica che l'azione sismica sia causa di una rottura localizzata per schiacciamento e/o fessurazione della sezione del para-

mento murario esterno dovuta al superamento dei valori ammissibili della tensione di compressione e/o di trazione per la muratura di pietra).

L'obiettivo del procedimento proposto è quello di associare a ciascuno dei due stati limite sopra descritti un'accelerazione al piede a_g e, quindi, una corrispondente azione sismica che ne assicuri la verifica. Il rispetto dei due stati limite deriva dal confronto fra l'ente resistente R (valutato sulla base di considerazioni geometriche per il I stato limite; stimato con il comportamento a rottura di pannelli in muratura di pietra per il II stato limite) e l'ente sollecitante S (legato all'azione sismica stimata mediante l'applicazione di un appropriato accelerogramma). Va comunque osservato che se l'individuazione dei due stati limite ultimi permette di cautelarsi nei confronti dei meccanismi di secondo modo (rottura della parete nel proprio piano), questi non consentono tuttavia la possibilità di analizzare quelli di primo modo (ribaltamento fuori dal piano).

Per definire quantitativamente il sisma sostenibile è stata presa come valore di riferimento l'accelerazione di picco a_g della zona ove sorge la costruzione, così come definita dalla normativa italiana attuale (DM 14/9/2005, OPCM 3274/2003).

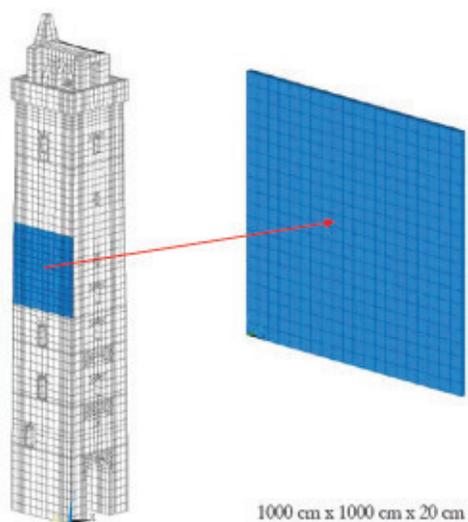
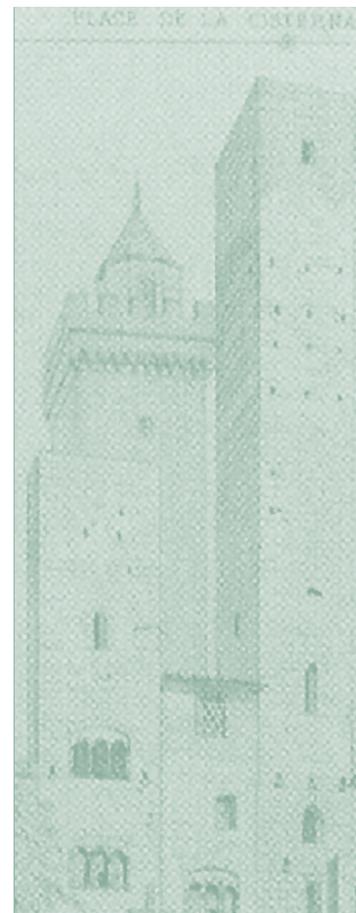


Fig. 9 - Schema definizione pannello in pietra.

Essendo la Torre Grossa una costruzione fondamentalmente isostatica, almeno per la sua parte emergente dal Palazzo Comunale, le caratteristiche di sollecitazione alle varie sezioni sono state determinate prescindendo dalle rigidità. Una prima approssimazione, intrinseca al procedimento, consiste nel ritenere che le variazioni di rigidità nel corso dello sviluppo dell'evento sismico non siano così significative da modificare i modi di vibrare (e quindi le caratteristiche dinamiche) della struttura. In altre parole, quantificando l'azione dinamica a partire dalle forme modali (di un modello agli elementi finiti elastico lineare) si suppone che, anche se la sezione si parzializza e cambia la rigidità, la variazione sia sufficientemente uniforme lungo l'altezza della Torre in modo da non modificare localmente le rigidità.

La ripartizione delle caratteristiche di sollecitazione globali dalla sezione ai singoli elementi del paramento murario esterno si effettua sulla base di ipotesi comunemente adottate per il materiale muratura (*modello di solido elastico non resistente a trazione*) e che si ritengono valide anche nel caso della sezione della Torre, composta da più paramenti murari. Adottando per la ripartizione delle azioni a livello di singola sezione lo schema di solido elastico non resistente a trazione (con resistenza a compressione lineare) non è possibile considerare la redistribuzione di forze causata da un ingresso in fase plastica di porzioni del materiale della sezione: il comportamento elastico-plastico della muratura viene "recuperato" al momento della determinazione del dominio di rottura a livello del singolo pannello (ipotesi a favore di sicurezza). Si ritiene che queste approssimazioni siano tali da non inficiare il comportamento qualitativo dei risultati ottenuti.

Si è proceduto a valutare, su specifiche sezioni della torre, il rispetto dei due stati limite ultimi di collasso (SLCO) precedentemente descritti. Le sezioni nelle quali si è indagato il rispetto degli stati limite individuati in precedenza sono le seguenti: la prima è la sezione a quota +24.00 m in prossimità della zona di distacco del corpo della Torre dal Palazzo Comunale; la



seconda sezione è quella posta a una quota intermedia di +36.30 m; infine si è ritenuto significativo analizzare anche una terza sezione situata a quota +50.00 m la quale corrisponde alla zona di imposta della cella campanaria. Per quest'ultima l'analisi si limiterà alla verifica del I stato limite; è tipico, infatti, per tipologie strutturali come torri e campanili che il primo elemento a entrare in crisi sotto azione sismica sia proprio la parte sommitale, generalmente per un eccesso di azioni orizzontali che conduce al loro ribaltamento.

La determinazione dei due enti, l'ente resistente R e l'ente sollecitante S , è stata effettuata sulla base di un procedimento iterativo che si compone dei seguenti passi:

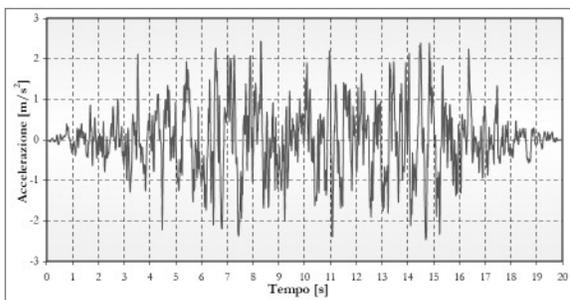


Fig. 10 - Storia temporale di accelerazione.

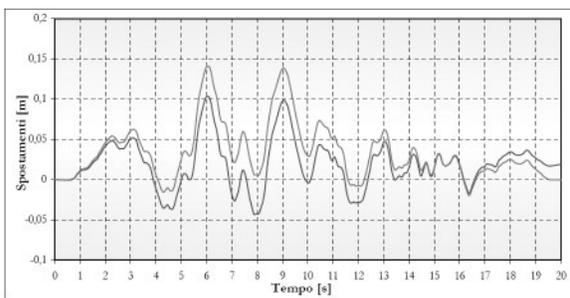


Fig. 11 - Storia temporale di spostamenti.

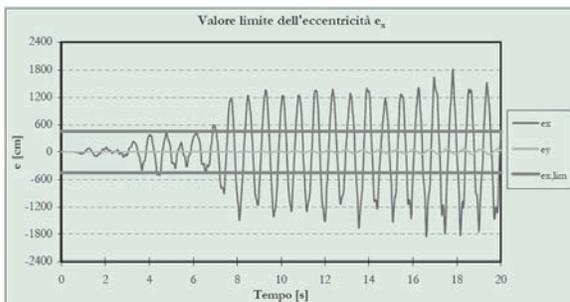


Fig. 12 - Evoluzione temporale di $e(z,t)$ per $a_g = 0.25g$.

1. Generazione di un accelerogramma sintetico (nel caso specifico si è fatto riferimento al codice di calcolo SIMQKE) e applicazione della time-history così definita al modello elastico lineare della Torre avente i parametri meccanici valutati attraverso il processo di identificazione dinamica. L'accelerogramma determinato ha una durata di 20s ed è compatibile con lo spettro elastico per un terreno di tipo B con $a_g = 0.25g$ (DM 14/09/2005, OPCM 3274/2003, EC8). L'azione sismica è stata modellata imponendo ai nodi vincolati della costruzione la storia temporale degli spostamenti derivata dall'accelerogramma di progetto (figg. 10 e 11) con un intervallo temporale $\Delta t = 0.02s$. In mancanza di specifiche informazioni sulla sismicità dell'area dove sorge la costruzione è stato fatto riferimento alle indicazioni di normativa; è evidente che di grande utilità risulterebbe uno studio di microzonazione al fine di individuare la corretta azione sismica di progetto.

2. Valutazione, tramite un'analisi di time-history sul modello FEM, dell'evoluzione temporale delle caratteristiche di sollecitazione per una determinata sezione $[z]$ (relativamente al corpo della Torre emergente dal Palazzo Comunale dove lo schema di struttura isostatica è applicabile) e calcolo dell'andamento nel tempo del rapporto $e(z,t) = M(z,t)/N(z)$ che altro non è che la storia temporale dell'eccentricità dello sforzo normale agente nelle sezioni indagate (fig. 12).

3. Verifica del I stato limite: si controlla che il valore dell'eccentricità non superi il valore limite e_{lim} , dove con e_{lim} si è indicata l'eccentricità del carico verticale che produce il ribaltamento della sezione; essa è determinata in base alle caratteristiche geometriche della sezione analizzata (pari al semilato della sezione della Torre nella direzione considerata). Indicando con $|e|_{max}$ il valore massimo che $e(z,t)$ attinge nell'intervallo temporale considerato il ribaltamento in corrispondenza della sezione scelta non avviene se, per ogni istante temporale, si ha $|e|_{max} \leq e_{lim}$.

TOUR DES SAVOVELLI



Qualora non sia verificato il I stato limite si riduce l'azione sismica di ingresso del valore dato dal rapporto $\alpha = |e|_{\max} / e_{\text{lim}}$ ripercorrendo iterativamente i punti da 1 a 3 fino a quando questo stato limite non è verificato. Altrimenti si procede direttamente al passo successivo.

4. Ripartizione delle caratteristiche di sollecitazione sui singoli elementi in cui viene idealmente scomposta la sezione adottando il modello di solido elastico non resistente a trazione.

5. Determinazione del dominio di rottura Taglio-Momento su ogni specifico elemento appartenente alla sezione. Nel caso specifico è stata prestata particolare attenzione agli elementi rappresentativi del paramento esterno in muratura di pietra risultando questo, anche in base a quanto ottenuto in termini di tensione di esercizio, l'elemento critico della costruzione.

6. Verifica del II stato limite: rottura per schiacciamento o fessurazione del pannello murario di muratura in pietra.

Questo II stato limite è stato individuato allo scopo di cautelarsi nei confronti dei meccanismi di collasso di secondo modo; con esso si controlla che l'azione sismica non produca una rottura localizzata nella sezione del paramento murario (esterno) originata dal superamento dei valori ammissibili della tensione per la muratura di pietra. Per verificare tale condizione sono state ripartite le caratteristiche di sollecitazione globali dalla sezione ai singoli elementi in cui questa è stata idealmente suddivisa (fig. 9). La ripartizione delle azioni, come detto, è stata effettuata sulla base di ipotesi, comunemente adottate per il materiale muratura e che si ritengono valide anche nel caso di una sezione composta da più "strati" di materiale, ovvero l'ipotesi di solido elastico lineare non resistente a trazione e di conservazione delle sezioni piane. Lo sforzo normale e il momento flettente sono stati ripartiti differenziando il caso in cui il centro di pressione è interno (sezione non parzializzata) oppure esterno (sezione parzializzata) al nocciolo centrale di inerzia. La ripartizione dell'azione tagliante invece è stata effettuata assumendo che il taglio si ripartisca fra le sole aree elementari con asse parallelo all'azione stessa, che non vi sia scorrimento relativo fra le varie aree e che per fenomeni di natura attritiva (quali l'effetto dell'ingranamento) anche la parte della sezione

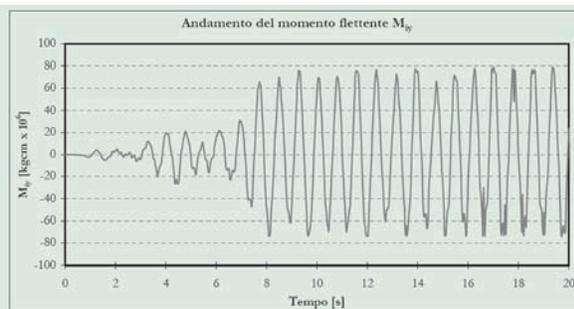


Fig. 13 - Sviluppo temporale Momento flettente.

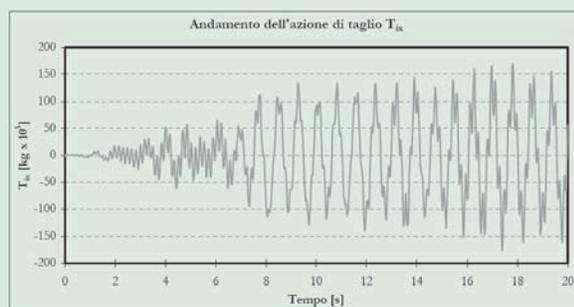


Fig. 14 - Sviluppo temporale azione di Taglio.

che risulta essere in trazione contribuisca al trasferimento di tale azione.

È stato così ricavato l'andamento temporale delle sollecitazioni a livello delle singole aree (figg. 13 e 14) analizzando in particolare il paramento esterno in muratura di pietra nella direzione del sisma (fig. 15). Una volta determinati, per una generica area A_i , gli andamenti temporali delle sollecitazioni $T_{ix}(t)$ e $M_{iy}(t)$ è possibile offrire una loro rappresentazione, sintetica ed efficace, riportando in un diagramma i valori di T_{ix} in funzione di M_{iy} . La forma tipica di tale relazione è riportata in figura 16, nella quale ogni punto rappresenta un differente istante temporale.

Le aree in cui è stata suddivisa la sezione possono essere pensate come le estremità superiori di altrettanti pannelli elementari in cui una porzione della Torre può essere scomposta (fig. 9). Per verificare se le sollecitazioni Taglio-Momento calcolate sono effettivamente trasferibili dall'area A_i è stato determinato il dominio di rottura di un pannello elementare corrispondente. Questo è un pannello quadrato in muratura, rappresentativo del paramento esterno, di dimensioni $B=H=10$ m e spessore

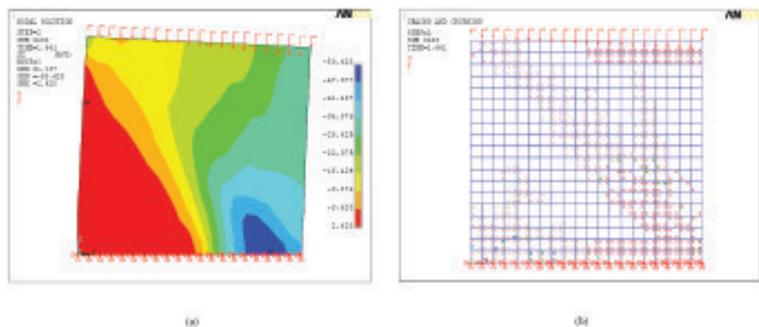


Fig. 15 - Modello non lineare pannello in pietra:
(a) tensione verticale σ_{zz} (kg/cm2); (b) quadro fessurativo.

20 cm, modellato in ANSYS in campo non lineare mediante elementi finiti isoparametrici a 8 nodi, Solid65. Il comportamento non lineare è stato riprodotto associando al materiale il criterio di plasticizzazione di Drucker-Prager e la superficie di rottura di William-Warnke. Al fine di riprodurre la condizione di *single bending* alla base del pannello sono stati imposti dei vincoli rigidi.

Sul modello così definito sono state condotte analisi a rottura adottando le condizioni di carico determinate sulla base delle combinazioni Taglio-Momento ricavate al punto 4. Gli stati di sollecitazione indagati sono indicati con le lettere A+E in figura 16. Per condurre l'analisi non lineare a rottura si è proceduto fissando il momento flettente agente in sommità al pannello e incrementando l'azione di taglio fino a ottenerne il collasso (per schiacciamento e/o per fessurazione). In aggiunta alle condizioni di carico desunte dallo stato reale di sollecitazione, al fine di determinare il dominio di rottura, si è proceduto ad analizzare un'ulteriore condizione nella quale il carico verticale consiste esclusivamente in un'azione di sforzo normale centrato.

Per ogni condizione di carico analizzata è stato individuato un punto (lettere A'+O' di fig. 16) del dominio di rottura T-M per il pannello. L'interpolazione di questi punti definisce tale dominio cercato. Qualora, come nel caso riportato in figura 16, i punti rappresentativi dello stato di sollecitazione siano esterni al dominio di rottura si riduce l'azione sismica di ingresso. Iterativamente si continua a ridurre l'accelerazione di ingresso, aggiornando lo stato tensionale sul pannello, fino a quando lo stato di sollecitazione non risulti interno al dominio di rottura. È stato indicato con a_{g2} il valore della massima accelerazione sismica che verifica il II stato limite.

Il risultato finale di questo procedimento è la stima del sisma, sezione per sezione, che la struttura è capace di incamerare senza entrare in crisi nel rispetto dei fenomeni analizzati e, ovviamente, delle ipotesi effettuate.

Si riporta a titolo esemplificativo la situazione della sezione posta a quota a +36.30 m. La stima del sisma sostenibile nel rispetto dello stato limite analizzato si ottiene riducendo l'azione sismica di ingresso di un coefficiente α che, ad esempio, per il I stato limite risulta:

$$\alpha = \frac{|e|_{\max}}{e_{\lim}} = 4.572 \Rightarrow a_{g1} = \frac{0.25g}{\alpha} = 0.0546g$$

Con questa azione sismica ridotta sono state aggiornate le caratteristiche di sollecitazione agenti a livello della sezione nonché l'eccentricità $e(z,t)$ in modo da avere l'evoluzione temporale dell'eccentricità interamente contenuta nel fuso definito dai valori limite. La figura 16 mostra come i punti rappresentativi dello stato di sollecitazione sul pannello siano esterni al dominio di rottura; per avere il rispetto anche del II stato limite è necessario ridurre ulteriormente l'azione sismica di ingresso. Questa operazione è un processo iterativo i cui risultati finali sono i seguenti:

Accelerazione massima di progetto (Zona 2):

$$a_g = 0.25 g$$

Massima accelerazione al suolo che verifica il I stato limite:

$$a_{g1} = 0.0546 g$$

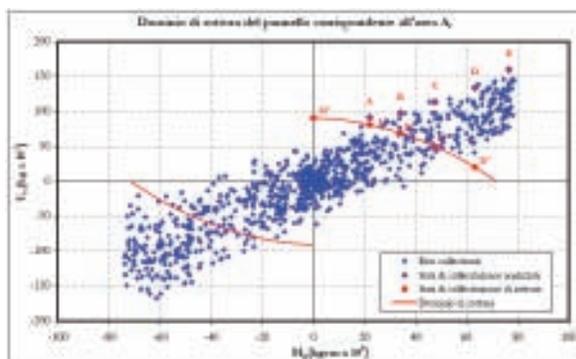
Massima accelerazione al suolo che verifica il II stato limite:

$$a_{g2} = 0.0268 g$$

I valori delle accelerazioni che verificano i due stati limite (a_{g1} e a_{g2}) per la sezione posta a quota +36.30 m risultano inferiori rispetto all'accelerazione di picco al suolo a_g previsto dalla normativa per le strutture situate in Zona 2. Risultati analoghi si ottengono analizzando il comportamento della sezione posta a +24.00 m.

A tale proposito occorre tuttavia precisare alcuni aspetti che sono intrinseci al procedimento di analisi proposto. La particolare tipologia strutturale della Torre (struttura snella a prevalente sviluppo verticale) ha consentito, dato che questa almeno per la parte che emerge dagli edifici adiacenti può essere assimilata a una mensola isostatica, di ritenere trascurabili gli effetti di redistribuzione delle sollecitazioni. Si è ritenuto inoltre che le variazioni di rigidità nel corso dello sviluppo dell'evento sismico non siano così significative da modificare i modi di vibrare (e quindi le caratteristiche dinamiche) della struttura. Sulla base di queste considerazioni è stato adottato un modello elastico lineare per il calcolo, sezione per sezione, dell'ente sollecitante prodotto da un determinato accelerogramma di progetto compatibile con il sito dove sorge la costruzione. Un analogo modello, non lineare ma sempre elastico (quello di solido non resistente a trazione) è stato adottato per la ripartizione delle sollecitazioni che globalmente agiscono sulla sezione ai singoli elementi della sezione stessa. Queste ipotesi, se da un lato consentono di comprendere gli aspetti di amplificazione prodotti dal moto sismico, da un altro portano comunque a una sovrastima degli effetti dell'azione sismica stessa. È ragionevole osservare che con l'insorgere dell'evento sismico verranno comunque a prodursi nei primi istanti del moto degli effetti di degrado del materiale della costruzione (fenomeno di schiacciamento del materiale, lesioni, distacco del materiale, ecc.) che porteranno all'innalzamento dei periodi fondamentali della struttura, con conseguente abbattimento dell'azione sismica.

Fig. 16 - Dominio di rottura (Taglio-Momento).



la particolare tipologia strutturale della Torre ha consentito di ritenere trascurabili gli effetti di redistribuzione delle sollecitazioni

Tale fenomeno non si ritiene che possa essere trascurabile, anche in considerazione del fatto che lo stesso documento DPC 2006 suggerisce per l'analisi allo stato limite ultimo di utilizzare un periodo in fase fessurata che è pari al periodo principale in fase elastica incrementato di una percentuale che oscilla tra il 40% e il 75%. Per periodi alti, la riduzione dell'azione sismica è, circa, inversamente proporzionale al periodo della struttura; passando da un periodo T_1 a un periodo $1.4 T_1$ si ha quindi una riduzione dell'azione pari a $1/1.4 \approx 0.7$. Passando da un periodo T_1 a un periodo $1.75 T_1$ si arriverebbe a un fattore di riduzione pari a circa 0.57. Anche considerando il caso inferiore si perviene comunque a una riduzione dell'azione sismica di circa il 30%. Inoltre la presenza di una duttilità (sebbene abbastanza limitata a causa della scarsa possibilità di redistribuzione degli sforzi dovuta alla specificità della struttura considerata) consente di affermare che le accelerazioni che la Torre è in grado di assorbire in caso di azione sismica risultano maggiori di quelle ricavate dall'analisi effettuata. Ipotizzando, ad esempio, un fattore di struttura q pari a 1.5 (corrispondente al valore minimo usualmente impiegato per costruzioni in muratura) si pervenirebbe a un valore della massima accelerazione sopportabile dalla Torre pari a:

$$a_{g2,corr} = a_{g2} \cdot \frac{1.5}{0.7} = 0.057 g$$

Di conseguenza lo stato limite per ribaltamento sembra quello maggiormente impegnativo per la struttura esaminata e porta alla conclusione che queste accelerazioni nell'ordine di 0.055g, quindi pari a circa 1/5 di quella massima prevista per una struttura posta in Zona 2, potrebbero condurre a condizioni prossime al collasso dell'edificio, soprattutto nelle parti più alte del monumento.

5. Conclusioni

La valutazione della sicurezza in campo sismico della Torre Grossa di San Gimignano è stata effettuata attraverso una procedura di analisi che utilizza un modello agli elementi finiti elastico lineare (dopo opportuna identificazione sia in campo statico che dinamico); le storie temporali delle azioni globali agenti alle varie sezioni della torre sono state, mediante opportune ipotesi (solido elastico lineare non resistente a trazione), ricondotte a sollecitazioni agenti alla sommità di pannelli elementari studiati in campo non lineare. La possibilità di adottare un modello elastico per l'analisi di una struttura il cui comportamento meccanico è certamente non lineare è offerta dal fatto che le torri snelle, almeno nella parte in cui queste emergono dagli edifici circostanti, hanno un comportamento strutturale sostanzialmente isostatico dove la redistribuzione delle sollecitazioni è, di fatto, modesta.

Il problema della valutazione della sicurezza sotto azione sismica è quindi rimandato alla verifica di due stati limite opportunamente individuati. Il primo stato limite è uno stato limite per ribaltamento, mentre il secondo è rappresentato dallo stato limite di rottura del materiale muratura. Il modello elastico lineare dell'intera struttura, utilizzato per valutare i carichi agenti alle diverse quote della Torre dovuti a uno specifico terremoto di progetto (modellato tramite una storia temporale di spostamenti agenti alla base), permette di determinare i carichi agenti a ogni sezione a quota $[z]$ della torre. Tali carichi vengono identificati in termini globali come forze di taglio $[T(z; t)]$, sforzi normali $[N(z)]$ e momenti flettenti $[M(z; t)]$, sono quindi utilizzati ai fini della valutazione della capacità sismica della Torre mediante l'analisi dei due stati limite sopra citati. Per ciascuno di essi è stato determinato il valore dell'accelerazione al piede a_g capace di assicurarne il rispetto, trovando quindi un indice di vulnerabilità della Torre.

L'applicazione del procedimento proposto per la valutazione della sicurezza strutturale della Torre Grossa fondamentalmente ha confermato la sensibilità all'azione sismica di tale tipologia strutturale permettendo di offrire alcune stime quantitative iniziali della vulnerabilità sismica.

Le stime degli indici di vulnerabilità riportate nel presente lavoro sono comunque una diretta conseguenza delle ipotesi semplificative, funzioni del livello di conoscenza, condotte nei vari passi del procedimento illustrato. Sulla base di tali ipotesi la storia di carico impressa alla Torre in termini di spostamenti ha condotto al ribaltamento di porzioni della costruzione per valori accelerazione al suolo inferiori a quanto previsto dalla normativa vigente. Va tuttavia osservato che nella stima dei valori delle accelerazioni sostenibili dal manufatto sarebbe opportuno, anche in considerazione dell'evidente valore artistico e storico della costruzione, poter effettuare i confronti esposti nel lavoro con dati di input sismico specifici per l'area dove la costruzione sorge: in tal senso uno studio di microzonazione fornirebbe informazioni utili al fine di comprendere l'effettiva azione sismica prevedibile nell'area in oggetto.

Bibliografia

- BARTOLI G. - MENNUCCI A. (2000), "Progetto San Gimignano, la Torre Grossa: indagini conoscitive e diagnostica". *Atti del primo Convegno sulla diagnostica per la salvaguardia dei beni culturali*, San Gimignano, Teatro Comunale, 6-7 dicembre 1999.
- BARTOLI G. - CASAMAGGI C. - SPINELLI P. (2000a), "Numerical Modelling and Analysis of Monumental Buildings: a Case Study". *Atti del Convegno CICOP FIRENZE2000, 5th International Congress on Restoration of Architectural Heritage*, Firenze, settembre 2000.
- BARTOLI G. - CHIOSTRINI S. - INNOCENTI S. (2000b), "Problems Related to the Analysis of Experimental Data from Flat-jack Tests". *Atti del Convegno CICOP FIRENZE2000, 5th International Congress on Restoration of Architectural Heritage*, Firenze, settembre 2000.
- BARTOLI G. - BETTI M. - SPINELLI P. - TORDINI B. (2006), "An 'Innovative' Procedure for Assessing the Seismic Capacity of Historical Tall Buildings: the 'Torre Grossa' Masonry Tower". *Atti del VI International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC 2006*, New Delhi, 6-8 November, pp. 929-937.
- BETTI M. - VIGNOLI A. (2005), "L'utilizzo del codice ad elementi finiti ANSYS per l'analisi strutturale di edifici monumentali in muratura", *Analisi & Calcolo VI(21)*, Consedit Sas ed., pp. 27-31.
- Eurocode n. 8, "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici", UNI EN 1998-1, marzo 2005.
- DM DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI 14/09/2005, *Norme Tecniche per le Costruzioni*, G.U. n. 222, 23 settembre 2005, S.O. n. 159.
- DPC luglio 2006, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui all'OPCM 3274/03 (draft version)*.
- OPCM 3274 20/03/2003, *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*, G.U. n. 105 dell'8.05.2003 e successive integrazioni (OPCM 3431 del 3.05.2005).
- SIVIERO E. - BARBIERI A. - FORABOSCHI P., *Lettura strutturale delle costruzioni*, CittàStudiEdizioni, Milano 1997.
- TADDEI D. - CORAZZI R. - PETRINI G., *Progetto San Gimignano*, Alinea Ed., Firenze 1997.
- TASSIOS T.P., *Meccanica delle murature*, Liguori Editore, Napoli 1988.
- VIGNOLI A. - BETTI M., "Il ruolo della sperimentazione nell'ingegneria strutturale". *Atti del Convegno Nazionale Il laboratorio nel mondo delle costruzioni (Evoluzione storica e normativa)*, Firenze, 21 novembre 2005 (in stampa).