

<b>Editoriale - Progettandoing. La vivace reazione dell'ingegnere</b>	<b>3</b>
Aurelio Fischetti	
<b>Bando Premio di Laurea in Ingegneria "Piero Ciullini"</b>	<b>5</b>
promosso dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze. Edizione anno 2009	
Settore civile e ambientale/edile	
<b>Analisi per la copertura di un auditorium: struttura e prestazioni termofisiche e acustiche</b>	<b>6</b>
Beatrice Giachi	
<b>Protezione sismica con isolamento alla base mediante Friction Pendulum System</b>	<b>18</b>
Giuseppina Patalano	
<b>La luce nella moda: progetto illuminotecnico per uno spazio espositivo a Pitti Immagine Uomo</b>	<b>30</b>
Giulia Ermini	
Settore dell'informazione	
<b>Fault detection on the Large Hadron Collider at CERN: design, simulation and realization of a High Voltage Pulse Generator</b>	<b>36</b>
Costanza Cavicchioli	
<b>O-Learning: progettazione e sviluppo di un'applicazione ontologica per la gestione di un archivio di risorse didattiche</b>	<b>42</b>
Andrea Rametta	
<b>Protocollo di Instradamento Robusto con Metrica Cross-Layer per Reti Ad-Hoc</b>	<b>47</b>
Giulio Giovannetti e Luca Fabbrini	
Verbali della Commissione per il settore civile e ambientale/edile	<b>55</b>
Verbali della Commissione per il settore dell'informazione	<b>56</b>

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.ordineingegneri.fi.it

Anno IV, n. 4  
ottobre-dicembre 2009

*Direttore responsabile:*  
Cinzia De Salvia

*Direttore editoriale:*  
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:*  
Eleonora Nesi  
(redazione.progettandoing@nerbini.it)

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

*Pubblicità:*  
Lisa Silvestri

*Stampa:*  
Tecnostampa – Loreto (AN)

Autorizzazione del Tribunale di Firenze  
n. 5493 del 31.5.2006

Progettando Ing viene distribuito gratuitamente agli iscritti  
dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze.

Realizzazione editoriale: Prohemio editoriale srl, Firenze

© 2010 – Edizioni Nerbini  
Via G.B. Vico, 11 – 50136 Firenze  
Tel. 055/200.1085  
e-mail: edizioni@nerbini.it  
www.nerbini.it

ISSN 2035-7125  
ISBN 978-88-6434-150-7

#### *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 3 maggio 2010*

#### STORIA DI COPERTINA

##### **La passerelle Solferino a Parigi**

È questa l'opera più nota dell'ing. Marc Mimram, costruita per unire il Musée d'Orsay ed il Giardino delle Tuileries, completando così in modo simbolico l'ambizioso progetto "Grand Louvre". Un elegante footbridge che ha la particolarità di consentire l'accesso per i pedoni dai due livelli (stradale e bordo fiume), ha una struttura ad arco in acciaio (900 ton. e luce di 106 mt.) con piano di calpestio in tavole di legno, che si deforma sotto carico fino a 49 millimetri in verticale e 57 millimetri in orizzontale. Costruita nel 1999 con un costo di 9.800.000 euro ha contribuito (*obtorto collo*) all'evoluzione della tecnica costruttiva dei ponti superleggeri. Alla sua sontuosa inaugurazione quale ultimo "ponte del millennio", ministri, autorità cittadine, giornalisti e semplici curiosi che si trovano sul ponte, sono stati colti da sintomi di mal di mare. La struttura oscillava in maniera eccessiva sotto la marcia dei passanti e sbandava lateralmente per effetto del vento. Venne subito transennata e chiusa al pubblico, tra lo scherno dei parigini e le lamentele dei VIP presenti al vernissage: colpiti dal panico. Solo la successiva posa di ammortizzatori dinamici ha permesso di ridurre le oscillazioni e riaprire il ponte.

##### **Marc Mimram (Parigi 1955)**

Laureato in ingegneria a l'"Ecole Nationale des Ponts et Chaussées" nel 1978, in architettura nel 1980 ed in filosofia alla Sorbona nel 1982. Dal 1981 svolge attività professionale e di insegnamento. È progettista di numerosi viadotti e di grandi progetti di architettura in Francia ed in altri paesi d'Europa: il complesso Almunia a Novara (1989), il Palazzo dei Congressi di Nantes (1992), il Museo di Storia Naturale di Parigi. Sono suoi alcuni originali progetti di tralicci elettrici per la EDF, la torre faro a Le Corneuse alta 50 mt. intrecciata ad una originale scala a chiocciola (1993), il casello autostradale a Eprunes sulla A5 (1994) e il grande ponte pedonale sul Reno, al confine tra Francia e Germania, percorso dai grandi nel recente G20 di Londra.

(Fausto Giovannardi)

Aurelio Fischetti

**S**ono trascorsi ormai un po' di anni dalla nascita di questa rivista e da quando ne sono direttore, prima responsabile, ora editoriale. In tutti questi anni ho lavorato, insieme ai colleghi di redazione, e con l'apporto di numerosi contributi esterni, alla materializzazione dell'idea, del progetto della rivista. Caparbiamente sempre con la stessa forza di volontà. Sperare di ricevere da qualcuno (meglio se ingegnere) un segnale di riscontro al lavoro svolto, che rompesse il silenzio di cui la nostra categoria è atavicamente e misteriosamente avvolta, anche purtroppo nei confronti di ciò che ci accade attorno, tiene in vita la nostra convinzione. Se un giorno si aprisse un dibattito sugli argomenti trattati nella rivista e da lì nascesse una vivace reazione da parte dei colleghi, contro ogni forma di insoddisfazione, si otterrebbe la definitiva "liberazione del pensiero" che ci portiamo dentro e che non riusciamo ad esternare, contribuendo positivamente alla crescita culturale, non solo nostra. Conviene continuare ad aspettare questo risultato? mi sono chiesto. Penso di sì, perché sono sicuro che quando si ha la possibilità di scrivere, con senso di responsabilità, su carta e non in formato elettronico come qualcuno vorrebbe, si abbia uno strumento in più che va oltre le parole per diffondere le cose in cui crediamo, per esprimere il nostro parere, per far conoscere le nostre esperienze, per offrire agli iscritti un panorama delle più interessanti esperienze, commentando e riferendo in merito a concorsi, arti visive, progetti in corso di realizzazione, ecc. Uscire dall'"autoreferenzialità della professione" e dal convincimento che quello che facciamo non sia da discutere con gli altri, e non solo con noi stessi, e che quello che fanno gli altri è qualcosa che non ci riguarda, rimane e sarà una scommessa da vincere per la nostra categoria.

## Progettandoing

*La vivace reazione dell'ingegnere*



**Q**uesto numero lo abbiamo voluto dedicare interamente ad un interessante concorso sulle migliori tesi di laurea di Ingegneria, edizione 2009, organizzato dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze.

L'iniziativa, denominata Premio di Laurea "Piero Ciullini", è stata promossa in onore del collega recentemente scomparso ed è alla sua prima edizione.

L'Ordine ha voluto ricordare la figura dell'ex presidente scomparso istituendo un concorso che premia i giovani laureati e li avvicina al mondo del lavoro attraverso un importante riconoscimento delle loro tesi.

Ai vincitori sono andati 2000 euro ciascuno, distinti per le lauree triennali e per le lauree specialistiche/magistrali, nonché per i tre settori dell'Ingegneria: Civile e Ambientale/Edile, Industriale, dell'Informazione.

Per ciascun settore è stata istituita una Commissione giudicatrice, nominata dall'Ordine, composta da docenti universitari indicati dal Preside della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze e da ingegneri iscritti all'Ordine, esperti nelle specifiche materie. I partecipanti sono stati 28 di cui 16 laureati del settore Civile/Ambientale e 12 dell'Informazione.

Nel settore Civile e Ambientale/Edile, la commissione costituita dal prof. Vannucchi, l'ing. Carfagni e l'ing. Staccioli ha premiato **Beatrice Giachi** e **Giuseppina Patalano** (Laurea magistrale) vincitrici ex aequo e **Giulia Ermini** (Laurea triennale).

Nel settore dell'Informazione, la commissione costituita dal prof. Catelani, l'ing. Giorgi e l'ing. Matteucci ha premiato **Costanza Cavicchioli** (Laurea magistrale), **Giulio Giovannetti** e **Luca Fabbrini** (menzione speciale), e **Andrea Rametta** (Laurea triennale).

*A.F.*

# BANDO PREMIO DI LAUREA IN INGEGNERIA "PIERO CIULLINI"

## promosso dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze.

### Edizione anno 2009

#### Articolo 1

L'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze bandisce un concorso per il conferimento di n. 6 premi di laurea di €2.000 (duemila) ciascuno. I 6 premi saranno distinti per le lauree triennali e per le lauree specialistiche/magistrali e per i tre settori dell'Ingegneria: Civile e Ambientale/Edile, Industriale, dell'Informazione.

Il tema del concorso è libero.

#### Articolo 2

Il concorso è riservato esclusivamente a coloro che abbiano conseguito una laurea in Ingegneria presso l'Università degli Studi di Firenze. Per l'edizione dell'anno 2009 possono partecipare alla prima edizione del concorso quanti abbiano discusso la propria tesi di laurea nel periodo compreso tra il 30 aprile 2007 e il 30 aprile 2009.

Il laureato che presenta la propria tesi per la sezione triennale e che verrà premiato non potrà ripresentarsi per la sezione delle lauree specialistiche/magistrali.

#### Articolo 3

La domanda di partecipazione al concorso dovrà pervenire, entro e non oltre le ore 12.00 del 20 maggio 2009, alla Segreteria dell'Ordine degli Ingegneri, via della Scala n° 91 Firenze, direttamente o mediante servizio postale (raccomandata a.r., in tal caso farà fede il timbro postale). Il bando del concorso può essere scaricato dal sito dell'Ordine Ingegneri di Firenze: [www.ordineingegneri.fi.it](http://www.ordineingegneri.fi.it)

#### Articolo 4

1. Nella domanda di partecipazione il candidato dovrà dichiarare sotto la propria responsabilità, pena l'esclusione dal concorso:
  - a) il cognome ed il nome;
  - b) la data ed il luogo di nascita;
  - c) il codice fiscale;
  - d) la residenza, il recapito telefonico e l'indirizzo di posta elettronica;
  - e) l'università dove si è conseguita la laurea e la data dell'esame di laurea;
  - f) il titolo della tesi di laurea;
  - g) il cognome e il nome del Relatore della tesi di laurea;
  - h) se si tratta di laurea triennale o specialistica/magistrale;
  - i) il settore dell'Ingegneria (Civile e Ambientale/Edile; Industriale; dell'Informazione) per il quale si partecipa.
2. Unitamente alla domanda, pena l'esclusione, il candidato deve presentare:
  - a) la copia del certificato di laurea (in formato pdf o jpg) o autocertificazione;
  - b) una presentazione della tesi di laurea, in formato doc oppure pdf, di non più di 5000 parole, formulata secondo lo schema seguente:
    - autore
    - titolo
    - relatore

- inquadramento del tema trattato e del lavoro svolto
  - grado di innovazione dei risultati ottenuti
  - possibile impatto applicativo dei risultati ottenuti
  - rilevanza scientifica dei risultati ottenuti ed eventuali pubblicazioni
- c) un poster in formato A2 che illustri i principali contenuti della tesi;
  - d) una lettera di presentazione del/dei Relatore/i;
  - e) l'autorizzazione a utilizzare i dati ed i documenti forniti ai fini della partecipazione al concorso, nonché alla divulgazione delle tesi premiate, con i mezzi e nei modi ritenuti più opportuni dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze.

#### Articolo 5

1. Per ciascun settore sarà istituita una Commissione giudicatrice, nominata dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze, e costituita da n. 2 ingegneri iscritti all'Ordine degli Ingegneri di Firenze, esperti nelle specifiche materie del concorso e da n. 1 docente universitario, esperto nelle specifiche materie del concorso, indicato dal Preside della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, che non risulti relatore di tesi di candidati partecipanti al concorso. Per ciascuna Commissione formata il Consiglio nominerà un Presidente. La Segreteria della Commissione è curata dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze.
2. La Commissione, a suo giudizio insindacabile, dopo aver valutato le domande regolarmente pervenute, selezionerà al massimo cinque candidati finalisti per ciascuna categoria, secondo i criteri seguenti:
  - impatto applicativo dei risultati ottenuti;
  - rilevanza scientifica ed eventuali pubblicazioni;
  - grado di innovazione dei risultati ottenuti;
  - chiarezza espositiva.

Ai candidati finalisti sarà richiesto l'invio nei formati pdf e cartaceo dell'intera tesi di laurea.

3. La Commissione esaminerà le tesi di laurea presentate e, a suo insindacabile giudizio, nominerà i vincitori del concorso. La Commissione si riserva inoltre di segnalare le tesi giudicate meritevoli di una menzione speciale.
4. La Commissione si riserva di non assegnare i premi se, a suo esclusivo giudizio, non venga raggiunto da nessuna delle proposte presentate un livello qualitativo adeguato.
5. In caso che venga stabilito un ex aequo fra le tesi premiate l'importo del premio verrà suddiviso fra i candidati valutati ex aequo.

#### Articolo 6

1. I vincitori del concorso riceveranno comunicazione scritta del conferimento del premio a mezzo lettera raccomandata.
2. La consegna dei premi avverrà durante una cerimonia di premiazione in data successiva alla fase di espletamento delle attività concorsuali.
3. I poster presentati dai concorrenti verranno esposti durante la cerimonia di premiazione.

# analisi per la copertura di un auditorium: struttura e prestazioni termofisiche e acustiche

Beatrice Giachi

1<sup>a</sup> classificata ex-aequo

## Relatori

Prof. Ing. C. Borri

Prof. Arch. C. Balocco

Dott. Ing. L. Salvatori

Prof. Ing. M. P. Lauriola

Prof. Arch. E. Guglielmi

## Inquadramento del tema trattato e del lavoro svolto

Il presente lavoro è nato dalla volontà di concludere il percorso universitario di studi attraverso un'esperienza progettuale a carattere pluridisciplinare in grado di rivolgersi ad alcuni degli innumerevoli aspetti a cui una progettazione tecnica completa dovrebbe far fronte: la valutazione di aspetti architettonici, l'interpretazione del comportamento strutturale, la progettazione costruttiva, e infine, la valutazione acustica, illuminotecnica e termofisica di elementi e componenti inseriti nel corso delle precedenti fasi.

In particolare, l'idea di tale lavoro è nata in fase architettonica, con la scelta di caratterizzare l'auditorium all'interno del progetto per la valorizzazione turistica dell'isola di Sviyazhsk sul Volga (Kazan, Russia), con una copertura propria, di grande luce, caratterizzata da una forma toroidale. Contemporaneamente, la volontà di accostarsi a un utilizzo di materiali locali (quali sicuramente latifoglie e conifere per le regioni nordiche del Tartarstan) ha condotto all'idea di una progettazione in legno che, sulla base dei pregevoli esempi architettonici di coperture a guscio realizzate con questa tecnologia, è stato impiegato nella sua forma lamellare, al fine di conseguire la realizzazione di un grigliato a doppia curvatura costituito da maglie romboidali.



Fig. 1 - Il progetto architettonico del terminal per la recezione turistica nell'isola di Sviyazhsk (Kazan, Russia). Livello piano primo.

ci troviamo a circa 25 km da Kazan, importante città fondata all'inizio del XV secolo; quale capitale del Kanato dell'Orda d'Oro, venne conquistata nel 1552 dalle truppe russe di Ivan il Terribile, che la incorporò a Mosca, trasformandola in caposaldo difensivo, oggi dichiarato Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO



Fig. 2 - Tavola 1:  
Inquadramento generale  
dell'oggetto di studio

Per quello che riguarda i dimensionamenti e le verifiche di legge, occorre precisare che in tale sede è stato preliminarmente scelto di riferire l'edificio oggetto di studio a un contesto climatico e ambientale proprio delle nostre latitudini, dal momento che l'effettiva posizione geografica occupata è stata considerata, ai fini del presente lavoro, non determinante, anche in relazione al fatto che, dell'intero terminal progettato, in fase di tesi è stata studiata unicamente la porzione relativa all'auditorium e al foyer di ingresso, entrambi al di sotto della copertura. Per quanto riguarda carichi accidentali, termici, climatici e radiativi, è stato immaginato di posizionare l'edificio nella città di Treviso (lat. 45°40' N), dal momento che sembrava in grado di fornire una situazione ambientale caratteristica sufficientemente simile, in scala nazionale, a quella di reale destinazione. Per quello che riguarda la copertura, dalla sua modellazione alla sua verifica, sono state prese in considerazione unicamente le sollecitazioni prodotte da carichi verticali.

Il lavoro è stato organizzato in tre sessioni: la prima, dedicata alla progettazione architettonica del complesso ospitante l'auditorium; la seconda, articolata in due parti, che tratta la struttura costruttiva della copertura toroidale (inizialmente viene studiata la sola copertura, ipotizzata vincolata a un supporto infinitamente rigido, nella seconda parte viene rimossa tale ipotesi e si va a valutare la rigidità effettiva degli elementi su cui la struttura poggia, in relazione soprattutto ai meccanismi deformativi che una loro instabilizzazione comporta); la terza parte è invece dedicata agli ambienti che si trovano al di sotto della copertura studiata, in relazione ai quali è stata

compiuta un'analisi di tipo qualitativo nei confronti dell'acustica della sala e una specifica valutazione del grado di illuminazione naturale raggiunto all'interno dell'atrio attraverso la filtrazione della radiazione solare. Questa, cambiando angolo di incidenza alle varie ore della giornata, determina una variazione del grado di trasparenza del vetro che si riflette nella luminanza dell'ambiente interno. Infine, sempre nella terza sessione, vengono prese in considerazione le verifiche in ambito acustico e termoigrometrico per le partizioni interne ed esterne progettate nelle precedenti sessioni, immaginate a contatto con le condizioni climatiche esterne dell'ambiente prescelto (Treviso, lat. 45°40' 0" N<sup>1</sup>). Riassumendo, quindi, il lavoro si caratterizza in tre sessioni:

1. *il progetto architettonico del terminal per la ricezione turistica.*
2. *la copertura dell'auditorium:*
  - i modelli computazionali per la copertura;
  - la rigidità della sottostruttura e il progetto degli elementi costruttivi.
3. *verifiche termofisiche e acustiche degli ambienti interni:*
  - valutazioni acustiche per la sala;
  - analisi dell'illuminazione naturale del foyer;
  - verifiche di legge in ambito acustico e termoigrometrico.



Fig. 3 - L'oggetto di studio:  
la copertura toroidale realizzata  
con un graticcio in legno lamellare  
– di cui viene analizzata la struttura –;  
l'auditorium – di cui viene studiata  
l'acustica –; l'atrio di accesso – di cui  
viene studiata l'illuminazione naturale  
che filtra dalle grandi vetrate di cui  
il prospetto frontale dispone

## Sessione I: il progetto architettonico

L'oggetto di studio si colloca all'interno di un progetto nato dalla collaborazione internazionale tra docenti e dottorandi del Corso di Laurea in Ingegneria Edile di Firenze e dalla scuola di Architettura di Kazan, nell'ambito di un protocollo di intesa tra la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze e la Kazan State University of Architecture and Engineering, per il recupero architettonico dell'isola di Sviyazhsk sul Volga (Repubblica del Tartarstan, Russia). Ci troviamo a circa 25 km da Kazan, importante città fondata all'inizio del XV secolo; quale capitale del Kanato<sup>2</sup> dell'Orda d'Oro, venne conquistata nel 1552 dalle truppe russe di Ivan il Terribile<sup>3</sup>, che la incorporò a Mosca<sup>4</sup>, trasformandola in caposaldo difensivo, chiuso da cinta di mura lunghe due chilometri, e oggi dichiarato Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO. La piccola isoletta di Sviyazhsk fu utilizzata dall'esercito di Ivan come base della potente città musulmana e, per questa ragione, divenne sede di alcuni monasteri ortodossi. Questi monumenti, realizzati in legno e pietra, secondo le influenze dell'architettura nordica e bizantina, furono adibiti nel periodo staliniano ad accogliere deportati e guarnigioni che ne determinarono il quasi totale degrado. Con la Perestroika e il dissolvimento dell'Unione Sovietica, l'interesse per una tradizione religiosa mai sopita pose grande attenzione al restauro degli antichi monumenti in tutta la Russia, e in quest'ottica oggi la scuola di architettura della Kazan State University sta curando il rilievo e il restauro dei principali monumenti dell'isola di Sviyazhsk.

Il tema, sviluppato nell'ambito del corso di *Architettura e composizione architettonica III*, prevedeva un intervento per l'accesso e la valorizzazione dell'isola attraverso la progettazione di un terminal per la recezione turistica, che al suo interno doveva comprendere:

- area di sbarco e accettazione (300 mq);
- uffici (300 mq);
- spazi informativi ed espositivi (500 mq);
- biblioteca, archivio e centro studi (1000 mq);
- spazi commerciali (1000 mq);
- bar e ristorante (1000 mq);

- foresteria (20 stanze doppie, 500 mq);
- circolazione e servizi (500 mq).

Come zona d'intervento è stata scelta l'area ai piedi del terrapieno (+25,00 m), sul livello del fiume. In uno spazio di circa 32.000 mq, è stato previsto l'inserimento di:

1. banchina – molo;
2. profili snodati di attacco;
3. battello passeggeri;
4. traghetto automezzi;
5. stazione fluviale;
6. spiaggia attrezzata per i turisti;
7. traghetto merci;
8. deposito merci;
9. percorso merci;
10. percorso pedonale alla zona alta;
11. passerella coperta alla zona alta;
12. terminal turistico;
13. piazza degli incontri;
14. auditorium.

Sul retro è stata prevista una zona adibita all'inserimento di una piccola stazione per la funicolare, ulteriore mezzo per raggiungere la zona alta, il cui accesso avviene direttamente dal terminal, attraverso i corridoi coperti immediatamente adiacenti all'auditorium.

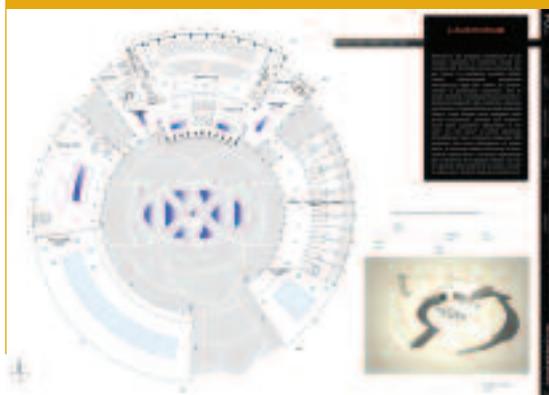
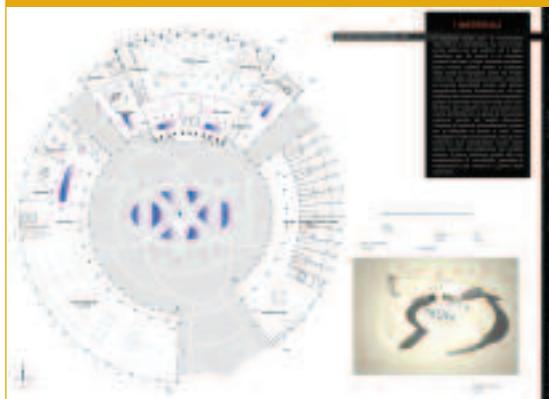
<sup>2</sup> Khan o Can è il titolo dei sovrani tartari e mongoli, oggi genericamente attribuito ai nobili nei paesi musulmani dell'Asia centrale.

<sup>3</sup> Ivan IV Vasilevic' il Terribile (1530-1584), zar di tutte le Russie, incoronato nel 1547, governò con mano ferrea migliorando le condizioni dei contadini; istituì le milizie permanenti degli strelizzi sostituendole a quelle potentissime dei boiari aristocratici che decimò sostituendo alla loro attività politica un comitato di salute pubblica; conquistò Astrakan; tentò di invadere la Lituania cercando di sottrarla ai polacchi e agli svedesi ma alla fine fu sconfitto.

<sup>4</sup> Kazan, situata sul basso corso del fiume Kazanka, immediatamente a monte dalla confluenza di questo con il Volga, a 720 chilometri da Mosca, divenne base importante per la colonizzazione russa e vide nei secoli XVIII e XIX l'insediarsi delle prime industrie. Di antica civiltà e principale centro culturale della regione del Volga, possiede una famosa università fondata nel 1804, ed è attualmente il capoluogo della Repubblica dei Tartari o Tartarstan.

Fig. 4 - Tavola 3: Il progetto architettonico: pianta piano terra dell'intero terminal

Fig. 5 - Tavola 4: Il progetto architettonico: pianta piano primo dell'intero terminal



Per quanto riguarda il complesso dedicato all'auditorium, la zona che costituisce l'oggetto di studio ha da sempre assunto, all'interno del progetto, un ruolo determinante, sia per posizione che per forma. Il ruolo centrale del complesso, infatti, risulta ulteriormente accentuato dall'apertura, su questo, degli altri edifici, in corrispondenza dell'accesso, mentre la particolare forma, con la copertura che lo rende elemento completamente autonomo e distaccato dagli altri, gli conferisce maggiore importanza. L'organizzazione degli ambienti interni prevede una suddivisione della superficie disponibile in tre parti, sui due piani: la prima destinata all'auditorium vero e proprio, che trova allocazione al primo piano, la seconda relativa alla zona di ristorazione al piano terra, e la terza, organizzata per un terzo su di un doppio volume e per la restante parte su entrambi i piani, con cui si risponde alle funzioni di accesso, svincolo e attesa per i fruitori delle precedenti zone. Le superfici, nel complesso, sono state distribuite nel seguente modo:

Tab. 1 - Aree funzionali: specifiche di progetto

Atrio piano terra	307.67	m <sup>2</sup>
Foyer piano primo	139.80	m <sup>2</sup>
Ristorazione piano terra	554.00	m <sup>2</sup>
Auditorium piano primo	554.00	m <sup>2</sup>

Il dimensionamento e la progettazione dei caratteri distributivi dello spazio della sala sono stati eseguiti nel rispetto delle indicazioni e dei limiti di normativa riportati in bibliografia.

Fig. 6 - Tavola 5:  
Il progetto del complesso  
destinato all'auditorium



Fig. 7 - Sezione trasversale del complesso destinato all'auditorium

## Sessione II: la struttura della copertura

Come struttura portante della copertura si è scelto di progettare un graticcio di archi in legno lamellare: aspetto caratterizzante l'intero terminal per la ricezione turistica, infatti, sin dalle origini, era la volontà di impiegare, tanto nei rivestimenti che nelle strutture portanti, un materiale a elevata disponibilità locale come il legno: tale scelta trova la propria giustificazione non solo sulla base di motivazioni di tipo estetico, ma soprattutto in aspetti energetico-costruttivi di un complesso dall'elevato impatto ambientale: l'impiego di un materiale locale si traduce prima di tutto in un risparmio economico ed energetico nella voce cantieristica dei trasporti. Inoltre tale scelta è stata motivata da aspetti prettamente architettonici, finalizzati alla rievocazione della memoria storica dei luoghi attraverso l'impiego di un materiale estremamente comune alle latitudini di studio. Accanto a tali argomentazioni, trovano spazio principi di valenza puramente estetica, che vedono nel ben riuscito esempio dei padiglioni del Cento Fiera di Rimini (Architetti Marg und Partner, Hamburg), un ottimo compromesso per la realizzazione di un ordito spaziale privo di appoggi intermedi, con struttura portante a vista, in grado di assolvere alle specifiche richieste del progetto in esame. Tuttavia, la scelta morfologica di adottare come struttura portante un graticcio di archi, ha comportato una serie di inconvenienti progettuali che, sostanzialmente, possono essere riassunti nelle due seguenti tipologie di problematiche:

1. Si tratta di una *struttura estremamente spingente*, come nel caso di Rimini, dove sono stati predisposti:

Fig. 8 - Modello tridimensionale del graticcio di archi in legno lamellare della copertura toroidale del complesso dell'auditorium

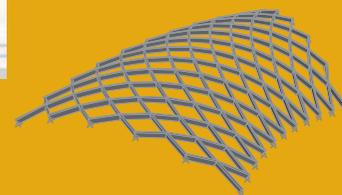
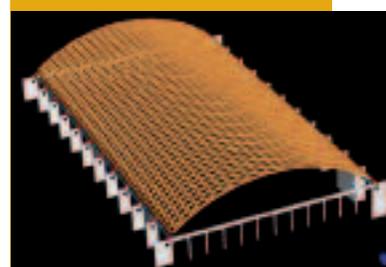


Fig. 9 - Vista dell'interno di uno dei padiglioni del Centro RiminiFiera, luce 72 m



Fig. 10 - Modello del padiglione fieristico realizzato col programma Straus 7



- Setti in elevazione 325x50 cm a interasse di 12 m;
- Travi di bordo in acciaio 50x125 cm;
- Reticolari in funi di acciaio a collegamento dei setti, finalizzati alla ripresa delle spinte esercitati dalla volta.

2. *L'abbandono del funzionamento radiale della struttura a graticcio* rende la copertura più complessa ed economicamente più impegnativa.

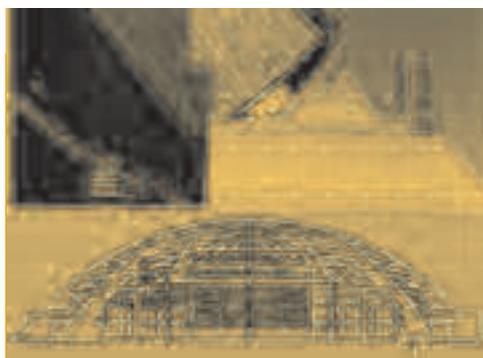


Fig. 13 e 14 - Struttura in legno lamellare del Palasport di Livorno con funzionamento basato su archi a tre cerniere; dettaglio costruttivo della cerniera di attacco a terra

Fig. 11 - Sezione longitudinale di uno dei padiglioni fieristici di Rimini dove si evidenzia la presenza di setti di elevazione collegati mediante la reticolare realizzata in funi di acciaio



Fig. 12 - Confronto tra funzionamento radiale e a graticcio per la copertura

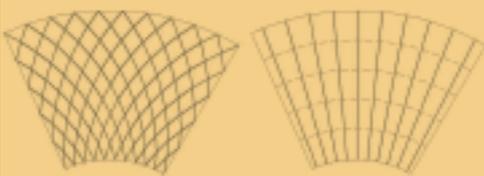


Fig. 17 - Genesi della copertura toroidale di progetto

Infatti i recenti sviluppi nell'ambito della tecnologia in lamellare hanno messo in evidenza come il sistema statico più vantaggioso per realizzare una copertura nervata sia costituito dall'impiego del sistema a tre cerniere (fig. 13 e 14).

Nel presente lavoro è stato comunque deciso di impiegare la struttura portante a graticcio, e nella seguente tabella vengono riassunte le motivazioni:

In particolare, in riferimento ai tempi di montaggio, si evidenzia come nel caso di Rimini si sia dovuto far ricorso all'impiego di una centina scorrevole, mentre a Livorno, sia stato sufficiente sollevare e posare in opera singolarmente ciascuna semiporzione di copertura.

L'immagine sopra riportata mostra la genesi della copertura toroidale dell'oggetto di studio ottenuta riportando le proiezioni radiali della pianta sulla superficie del toro, ovvero, attraverso la rivoluzione attorno all'asse del toro del settore di circonferenza determinato dall'arco generatore (luce 29.29 m e freccia 4 m). Il modello tridimensionale è stato ottenuto all'intersezione del toro con le superfici verticali contenenti le aste.

Per quanto riguarda l'analisi della struttura, il lavoro, come accennato, è stato diviso in due fasi, e nella prima è stato ipotizzato che la copertura poggiasse su di una sottostruttura infinitamente rigida, aspetto che ci ha permesso di considerare il modello vincolato a terra tramite cerniere di appoggio. In questo modo è stato possibile desumere il funzionamento a graticcio della struttura a par-



Fig. 15 e 16 - Confronto tra il sistema di montaggio per il graticcio dei padiglioni di Rimini e il sistema nervato del Palasport di Livorno

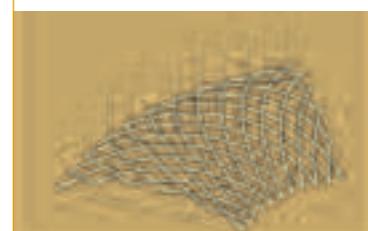
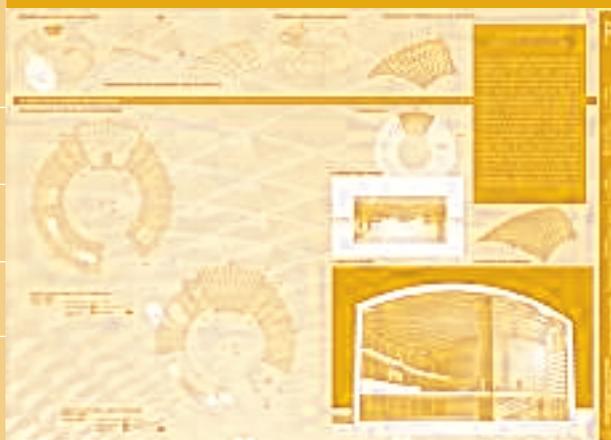


Fig. 18 - Costruzione tridimensionale del graticcio ottenuto dall'intersezione della porzione i toro con piani curvi contenenti le aste

Tab. 2 - Vantaggi e svantaggi del sistema statico con funzionamento a graticcio per la copertura in esame

Svantaggi struttura a graticcio	Vantaggi struttura a graticcio
Elevati costi dovuti a: - realizzazione unioni (rigidezza e fuoco); - tempi di montaggio.	Risultato estetico ottenuto
Costi aggiuntivi per il rispetto di requisiti di resistenza al fuoco	Estrema flessibilità a livello architettonico
Deformabilità maglia romboidale	Ogni elemento contribuisce alla capacità portante
	Struttura modulare facilmente trasportabile
	Geometria del graticcio scelta in modo da limitare numero dei nodi e lunghezza

Fig. 19 - Tavola 2: La struttura della copertura



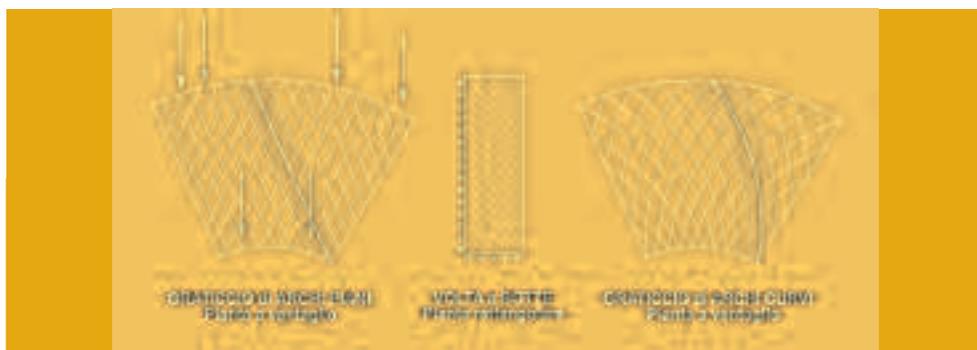


Fig. 21 - Determinazione della geometria del graticcio definitivo: la suddivisione in maglie romboidali della pianta a ventaglio, a causa della non perpendicolarità dei lati adiacenti, ha prodotto, nel caso del graticcio di archi piani, un'irregolarità geometrica in corrispondenza dei bordi, che ha reso inapplicabile tale geometria che invece si presenta come estremamente regolare nel caso di una pianta rettangolare come nel caso di Rimini. Per risolvere tale situazione la geometria definitiva è stata riconosciuta nel graticcio di archi curvi-III figura.

tire dall'analisi inizialmente dell'arco a due cerniere (dal momento che nei nodi del grigliato, tramite le giunzioni, viene ripristinata la continuità delle aste), il cui comportamento si è cercato di ritrovare nel graticcio costituito da archi piani (la cui morfologia è risultata tuttavia inapplicabile per il caso di studio a causa della formazione di discontinuità geometriche che si verificano in corrispondenza dei bordi); infine, dal confronto con le due precedenti situazioni, è stata analizzata la struttura definitiva del graticcio costituito da archi curvi (fig. 21).

Il comportamento dell'arco a due cerniere è stato studiato attraverso un modello analitico e uno numerico, dalla cui risoluzione è stato possibile pervenire a un predimensionamento delle aste che andranno a costituire i graticci (fig. 22).

Dall'analisi dei modelli relativi ai due graticci (fig. 23), emerge come la prevalenza degli sforzi sia di natura assiale, a dimostrazione di un sostanziale funzionamento ad arco per entrambi i casi studiati; dalla tabella riportata in figura 23, si evince come il graticcio di archi curvi sia caratterizzato effettivamente da un aggravio di sollecitazioni rispetto al graticcio di archi piani, il quale tuttavia, come evidenziato dai riquadri, presenta considerevoli picchi negli sforzi, legati al fatto

che la struttura risente dell'irregolarità geometrica ai bordi (dove, nei casi di estrema adiacenza di vincoli cerniera, si viene a creare un nodo molto simile a un incastro); nel complesso dunque, a fronte di una migliore uniformità delle sollecitazioni, e di una maggiore facilità costruttiva, l'aggravio negli sforzi registrato nel modello relativo al graticcio di archi curvi (maggiore, come atteso, nei confronti di momento flettente, torcente e nei confronti della rigidezza della struttura) è stato considerato accettabile.

Infine, dal momento che la struttura risulta costituita da aste sostanzialmente snelle rispetto alla luce (dimensioni sezione: 18x70 cm) si è resa indispensabile un'analisi relativa alla sua instabilità. Dal valore elevato dei moltiplicatori di carico ( $\lambda_1=15.87$ ,  $\lambda_2=16.84...$ ) relativi alle prime quattro forme critiche, si evince come la copertura possa essere considerata, con buona approssimazione, al riparo da tali fenomeni (fig. 24); tuttavia, a causa della presenza di forme di instabilità locali, per descrivere con maggior precisione il meccanismo critico, si è richiesto un infittimento della discretizzazione del modello. Andando quindi a suddividere ogni singolo elemento asta prima in quattro e successivamente in otto elementi, si ottiene un'effettiva diminuzione nei valori dei moltiplicatori di carico che, nel complesso, risultano comunque ancora sufficientemente elevati, a conferma del fatto che, per le sezioni adottate, la struttura può essere considerata sufficientemente lontana dall'instaurarsi di meccanismi instabili (grazie infatti a un inspessimento delle sezioni delle aste in

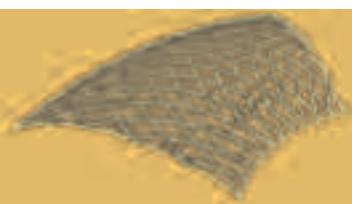


Fig. 20 - Modello relativo alla prima fase

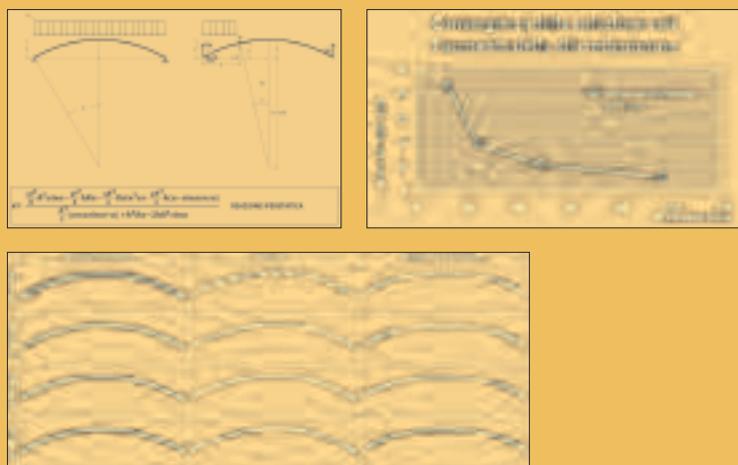


Fig. 22 - Analisi del modello dell'arco a due cerniere



Fig. 23 - Analisi dei modelli dei due graticci

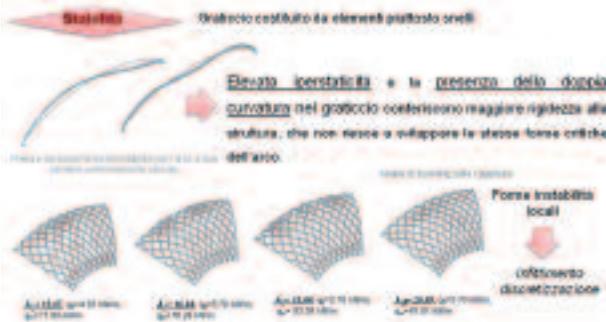


Fig. 24 - Analisi di buckling per la copertura

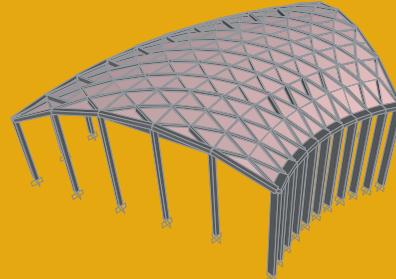


Fig. 25 - Modello della copertura sostenuta dal sistema di travi e pilastri

<sup>5</sup> La scelta strutturale di uno schema a guscio ha posto il problema di come realizzarla, dal momento che il ripristino della completa continuità nei nodi di incrocio delle aste in legno lamellare del graticcio non risulta banale da realizzare: proprio per rispondere a questo tipo di problematica i giunti incollati trovano la maggior parte dei loro impieghi. Il legno infatti presenta caratteristiche diverse in direzione parallela e perpendicolare alla fibrazione: in particolare il modulo elastico in direzione longitudinale risulta quaranta volte maggiore di quello trasversale, e questo comporta l'impossibilità pratica di realizzare con i giunti tradizionali i sistemi grigliati.

lamellare, richiesto dal rispetto delle verifiche nei confronti del fuoco, è stato possibile raggiungere valori dei moltiplicatori di carico circa tripli rispetto alla situazione in cui tali requisiti non venivano rispettati). Nella seconda fase è stata modellata la presenza di travi e pilastri, al fine di pervenire alla valutazione dell'effettiva rigidità della sottostruttura su cui la copertura poggia. Dall'analisi della nuova deformata per il secondo modello, è emerso come il comportamento deformativo della struttura, completamente nuovo rispetto a quello identificato nella precedente fase, scaturisca dalla sovrapposizione di due differenti meccanismi:

1. allungamento delle maglie romboidali compresse;
2. deformazione laterale dei pilastri.

della struttura e, ancora una volta, grazie alla rigidità degli elementi inseriti, i risultati ottenuti sono stati considerati ampiamente soddisfacenti.

L'ultima indicazione si riferisce alla scelta della realizzazione delle unioni tra le aste del graticcio: nei vari modelli studiati è stato sempre fatto riferimento alla presenza di nodi rigidi, condizione per altro, non particolarmente semplice da realizzare mediante strutture in legno<sup>5</sup>. Risultando improponibile il ricorso al sistema tecnologico impiegato per i padiglioni di Rimini, si è scelto di realizzare le giunzioni di intersezione del grigliato mediante la tecnica dei giunti incollati.

Fig. 26 - Nuova deformata della struttura relativa al modello con travi e pilastri

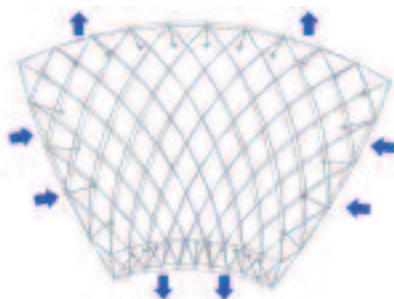
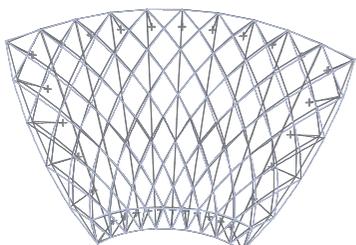


Fig. 28 - Tiranti in direzione longitudinale a ripresa della deformazione

Fig. 27 - Catene di collegamento tra i pilastri in direzione trasversale a ripresa della spinta



Per ovviare a tale situazione, in fase progettuale, si è agito nel seguente modo:

1. inserimento di catene di collegamento tra i pilastri in direzione trasversale a ripresa della spinta (fig. 27);
2. inserimento di tiranti tra i rombi in direzione longitudinale a ripresa della deformazione (fig. 28)

Anche nei confronti del secondo modello è stata eseguita l'analisi relativa all'instabilità

Tab. 3 - Risultati ottenuti in seguito ad un inaffinamento della discretizzazione degli elementi asta del modello

Moltiplicatori di carico critico su graticcio 200 elementi		Moltiplicatori di carico critico su graticcio 800 elementi		Moltiplicatori di carico critico su graticcio 1600 elementi	
$\lambda_1$	15.87	$\lambda_1$	13.18	$\lambda_1$	12.23
$\lambda_2$	16.84	$\lambda_2$	14.54	$\lambda_2$	12.83
$\lambda_3$	18.40	$\lambda_3$	15.66	$\lambda_3$	13.85
$\lambda_4$	20.00	$\lambda_4$	16.71	$\lambda_4$	14.78
$\lambda_5$	20.09	$\lambda_5$	17.87	$\lambda_5$	15.85
$\lambda_6$	21.80	$\lambda_6$	18.75	$\lambda_6$	16.65
Prima forma instabilità globale: V MODO		Prima forma instabilità globale: III MODO		Prima forma instabilità globale: IV MODO	

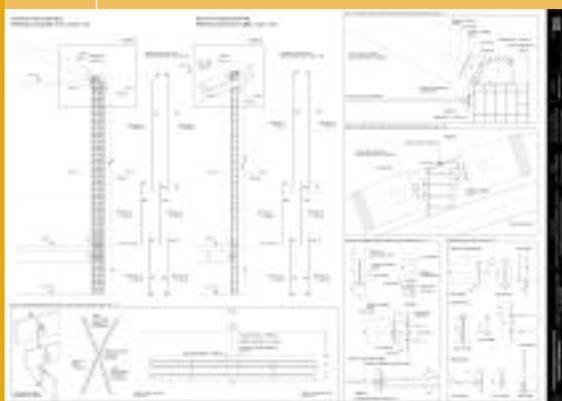
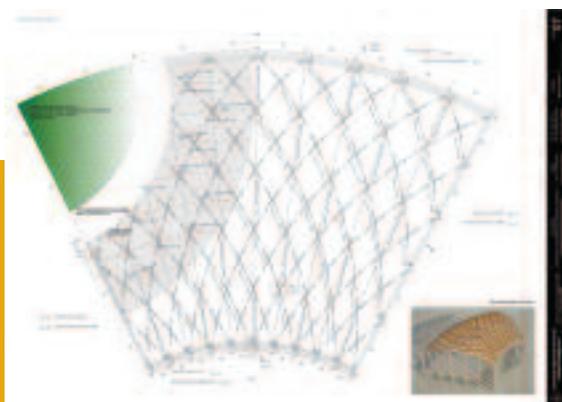


Fig. 31 e 32 - Tavole 7 e 8: Sfogliato e particolari costruttivi della copertura: pilastri in CA con esploso delle armature, dettaglio sul giunto incollato, attacchi delle aste di copertura in lamellare con le travi di bordo in CA, attacco delle catene di acciaio ai pilastri in CA

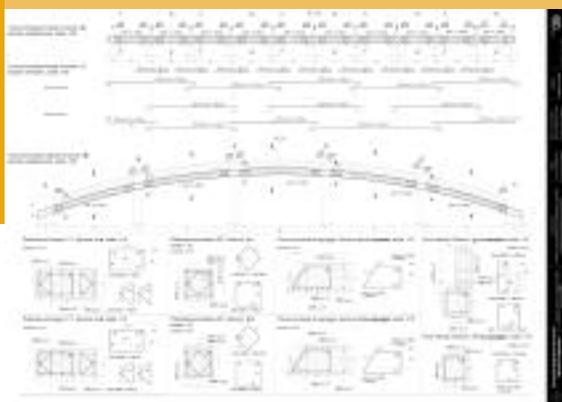


Fig. 33 - Tavola 9: Particolari costruttivi della copertura - le due tipologie di travi di bordo in CA a sostegno della copertura

## Sessione III: valutazioni termofisiche e acustiche degli ambienti

Per quello che riguarda il comportamento acustico dell'auditorium, ci si limita a indicare come il comportamento ideale di una sala da spettacolo richieda il soddisfacimento della condizione di omogeneità (1. *la media temporale della densità di energia in tutti i punti della sala deve risultare costante*) e delle due condizioni di isotropia (2. *la direzione di arrivo dei raggi sonori in ciascun punto deve risultare ugualmente probabile*; 3. *la media temporale del flusso di energia in ciascun punto deve essere costante*). In fase progettuale, tali requisiti sono stati perseguiti attraverso l'utilizzo di materiali adeguati e la scelta di una geometria opportuna. È stato deciso di indirizzare le scelte nei confronti di un auditorium per il parlato: tale assunzione ha permesso di semplificare notevolmente il problema, dal momento che ha consentito di caratterizzare l'acustica della sala esclusivamente mediante il tempo di riverbero dell'ambiente, prescindendo da ulteriori specifici indici, determinabili attraverso simulazione e misurazioni su campo, che, altrimenti, per una diversa destinazione dell'ambiente, si sarebbero resi indispensabili. Le specifiche acustiche perseguite nel progetto hanno dunque riguardato i seguenti aspetti:

Tab. 4 - Differenza di requisiti acustici a seconda della destinazione della sala

Tempi di riverbero ottimali	
Teatro	1 s
Opera	1.3 s
Musica sinfonica	2 s

Fig. 30 - Sistema proposto: Lavorazione a mezzo legno con inserimento di barre passanti per il ripristino della continuità delle sezioni intagliate: elementi di acciaio e legno saturati tra loro mediante adesivi strutturali epossidici. Unione caratterizzata da un migliore sfruttamento della sezione in legno e da una maggiore semplicità realizzativa.

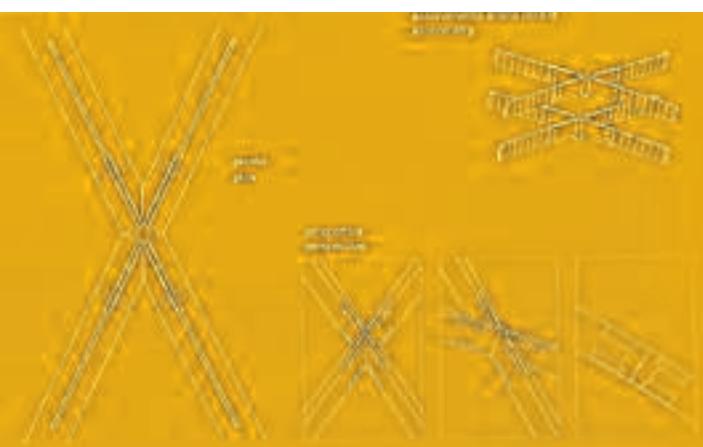
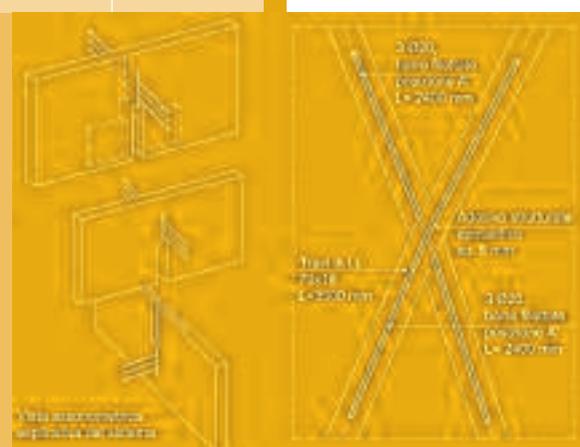


Fig. 29 - Sistema di giunzione impiegato a Rimini: giunto conformato con 4 piastre di acciaio rese solidali alle teste delle travi lamellari tramite perni; elemento centrale ad "x" unito alle piastre mediante bulloni. Unione semirigida caratterizzata da un largo impiego dell'acciaio.



- rispetto del requisito del Tempo di riverbero entro 1 secondo (il tempo ottimale, in funzione delle dimensioni dell'ambiente, è stato calcolato nel valore di 0.9 secondi);
- buona visibilità (ottenuta grazie all'inclinazione della platea);
- eliminazione di echi (valutata attraverso verifiche grafiche);
- riduzione del rumore di fondo (ottenuta mediante appositi rivestimenti delle pareti di fondo);
- buona intelligibilità (caratteristica determinante per un auditorium destinato al parlato).

Fig. 34 - Geometria della sala



Per quanto concerne la geometria della pianta, la scelta della forma a ventaglio si è dimostrata particolarmente adatta per il caso di studio, grazie soprattutto alla limitata profondità della sala (fig. 34): la sua adozione infatti ha consentito il raggiungimento di un elevato livello di visibilità (requisito fondamentale per una buona acustica) e la formazione di angoli di incidenza delle onde riflesse maggiormente elevati.

Grazie alla scelta e alla combinazione dei materiali di rivestimento dell'ambiente, in relazione al tempo ottimale di 0.9 secondi, è stato possibile ottenere i seguenti tempi di riverbero per la sala (calcolati secondo le formulazioni di Eyring e di Sabine - la seconda meno attendibile - migliori, come atteso, per l'auditorium parzialmente vuoto):

Tab. 5 - Tempi di riverbero ottenuti per la sala con la formulazione di Eyring ( $T_{60,ott} = 0.9$  s)

Posti vuoti	0.84 s
Posti tutti occupati	0.78 s
2/3 posti occupati	0.89 s

Fig. 35 - Andamento del tempo di riverbero della sala in funzione della frequenza



*da un punto di vista illuminotecnico la sala è caratterizzata da un'illuminazione esclusivamente artificiale, caratterizzata dalla presenza di lampade fluorescenti compatte di base, e faretti tipo led per l'illuminazione di accento*

Al fine di mantenere contenute le dimensioni in profondità della sala, pur garantendo una sufficiente capienza (trecento persone), è stata predisposta una balconata; ai fini acustici la sua presenza ha comportato la creazione di due tipi di fenomeni:

1. le persone al di sotto non ricevono il suono riflesso dal soffitto;
2. il suono diretto risulta disturbato dall'elevata profondità.

Per questo motivo, al di sotto della galleria, sono stati disposti dei pannelli riflettenti.



Fig. 36 - Progettazione acustica della sala

Da un punto di vista illuminotecnico la sala è caratterizzata da un'illuminazione esclusivamente artificiale, caratterizzata dalla presenza di lampade fluorescenti compatte di base, e faretti tipo led per l'illuminazione di accento. Nei confronti della luce naturale è stata condotta un'analisi nei riguardi dell'atrio dove, grazie alla presenza delle ampie vetrate esposte completamente a sud (superficie 125 metri quadri), si ha la filtrazione di grandi quantitativi di radiazione solare; per garantire il comfort ambientale della zona, sono state predisposte in facciata delle lamelle frangisole in legno a disposizione orizzontale, in grado

di controllare quei fenomeni indesiderati (quali abbagliamento e il raggiungimento di un'elevata temperatura) grazie a un meccanismo che prevede la rifrazione e diffusione della radiazione incidente.

radiative esterne. Tale analisi è stata resa possibile grazie all'impiego di un software, messo a punto presso il dipartimento di Energetica Sergio Stecco dell'Università di Firenze che, utilizzando i dati orari sperimentali desunti dall'elaborazione dell'Anno Tipo di ogni località, calcola la posizione del sole rispetto alla facciata studiata, diversamente orientata e inclinata. La facciata può essere considerata sia opaca che trasparente e, in questo secondo caso, il programma permette di determinare la trasparenza del vetro tenendo conto sia dell'angolo di incidenza, calcolato con cadenza oraria in funzione della posizione del sole (altezza e azimuth), che delle riflessioni e rifrazioni multiple tra gli strati (i due spessori di vetro). Grazie al suo utilizzo è stato dunque possibile risalire alle tre componenti di radiazione solare incidenti la superficie vetrata e quindi a un criterio di controllo sulla radiazione solare passante.

Fig. 37 - Carta del sole per la latitudine di Kazan (56°)

*per gli aspetti acustici e illuminotecnici degli ambienti al di sotto della copertura studiata vengono forniti dei criteri particolarmente innovativi nei riguardi della valutazione dell'illuminazione naturale*

Per pervenire, come nel caso dell'acustica, a una valutazione di massima della distribuzione della luce all'interno dell'ambiente è stato fatto riferimento a un criterio relativo, ovvero al metodo di calcolo del Fattore medio di luce diurna (UNI 10840/2007). Mantenendo costanti i vari parametri che caratterizzano il valore di tale fattore (quali superficie dell'ambiente, superficie vetrata, coefficienti di riflessione per soffitti, pareti e pavimento e coefficiente di trasmissione del vetro, di tipo doppio, selettivo, basso emissivo, desunto dal catalogo) è stata valutata la variazione del coefficiente di trasmissione del vetro in funzione delle caratteristiche

Fig. 38 - Render dell'atrio con indicazione qualitativa dell'effetto illuminante all'interno



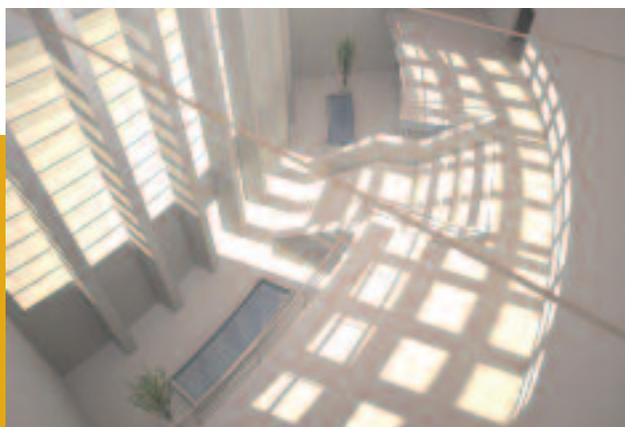


Fig. 39 - Filtrazione della radiazione solare attraverso le vetrate del foyer e sua diffrazione per mezzo delle lamelle frangisole

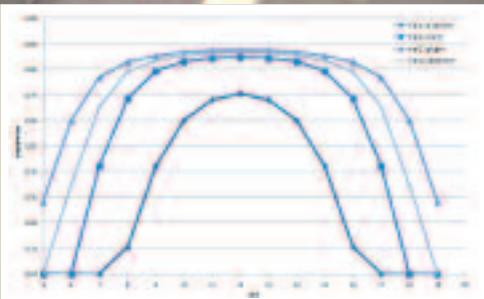


Fig. 40 - Variazione oraria della trasparenza del vetro (t) per i quattro giorni tipo stagionali di riferimento

*il progetto architettonico è stato valutato positivamente nei confronti dell'obiettivo progettuale inserito nel tema di recupero dell'isola*

Per valutare la presenza dei sistemi oscuranti esterni è stato stimato il valore di un coefficiente riduttivo per le componenti della radiazione solare totale, funzione dell'angolo di incidenza delle lamelle. Con queste premesse, è stato possibile andare a calcolare il valore del Fattore medio di luce diurna, oltre che per il valore standard di trasparenza del vetro impiegato, desunto dal catalogo, per tutti i valori orari del coefficiente di trasparenza dell'anno tipo assunti dal vetro in funzione delle varie angolazioni della radiazione incidente, fornendo in questo modo un criterio oggettivo di valutazione della distribuzione oraria dei valori di illuminamento che si ritrovano all'interno dell'ambiente. Dal grafico di seguito riportato emerge come effettivamente i valori di illuminamento medio alle varie stagioni risultino effettivamente elevati (il valore di picco per le ore di punta del periodo estivo raggiungono il 63%).

L'ultima parte ha riguardato la valutazione del rispetto nei confronti delle verifiche di legge in ambito acustico e termoigrometrico: è stato verificato il potere fono isolante delle partizioni interne e della copertura, e il rispetto dei requisiti di trasmittanza termica e formazione di condensa nei confronti degli elementi a contatto con l'esterno; grazie alle scelte progettuali condotte nelle precedenti fasi, le verifiche risultano tutte ampiamente soddisfatte.

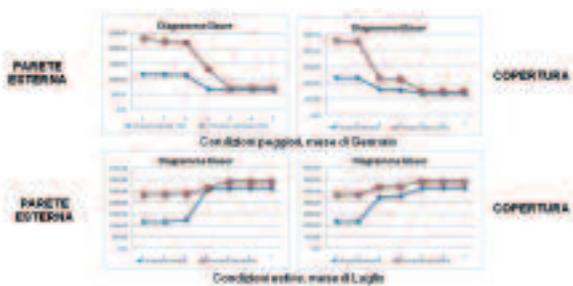


Fig. 43 - Sintesi dei risultati ottenuti nei confronti delle verifiche di legge

## Grado di innovazione dei risultati ottenuti

A partire dall'idea architettonica di una forma, attraverso la determinazione della sua genesi, la scelta della struttura portante e la sua definizione, dalla comprensione del comportamento strutturale al progetto dei dettagli costruttivi, si è pervenuti a un grado di progettazione esecutivo che ha permesso di fornire soluzioni tecnologiche e costruttive in grado di rispondere adeguatamente ai requisiti acustici e termoigrometrici previsti dalla legge e, contemporaneamente, ha condotto a valutazioni di massima nei confronti della destinazione d'uso dell'oggetto di studio, in grado di costituire un ottimo

Fig. 41 - Vista interna del foyer con scorcio di copertura in lamellare con tiranti in acciaio

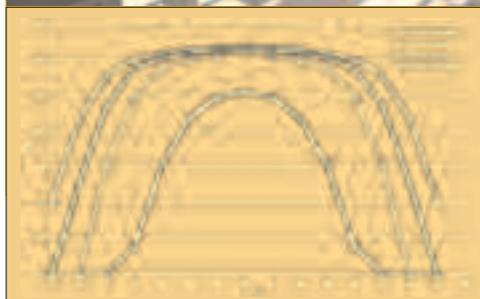
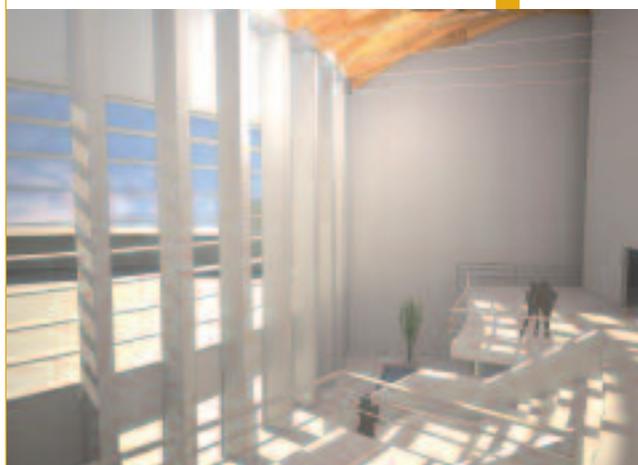


Fig. 42 - Variazione oraria dei valori calcolati per il Fattore medio di luce diurna (FLD) per i quattro giorni caratteristici dell'anno tipo

punto di partenza per una progettazione acustica e illuminotecnica specifica basata su simulazioni e misurazioni in campo. Tali risultati sono stati ottenuti nel completo rispetto degli obiettivi inizialmente prefissati, quali impiego del legno per le strutture portanti ai fini di limitare l'impatto ambientale e i costi energetici della costruzione, e ottenimento del massimo grado di collaborazione fra le parti chiamate in causa durante la realizzazione del progetto. Gli aspetti innovativi sono da identificarsi nella risposta progettuale fornita nei confronti del tema del recupero per l'isola, nel progetto della copertura toroidale realizzata mediante un graticcio a maglia romboidale di aste in legno lamellare, nella messa in evidenza dell'importanza della rigidità della sottostruttura per una copertura di tipo spingente come quella in esame, di come, nel caso del legno, il rispetto dei requisiti nei confronti del fuoco migliori sostanzialmente la stabilità della struttura, nelle risposte tecnologiche fornite per il soddisfacimento delle verifiche di legge in ambito termo fisico e acustico, e nell'indicazione di un metodo quantitativo e innovativo per la valutazione del grado di illuminazione naturale di un ambiente interno in funzione non soltanto dell'esposizione della superficie vetrata, ma anche della variazione oraria della trasparenza dell'elemento trasparente per i vari giorni dell'anno tipo per la località di riferimento.

### Possibile impatto applicativo

- Il progetto architettonico è stato valutato positivamente nei confronti dell'obiettivo progettuale inserito nel tema di recupero dell'isola (pubblicazione 1);
- La definizione della copertura toroidale ha prodotto risultati particolarmente interessanti nei confronti della genesi della struttura e delle applicazioni tecnologiche legate all'impiego del legno lamellare nel contesto di una copertura voltata risolta con una struttura a graticcio (pubblicazione 2);
- L'analisi computazionale dei modelli relativi alla copertura ha messo in evidenza come per strutture estremamente spingenti, come quella a doppia curvatura oggetto di studio, la rigidità della sottostruttura risulta indispensabile ai fini della cor-

retta interpretazione di meccanismi sollecitanti e deformativi che la interessano; le risposte tecnologiche e costruttive fornite per far fronte all'insorgere di tali fenomeni costituiscono un'importante innovazione in funzione soprattutto del grado di integrazione architettonica raggiunto;

- Per quello che concerne gli aspetti acustici e illuminotecnici degli ambienti al di sotto della copertura studiata vengono forniti dei criteri, particolarmente innovativi nei riguardi della valutazione dell'illuminazione naturale, in grado di preparare adeguatamente il livello preliminare di una progettazione tecnica specifica basata su una campagna di monitoraggio e un'adeguata simulazione degli ambienti, possibile unicamente attraverso l'utilizzo di specifici software dedicati.
- Infine, nei riguardi degli aspetti termogrometrici e acustici, vengono fornite risposte tecnologiche in grado di garantire il completo rispetto dei requisiti di legge.

### Rilevanza scientifica

Il presente lavoro di Tesi ha dato origine a due pubblicazioni:

1. *Per la parte relativa al progetto architettonico:*

Guglielmi E., Mattioli L., Taddei A., *Il recupero dell'isola di Sviyazhsk*, Polistampa, Firenze, 2008 - p. 19, Parte del progetto realizzato per il corso di Architettura e composizione architettonica III (A.A. 2006/07);

2. *Per la parte relativa alla modellazione della struttura e al progetto esecutivo della copertura in legno lamellare:*

[www.timberengineering.it/tesi/](http://www.timberengineering.it/tesi/) - Sintesi del lavoro di Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile discussa il 17 Aprile 2009 presso la Facoltà di Ingegneria di Firenze.

*infine, nei riguardi degli aspetti termogrometrici e acustici, vengono fornite risposte tecnologiche in grado di garantire il completo rispetto dei requisiti di legge*

Giuseppina Patalano

1<sup>a</sup> classificata ex-aequo

### Relatori:

Prof. M.C. Constantinou (University at Buffalo, NY, USA)

Prof. P. Spinelli (Università degli Studi di Firenze)

Ing. G. Terenzi (Università degli Studi di Firenze)

### Inquadramento del tema trattato e del lavoro svolto

#### Introduzione

Il lavoro di tesi, sviluppato in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Buffalo, NY, analizza le potenzialità di un particolare dispositivo d'isolamento alla base: il *Triple Friction Pendulum* (TFP). Tale dispositivo, classificabile come isolatore a scorrimento, è l'ultimo arrivato nella famiglia del *Friction Pendulum System* che annovera al suo interno il più conosciuto *Single Friction Pendulum* (SFP) e il *Double Friction Pendulum* (DFP).

# protezione sismica con isolamento alla base mediante Friction Pendulum System

Il nuovo dispositivo si differenzia dai precedenti per il suo comportamento definito adattativo, in quanto sia la rigidezza che lo smorzamento variano per valori di spostamento noti. Esso consente di progettare elementi con elevate rigidezze e basso smorzamento nel caso di sismi di contenuta intensità, riducendo così la risposta dei sistemi secondari ed aiutando il ricentraggio della struttura. Consente altresì di avere più ampi valori di smorzamento da calibrare al fine di ridurre il taglio alla base nel caso di azioni di progetto (DBE - *Design Base Earthquake*); ed un ancor più elevato smorzamento per contenere gli spostamenti entro limiti prefissati, nel caso di eventi con probabilità di accadimento del 2% in 50 anni (MCE - *Maximum Considered Earthquake*).

Scopo principale del lavoro di tesi è stato quello di valutare se, grazie al comportamento adattativo dei TFP, fosse possibile ottenere con essi prestazioni strutturali paragonabili a quelle ottenibili dal più diffuso, per quanto più costoso, sistema composto da DFP e smorzatori viscosi. A tal fine è stata condotta una serie di analisi numeriche in riferimento ad un edificio in acciaio di quattro piani in scala reale, caratterizzato da configurazioni e combinazioni di isolamento alla base differenti.

La calibrazione del modello computazionale adottato per il sistema d'isolamento è stata effettuata utilizzando dati sperimentali provenienti da prove di eccitazione sismica su tavola vibrante, condotte presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Buffalo (SEESL *Structural Engineering and Earthquake Simulation Laboratory*) nell'ottobre del 2007. Tali prove hanno riguardato una struttura in acciaio di sei piani, realizzata in scala 1:4 ed isolata alla base mediante TFP.

### 1. Caratteristiche del Single Friction Pendulum System (SFP) e del Double Friction Pendulum System (DFP)

Come peraltro ogni altro sistema d'isolamento, il SFP basa il suo principio di funzionamento sulla strategia d'incremento del periodo che in tal caso risponde alla legge di variazione propria di un pendolo rovescio:

$$T = 2\pi\sqrt{r/g} \quad (1)$$

ove si indichi con  $r$  il raggio di curvatura del pendolo stesso e  $g$  l'accelerazione di gravità (fig. 1). Dall'equazione (1) emerge come il periodo sia indipendente dall'entità della massa strutturale, non risentendo di eventuali variazioni di essa (Zyas et al. 1990, Skinner et al. 1993). Come reso evidente dallo schema in figura 1, quando l'azione sismica supera la forza d'attrito i dispositivi rispondono con piccole oscillazioni che si smorzano in relazione alle caratteristiche di attrito fra le superfici curve a contatto. Il moto dipende pertanto dalle proprietà di attrito del materiale di cui il dispositivo è costituito.

In figura 2 viene mostrata una vista in prospettiva, nonché un dettaglio in sezione di un SFP, da cui è possibile evidenziarne gli elementi costituenti. Esso è composto da due piatti, uno inferiore ed uno superiore, di cui uno con superficie di scorrimento semisferica; da un elemento interno semisferico che rende possibile lo scorrimento delle superfici e da un rivestimento esterno con duplice funzione, sia di contenimento dello spostamento laterale, sia di protezione degli elementi interni dagli agenti atmosferici e ambientali.



Fig. 1 - Principio di funzionamento del SFP

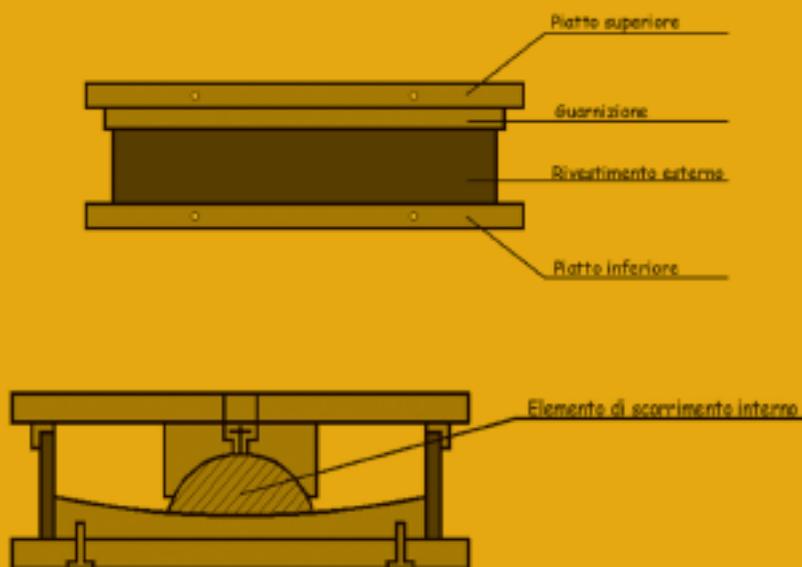


Fig. 2 - Prospetto e sezione di un SFP

scopo principale del lavoro di tesi: valutare, grazie al comportamento adattativo dei TFP, la possibilità di ottenere con essi prestazioni strutturali paragonabili a quelle ottenibili dal più diffuso, per quanto più costoso, sistema composto da DFP e smorzatori viscosi

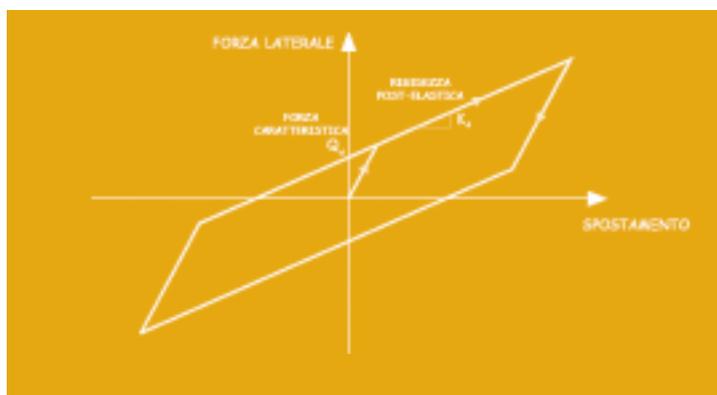


Fig. 3 - Ciclo d'isteresi di un SFP

In figura 3 viene mostrato un ciclo d'isteresi associabile ad un SFP.

La rigidità in fase post-elastica  $K_d$  dipende dal carico assiale  $W$  e dal raggio di curvatura effettivo  $R_c$  del piatto concavo:

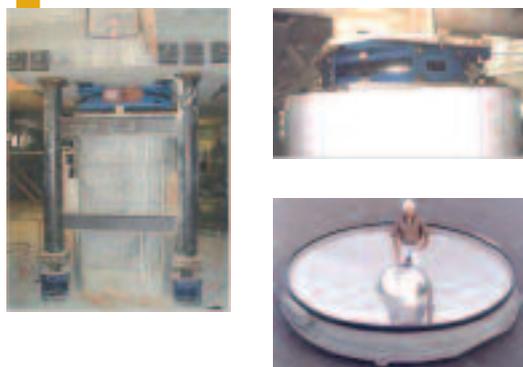
$$K_d = \frac{W}{R_c} \quad (2)$$

Si osserva come, nella valutazione del raggio di curvatura effettivo, vada considerato il raggio del dispositivo depurato della distanza dal punto medio dell'elemento interno semisferico alla superficie di scorrimento.

La diretta proporzionalità del parametro  $K_d$  al peso della struttura, influisce altresì sulla risposta strutturale tendendo a minimizzarne gli effetti torsionali, data la coincidenza dei baricentri di massa e rigidità.

In figura 4 viene mostrato un esempio applicativo d'installazione alla base dei dispositivi SFP da cui si evincono alcune problematiche concernenti il loro impiego, ovvero le notevoli dimensioni, nonché gli elevati costi di realizzazione e di posa in opera, che si aggiungono a quelle relative ai movimenti verticali, inevitabilmente associati agli spostamenti orizzontali, e l'affidabilità nel tempo dell'attrito tra le superfici di contatto.

Fig. 4 - Immagini fotografiche rappresentative di SFP in fase d'installazione



Il *Double Friction Pendulum* (DFP) (fig. 5) deriva dal SFP ed è costituito da due superfici concave in acciaio separate da un elemento semisferico articolato, rivestito con un materiale non metallico (Fenz e Constantinou 2006). Tale elemento è necessario per un'appropriata distribuzione delle pressioni sulle superfici di scorrimento e per bilanciare i movimenti relativi fra la superficie concava superiore ed inferiore. Il periodo è sempre determinato in relazione al raggio di curvatura della superficie concava ed è indipendente dalla massa della sovrastruttura. I dispositivi in commercio (Constantinou et al. 2007a) possono essere realizzati in modo da raggiungere spostamenti massimi di 1340 mm e da sostenere carichi verticali fino a 133440 KN. Il coefficiente di attrito può variare dal 3% al 20% realizzando fattori di smorzamento equivalente che vanno dal 10 al 50%.

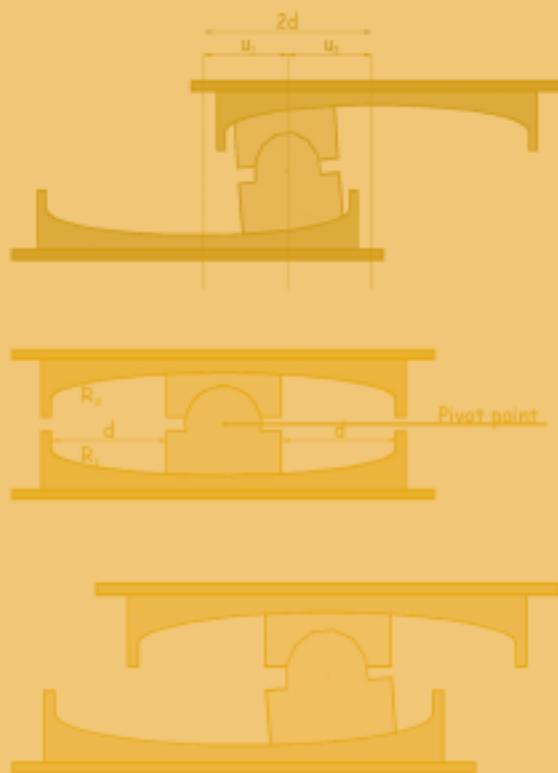


Fig. 5 - Rappresentazione geometrica e modalità di comportamento del DFP

Il comportamento ciclico che li caratterizza (Constantinou et al. 2007b) può essere analogo a quello di un SFP, nel caso in cui i raggi di curvatura delle due superfici ed i coefficienti di attrito siano uguali, e trasformarsi in un ciclo d'isteresi rigido-bilineare, al variare del raggio di curvatura e del coefficiente di attrito (fig. 6).

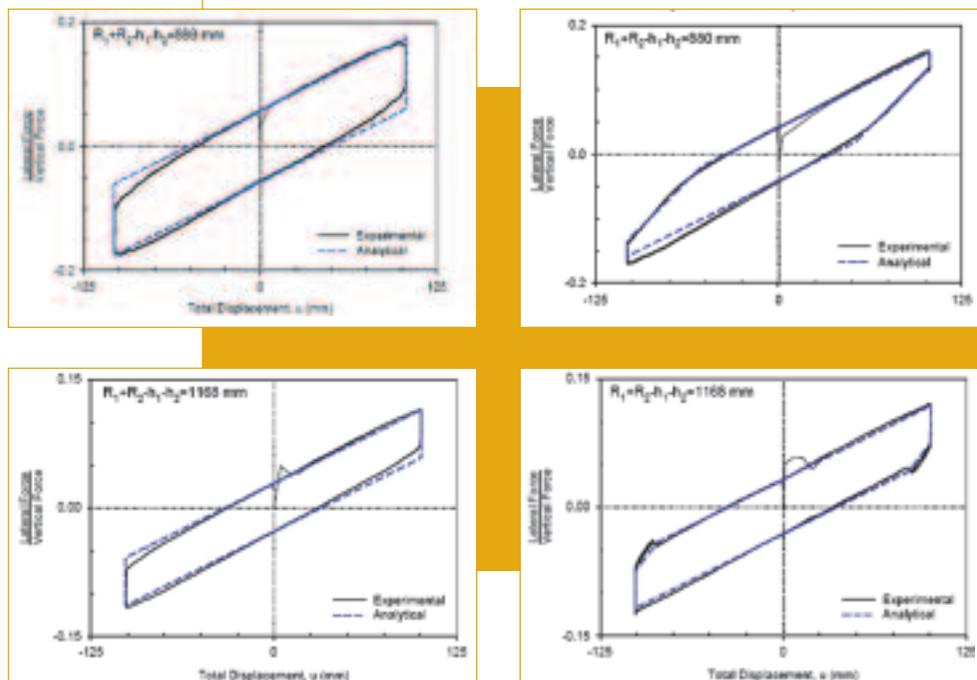


Fig. 6 - Diagramma forza-spostamento nei seguenti casi:  
DFP con  $R_1 = R_2$  e  $\mu_1 = \mu_2$  (a);  
DFP con  $R_1 = R_2$  e  $\mu_1 \neq \mu_2$  (b);  
DFP con  $R_1 \neq R_2$  e  $\mu_1 = \mu_2$  (c);  
DFP con  $R_1 \neq R_2$  e  $\mu_1 \neq \mu_2$  (d)  
(Constantinou et al. 2007b)

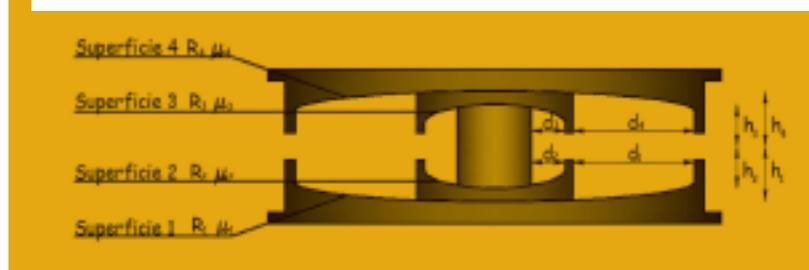
## 2. Caratteristiche del Triple Friction Pendulum System (TFP)

Come reso evidente dallo schema in figura 7, il *Triple Friction Pendulum* è caratterizzato da due superfici concave esterne in acciaio (superfici 1 e 4), al cui interno è frapposto un elemento articolato composto da due ulteriori superfici concave di minori dimensioni (superfici 2 e 3), separate da un corpo cilindrico con sezioni terminali a curvatura opposta (Fenz e Constantinou 2008a). Lo scorrimento viene generalmente favorito dal rivestimento dei piani di contatto, scelto in base alle esigenze progettuali relative alle forze di attivazione del moto.

Data la complessità di concezione del dispositivo, si possono generare fino a cinque regimi di scorrimento, la cui variazione è pertanto determinata dal coefficiente di attrito caratterizzante ciascuna superficie e dal relativo rapporto tra la capacità di spostamento ed il raggio di curvatura. In figura 8 viene fornita una schematizzazione dei movimenti consentiti secondo cinque regi-

*il Triple Friction Pendulum è caratterizzato da due superfici concave esterne in acciaio, al cui interno è frapposto un elemento articolato composto da due ulteriori superfici concave di minori dimensioni, separate da un corpo cilindrico con sezioni terminali a curvatura opposta*

Fig. 7 - Rappresentazione geometrica di sezione di un TFP



mi di scorrimento susseguenti (le superfici lungo le quali si verifica lo scorrimento). Nella stessa figura vengono inoltre proposti i relativi cicli d'isteresi, nonché le espressioni degli spostamenti di transizione. Il riferimento alle grandezze  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, d_1, d_4$  presenti nelle formulazioni è da ricercare nella figura 7, mentre  $R_{eff1}, R_{eff2}, R_{eff3}, R_{eff4}$  sono ottenibili come segue:

$$R_{effi} = R_i - h_i \quad (3)$$

ove si indichi con  $R_i$  il raggio di curvatura dell'i-esima superficie e con  $h_i$  la distanza fra la i-esima superficie ed il punto medio del corpo cilindrico.

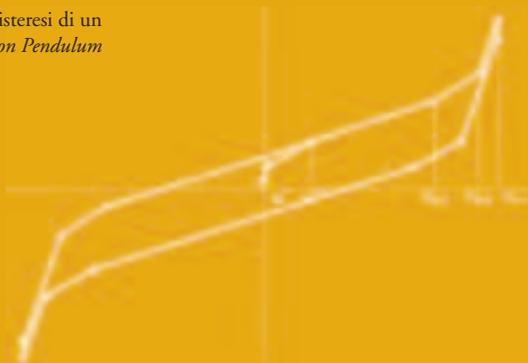
La figura 9 ripropone il ciclo proprio del regime V, ponendo meglio in luce i punti di transizione corrispondenti all'alternanza dei movimenti relativi fra le varie superfici ( $u^*, u^{**}, u_{dr1}, u_{dr4}$  e  $u_{MAX}$ ). Si osserva come la rigidità vari secondo leggi di proporzionalità inversa rispetto alla somma dei raggi di curvatura dei piani di scorrimento.

In codici di calcolo tipo il SAP2000NL (CSI 2007) i dispositivi SFP, DFP e TFP possono essere modellati assemblando differenzialmente singoli elementi a comportamento non lineare, denominati *NL-LINK*, presenti nella biblioteca del programma; in particolare, per un SFP può essere utilizzato un appoggio mono-direzionale ad attrito, definito *friction isolator*, per un DFP vengono invece generalmente impiegati due *friction isolator* in serie o, nel caso in cui le due superfici concave abbiano uguale coefficiente di attrito e uguale raggio, un unico *friction isolator* a cui si attribuisce un raggio effettivo di entità doppia. Non è possibile, invece, modellare un TFP per assemblaggio di tre *friction isolators* in serie, poiché tale schema non sarebbe in grado di cogliere i cambiamenti di rigidità e smorzamento che si verificano all'aumentare dello spostamento. Tali variazioni, legate alle differenti combinazioni di scorrimento delle superfici, richiedono pertanto un modello più complesso presentato in figura 10 (Fenz e Constantinou 2008b), in cui i *friction isolator* sono combinati con elementi tipo *gap*.

Fig. 8 - Regimi di scorrimento di un *Triple Friction Pendulum*

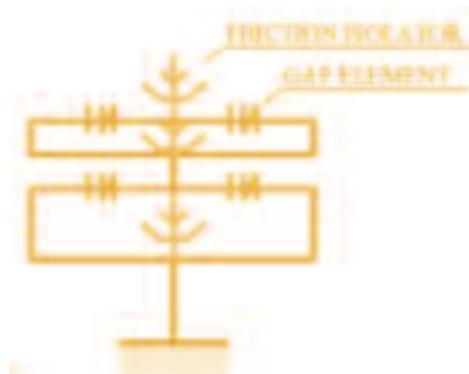
REGIME DI SCORRIMENTO	CICLO DI ISTERESI	SPOSTAMENTI SIGNIFICATIVI
		$u_{max} < u^*$ $u^* = (\mu_1 - \mu_2)R_{eff2} + (\mu_1 - \mu_2)R_{eff3}$
		$u^* < u_{max} < u^{**}$ $u^{**} = u^* + (\mu_4 - \mu_1)(R_{eff2} + R_{eff3})$
		$u^{**} < u_{max} < u_{dr1}$ $u_{dr1} = u^{**} + d_1(1 + \frac{R_{eff4}}{R_{eff1}}) - (\mu_4 - \mu_1)(R_{eff1} + R_{eff4})$
		$u_{dr1} < u_{max} < u_{dr4}$ $u_{dr4} = u_{dr1} + [(\frac{d_4}{R_{eff4}} + \mu_4) - (\frac{d_1}{R_{eff1}} + \mu_1)](R_{eff2} + R_{eff4})$
		$u_{max} > u_{dr4}$

Fig. 9 - Ciclo d'isteresi di un  
*Triple Friction Pendulum*



*i principali risultati sperimentali ottenuti mostrano generalmente un buon accordo con le considerazioni teoriche sia dal punto di vista del comportamento ciclico, sia degli scorrimenti lungo le differenti superfici*

Fig. 10 - Modello analitico definito tramite elementi NL-LINK presenti nella biblioteca del codice di calcolo SAP2000NL per l'interpretazione del comportamento di un TFP



### 3. Indagine sperimentale sui TFP

Presso il laboratorio SEESL è stata condotta una specifica campagna di prove volta alla verifica sperimentale del comportamento meccanico dei TFP (Fenz e Constantinou 2008c). In una fase preliminare sono state innanzitutto valutate le caratteristiche dei dispositivi successivamente impiegati ai fini dello studio di un'applicazione d'isolamento alla base di una struttura in acciaio realizzata in scala 1:4.

I dispositivi considerati per l'indagine sono stati caratterizzati da tre differenti rivestimenti che ne hanno determinato diversi coefficienti d'attrito. In figura 11 sono rappresentati uno schema geometrico e due viste fotografiche delle parti costituenti uno dei TFP sottoposti alla sperimentazione.

Fig. 11 - Dettaglio geometrico e viste fotografiche degli elementi costituenti un TFP utilizzato per la sperimentazione



In figura 12 è mostrata un'immagine fotografica dell'apparato sperimentale utilizzato (Wolff e Constantinou 2004), costituito da due attuatori verticali a controllo di forza, atti alla trasmissione ai dispositivi di un carico assiale predefinito, ed uno orizzontale a controllo di spostamento, che impone al sistema un movimento impresso conforme all'effetto di un'azione sismica.

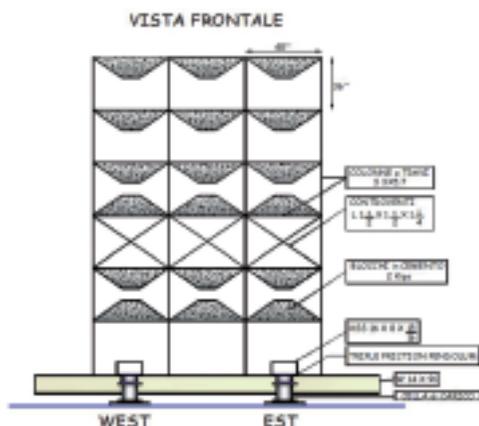
I dati relativi alla forza orizzontale e verticale sono stati controllati tramite una cella di carico a cinque canali montata al di sotto dei dispositivi. Lo spostamento orizzontale relativo fra le superfici terminali superiore e inferiore dei TFP è stato invece misurato mediante un trasduttore LVDT interno all'attuatore orizzontale. Due differenti potenziometri hanno inoltre permesso di valutare gli spostamenti delle superfici 2 e 3 in figura 7. Si osserva come le prove siano state effettuate a basse velocità, al fine di ottenere cicli d'isteresi con punti di transizione ben definiti.



Fig. 12 - Apparecchiatura utilizzata per le prove preliminari

Il modello strutturale esaminato nella seconda fase della campagna sperimentale riproduce, in scala 1:4, un edificio intelaiato in acciaio di sei piani isolato alla base mediante TFP (fig. 13). La massa totale della struttura, comprensiva dei blocchi di cemento, è pari a 209 kN.

Fig. 13 - Il modello strutturale utilizzato per la sperimentazione



In tabella 1 vengono riportati i dati relativi alla riduzione in scala del modello utilizzato per le prove.

Tab. 1 - Rapporti di scala relativi alle grandezze caratterizzanti il modello

Grandezze	Fattori di scala
Lunghezza, $L$	4
Modulo di elasticità, $E$	1
Accelerazione, $a$	1
Densità, $\rho$	0,25
Massa, $m$	16
Velocità, $v$	2
Forza, $F$	16
Tensione, $\sigma$	1
Deformazione, $\epsilon$	1
Energia, $e$	64
Periodo, $T$	2
Frequenza, $f$	0,5

Ai fini della verifica sperimentale della risposta strutturale del modello in figura 13, sono stati impiegati accelerogrammi con intensità crescente in modo da riprodurre sismi corrispondenti a moderate ed elevate unità di magnitudo. Tali segnali, selezionati tramite il motore di ricerca del PEER (*Pacific Earthquake Engineering Research*), sono stati applicati in direzione semplicemente longitudinale, e congiuntamente longitudinale e trasversale, nonché longitudinale, trasversale e verticale, in passi successivi dell'indagine condotta. I principali risultati ottenuti, documentati in Fenz (2008), mostrano generalmente un buon accordo con le considerazioni teoriche espresse precedentemente, dal punto di vista sia del comportamento ciclico, sia degli scorrimenti lungo le differenti superfici.

#### 4. Verifica numerica dei sistemi sottoposti all'indagine sperimentale

Congiuntamente all'indagine sperimentale, sulla struttura mostrata in figura 13 è stato avviato un ulteriore studio volto alla verifica del modello computazionale attribuito ai TFP e della risposta sismica dell'edificio isolato alla base tramite gli stessi dispositivi. A tal fine è stato utilizzato il codice di calcolo SAP2000NL (2007) tramite il quale gli isolatori sono stati schematizzati come indicato nella figura 10.

Al modello bidimensionale definito (fig. 14) è stato attribuito un peso complessivo di 104,5 kN, pari alla metà del peso totale della struttura esaminata in laboratorio; in esso le masse risultano concentrate nei nodi in direzione  $U_x$  e  $U_z$ . Ai nodi esterni è stato applicato 1/3 della massa di piano, mentre a quelli interni 1/6. Masse di entità molto piccola, di ordine di grandezza di tre volte inferiore rispetto a quelle applicate ai nodi, sono state attribuite agli elementi rappresentativi degli isolatori. Tale fattore di scala è stato scelto al fine di consentire una rapida convergenza dell'analisi effettuata (Scheller e Constantinou 2002).

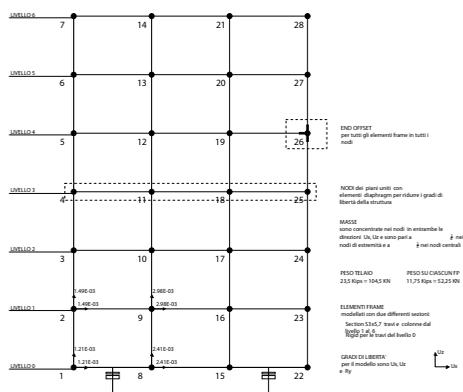


Fig. 14 - Modellazione della struttura con il programma di calcolo SAP2000NL

L'integrazione al passo è stata condotta utilizzando l'algoritmo di Wilson (2004), alla base del metodo più comunemente noto come *Fast Nonlinear Analysis* (Sorace et al. 2006), che prevede l'applicazione di procedimenti del tipo incrementale-iterativo esclusivamente per gli elementi a non linearità concentrata, mentre per i restanti l'analisi viene condotta utilizzando il metodo dei vettori di Ritz. Ciò determina una riduzione drastica dei tempi di elaborazione, evitando la ben più lunga soluzione dell'intero sistema di equazioni di equilibrio, a cui è associato un elevato onere computazionale, pur a fronte di limitati benefici dal punto di vista dell'accuratezza.

In figura 15 vengono posti a confronto i risultati analitici e sperimentali riferiti ad uno dei dispositivi alla base nella configurazione d'isolamento già indicata nelle precedenti figure 13 (apparato sperimentale) e 14 (modello numerico), ottenuti dall'applicazione della registrazione di Sylmor 360 (SYL360) relativa al terremoto di Northridge del 1994, le cui ampiezze sono state scalate di un fattore pari a 2. La buona sovrapposizione dei cicli isteretici ottenuti nei due casi, in termini di forza orizzontale normalizzata al carico verticale applicato, pone in luce l'adeguatezza del modello ai fini dell'interpretazione del comportamento meccanico dei sistemi esaminati.

### 5. Analisi numerica di un edificio di quattro piani in scala reale

A partire dalle risultanze sperimentali ed analitiche derivate dalla precedente fase di studio, è stato successivamente esaminato un edificio di quattro piani le cui caratteristiche geometriche sono indicate nella figura 16. Scopo dell'ulteriore indagine numerica è stato il confronto fra le varie soluzioni d'isolamento adottabili mediante sistemi appartenenti alla famiglia dei dispositivi ad attrito di tipo pendolare. Come mostrato nella figura 16 l'edificio è stato schematizzato tramite un modello bidimensionale a due campate di circa 30 m ciascuna, ed un'altezza complessiva di circa 16 m. Il peso dei piani da quello di base al terzo è di 44482 KN, mentre il quarto è di 31138 KN.

Gli accelerogrammi utilizzati per le analisi sono sette registrazioni reali del tipo *near fault* i cui spettri singoli e la loro media, riferiti alle intensità di progetto (DBE) e di massimo evento atteso (MCE) (SEI/ASCE 7-05), sono mostrati in figura 17.

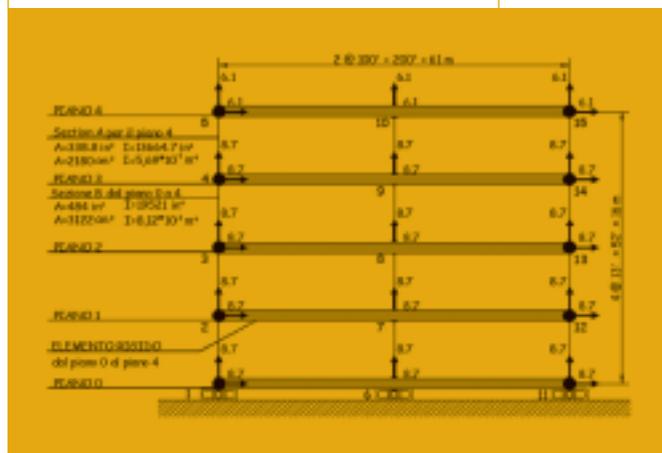


Fig. 16 - Rappresentazione geometrica e proprietà del modello utilizzato nell'analisi numerica

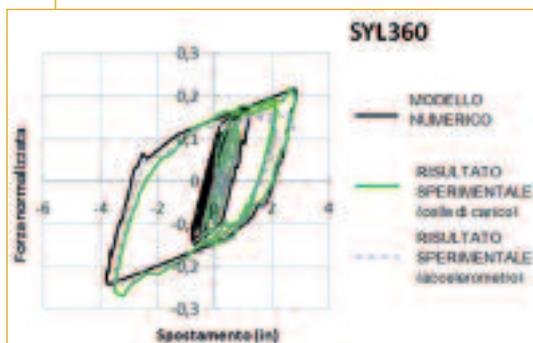
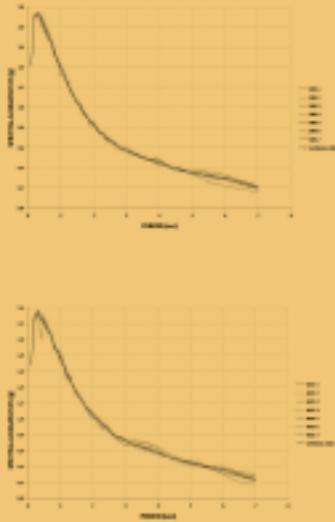


Fig. 15 - Confronto fra i risultati analitici e quelli sperimentali relativi alla registrazione SYL360

Fig. 17 - Spettri di risposta degli eventi sismici utilizzati nell'analisi numerica nel caso del terremoto di progetto (DBE) e di massimo terremoto considerato (MCE)



L'indagine ha riguardato i seguenti casi applicativi:

1. isolamento alla base mediante DFP;
2. isolamento alla base mediante DFP + smorzatori viscosi a comportamento lineare (LVD);
3. isolamento alla base mediante DFP + smorzatori viscosi a comportamento non lineare (NLVD);
4. isolamento alla base mediante TFP (in questo caso si sono previste più modellazioni con differenti coefficienti d'attrito).

Fra le varie configurazioni esaminate di particolare interesse è stata l'ultima per cui lo studio è stato articolato in modo da ottenere risultati paragonabili a quelli derivanti dalla combinazione di DFP con smorzatori viscosi. In seguito a ciascuna analisi sono stati calcolati il massimo spostamento, le componenti di forza di taglio sulla struttura ( $V_s/W_s$ ) e sui dispositivi ( $V_{b+d}/W_s$ : caso di soli DFP e TFP;  $V_{b+d}/W_s$ : caso di DFP + smorzatori viscosi), normalizzate rispetto al peso complessivo della struttura  $W_s$ , e l'accelerazione dell'ultimo piano ( $a_4$ ), sia nel caso di terremoto di progetto, sia di massimo evento atteso. I valori ottenuti sono riportati in tabella 2.

Tab. 2 - Risultati medi in termini di massimo spostamento, forza di taglio normalizzata per la struttura ed i dispositivi, accelerazione dell'ultimo piano ottenuti in riferimento agli eventi considerati per intensità DBE e MCE

	Spostamento massimo (mm)		$V_s/W_s$		$V_{b+d}/W_s$		$a_4$ (g)		
	DBE	MCE	DBE	MCE	DBE	MCE	DBE	MCE	
DOUBLE $\mu_1=6\%$ $\mu_4=6\%$	736	3068	0,29	0,27	0,28	0,27	0,24	0,32	0,46
DOUBLE $\mu_1=6\%$ $\mu_4=6\%$ + LVD ( $\rho=0,14$ N s/m)	501	671	0,18	0,22	0,18	0,22	0,21	0,26	0,34
DOUBLE $\mu_1=6\%$ $\mu_4=6\%$ + NLVD ( $\rho=104$ N s/m)	481	636	0,19	0,23	0,17	0,21	0,21	0,26	0,35
TREBLE $\mu_1=8\%$ $\mu_4=24\%$	583	814	0,22	0,28	0,25	0,34	0,26	0,34	0,50
TREBLE $\mu_1=8\%$ $\mu_4=24\%$	581	801	0,21	0,28	0,24	0,33	0,26	0,34	0,52
TREBLE $\mu_1=10\%$ $\mu_4=24\%$	555	755	0,23	0,27	0,27	0,33	0,27	0,33	0,53
TREBLE $\mu_1=12\%$ $\mu_4=24\%$	536	721	0,24	0,28	0,28	0,34	0,28	0,34	0,55
TREBLE $\mu_1=14\%$ $\mu_4=24\%$	527	707	0,24	0,28	0,29	0,34	0,29	0,34	0,56

*a partire dalle risultanze sperimentali ed analitiche derivate dalla prima fase di studio, è stato esaminato un edificio di quattro piani; scopo dell'ulteriore indagine numerica è stato il confronto fra le varie soluzioni d'isolamento adottabili mediante sistemi appartenenti alla famiglia dei dispositivi ad attrito di tipo pendolare*

Nelle successive figure 18 e 19 vengono proposti degli istogrammi di confronto delle prestazioni ottenibili dai sistemi DFP, DFP+LVD, DFP+NLVD e TFP ( $\mu_1=14\%$  e  $\mu_4=24\%$ ), in termini di massimo spostamento, componenti di forza di taglio normalizzata relative alla struttura ( $V_s$ ) ed ai dispositivi ( $V_{b+d}$ ), accelerazione dell'ultimo piano ( $a_4$ ), sia nel caso di terremoto di progetto, sia di massimo evento atteso. Una più approfondita analisi degli stessi risultati ivi contenuti porta alle seguenti considerazioni:

- l'inserimento di smorzatori comporta una consistente riduzione degli spostamenti rispetto alla soluzione con singoli DFP. Nella specifica combinazione con NLVD le riduzioni stimate risultano maggiori rispetto alla condizione di compresenza di LVD, quantificabili in una diminuzione dell'ordine del 40% per entrambi i livelli dell'azione DBE e MCE; le prestazioni offerte dal solo utilizzo dei TFP con coefficiente di attrito pari a  $\mu_1=14\%$  e  $\mu_4=24\%$  sono, comunque, paragonabili all'utilizzo di DFP combinati con smorzatori viscosi lineari, mentre presentano incrementi di spostamento del 19% (DBE) e del 15% (MCE) rispetto alla combinazione DFP+NLVD.

- l’inserimento di smorzatori implica un incremento dell’accelerazione rispetto ai soli DFP, specialmente accresciuto nel caso di presenza di NLVD, stimato dell’ordine del 40% e del 33% nei due casi di DBE e MCE; al contrario, utilizzando i TFP, le accelerazioni vengono accresciute solo del 9% (DBE) e del 17% (MCE) rispetto all’utilizzo dei soli DFP; rispetto alla combinazione DFP+NLVD risultano invece ridotte del 25% per il terremoto di progetto e del 12% per il massimo evento atteso.
- l’impiego congiunto dei DFP con gli smorzatori viscosi comporta, in aggiunta alla riduzione degli spostamenti, anche una riduzione delle forze di taglio sulla struttura ( $V_s$ ) e sui dispositivi ( $V_{b+d}$ ). In particolare, la combinazione DFP+LVD riduce  $V_s$  del 10% per il DBE e del 18% per il MCE;  $V_{b+d}$  decrementa del 12% per il DBE e del 19% per il MCE; la riduzione delle forze di taglio dei dispositivi è analoga per la configurazione DFP+NLVD, mentre, per la stessa configurazione,  $V_s$  diminuisce del 5% per il terremoto di progetto e del 15% per il massimo evento atteso. Va evidenziato, al contrario, che in merito alle forze di taglio non si ottengono benefici con l’impiego dei soli TFP. I modelli numerici realizzati pongono in luce infatti che le forze di taglio aumentano all’aumentare dei coefficienti di attrito; in particolare, per la configurazione dei TFP con coefficiente di attrito pari a  $\mu_1=14\%$  e  $\mu_4=24\%$ , l’aumento delle forze di taglio sulla struttura in relazione alla configurazione DFP+LVD raggiunge il 33% per il DBE e il 27% per il MCE; le forze di taglio sui dispositivi risultano maggiorate invece del 38% (DBE) e del 31% (MCE).

Fig. 19 - Confronto delle performance dei quattro casi applicativi considerati (DFP, DFP+LVD, DFP+NLVD, TFP) in riferimento agli eventi considerati per intensità MCE

Fig. 18 - Confronto delle performance dei quattro casi applicativi considerati (DFP, DFP+LVD, DFP+NLVD, TFP) in riferimento agli eventi considerati per intensità DBE

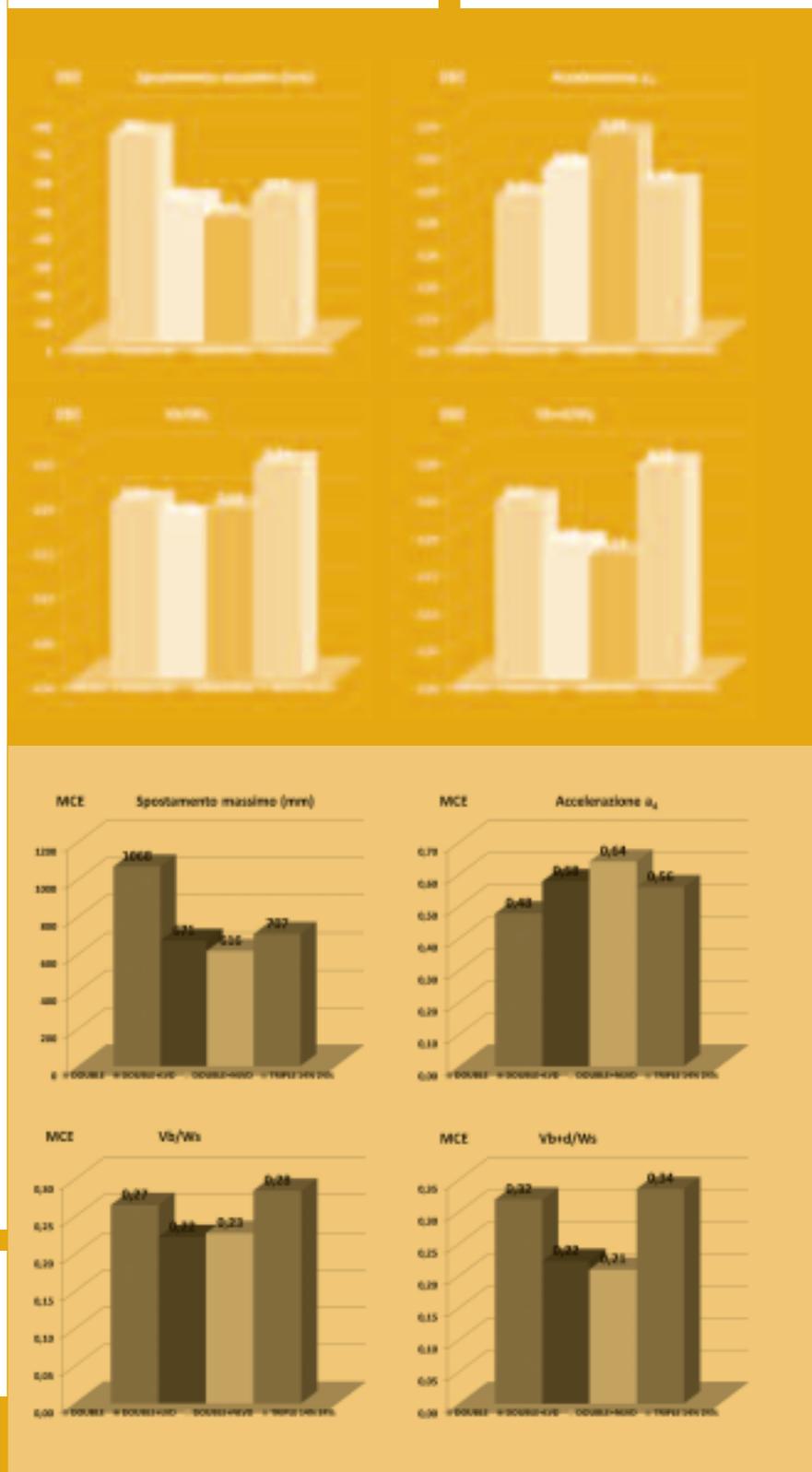


Fig. 20 - Accelerazioni di piano e spostamenti della struttura ottenuti in riferimento alle configurazioni con DFP, DFP e smorzatori viscosi a comportamento lineare e non lineare e TFP con coefficienti di attrito pari a  $\mu_1=14\%$  e  $\mu_4=24\%$



le indagini sperimentali svolte nell'ottobre 2007 presso il Laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Buffalo, sono state determinanti al fine della calibrazione di un modello computazionale originale che ben interpretasse il comportamento dei TFP

In figura 20 vengono infine mostrate, a titolo di esempio, per la registrazione più gravosa utilizzata nell'indagine scalata all'intensità di progetto (DBE\_5), le variazioni degli spostamenti e delle accelerazioni agli istanti in cui si verificano i picchi per le varie grandezze prese in esame, nel caso che alla base dell'edificio vi siano i quattro sistemi d'isolamento sopra descritti. Nella stessa figura viene inoltre rappresentata la massima forza di taglio valutata per ciascun piano. Dai dati ivi riportati emerge come la struttura isolata alla base utilizzando i DFP, nel momento in cui si verifica il picco di accelerazione, mostri una deformata corrispondente al secondo modo di vibrare, mentre quella isolata tramite i TFP mantiene la forma del primo modo.

### Grado di innovazione dei risultati ottenuti

Obiettivo del lavoro di tesi è stato quello di dimostrare che l'impiego di soli TFP adduce prestazioni similari a sistemi composti da DFP e smorzatori viscosi, contenendo altresì i costi di realizzazione e posa in opera dell'isolamento. Tali smorzatori sono comunemente utilizzati particolarmente per contenere le dimensioni, spesso eccessive, dei *Friction Pendulum* (si veda al riguardo la foto in figura 21) da cui dipende l'incidenza economica dell'intervento. L'inserimento di smorzatori aumenta a sua volta i costi in ragione sia del loro specifico prezzo d'acquisto sia per la loro installazione.

I risultati dell'indagine numerica documentata nella tesi dimostrano come, utilizzando TFP e calibrando opportunamente i coefficienti di attrito delle superfici concave, possano essere ottenuti spostamenti analoghi ai casi di studio con DFP e smorzatori viscosi sia per i terremoti di progetto che per i massimi eventi attesi.

Lo studio ha inoltre posto in luce una sostanziale riduzione dell'accelerazione di piano ottenibile dall'applicazione dei TFP rispetto ai casi di DFP+LVD e DFP+NLVDs. Per converso, l'adozione dei soli TFP procura un non trascurabile incremento delle forze di taglio alla base, con conseguenti maggiori oneri in fase di progettazione della sovrastruttura.



Fig. 21 - Un esempio delle notevoli dimensioni dei dispositivi utilizzati per l'isolamento del ponte Benicia Martinez

## Possibile impatto applicativo dei risultati ottenuti

Dallo studio condotto e documentato nella tesi è emerso come, grazie al comportamento adattativo dei TFP, sia possibile ottenere con essi prestazioni strutturali paragonabili a quelle ottenibili dal più noto e più frequentemente applicato, per quanto più costoso, sistema composto da DFP e smorzatori viscosi. L'incremento delle forze di taglio alla base implica comunque maggiori oneri in fase di progettazione della sovrastruttura. Dal punto di vista applicativo è quindi necessario, in relazione agli edifici in cui venga prevista l'installazione dei dispositivi, valutare quanto i costi maggiori in fase di progettazione siano compensati dal risparmio ottenuto utilizzando i soli TFP.

## Rilevanza scientifica dei risultati ottenuti e pubblicazioni

Le indagini sperimentali svolte nell'ottobre 2007 presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Buffalo (SEESL *Structural Engineering and Earthquake Simulation Laboratory*), sono state determinanti al fine della calibrazione di un modello computazionale originale che ben interpretasse il comportamento dei TFP.

Le analisi numeriche condotte su un edificio di quattro piani a scala reale isolato alla base con differenti sistemi d'isolamento (DFP, DFP+LVD, DFP+NLVD e TFP) hanno quindi consentito di confrontare le prestazioni e i benefici legati ai differenti sistemi ipotizzati.

Una sintesi del lavoro di tesi è stata pubblicata sul Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri di Firenze n. 5-2009.

### Riferimenti bibliografici

- M. C. CONSTANTINOU – A. S. WHITTAKER – D. M. FENZ – G. APOSTOLAKIS (2007a), *Seismic isolation of bridges*, Report Submitted to the State of California Department of Transportation.
- M. C. CONSTANTINOU – A. S. WHITTAKER – Y. KALPAKIDIS – D. M. FENZ – G. P. WARN (2007b), "Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading", *Technical Report MCEER 07-0012*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- CSI (2007). *SAP2000NL, Structural Analysis Programs – Theoretical and Users Manual*, Version No. 11.9, Berkeley, CA.
- D. M. FENZ (2008), *Multi-Spherical Sliding Bearings: Development, Experimental Verification and Implementation of Tools for Dynamic Analysis*, Phd Thesis, University at Buffalo, New York, 2008.
- D. M. FENZ. – M. C. CONSTANTINOU (2006), "Behavior of the double concave Friction Pendulum bearing", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Vol. 35 Issue 11, p. 1403-1424.
- D. M. FENZ – M. C. CONSTANTINOU (2008a), "Spherical sliding isolation bearings with adaptive behavior: Theory", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Vol. 37 Issue 2, p. 163-183.
- D. M. FENZ. – M. C. CONSTANTINOU (2008b), "Modeling Triple Friction Pendulum Bearings for Response History Analysis", *Earthquake Spectra*. Vol. 24, Number 4, November 2008, p. 1011-1028.
- D. M. FENZ – M. C. CONSTANTINOU (2008c), "Spherical sliding isolation bearings with adaptive behavior: Experimental", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Vol. 37 Issue 2, p. 185-205.
- G. PATALANO (2008), *Protezione sismica con isolamento alla base mediante Friction Pendulum System*. Tesi di Laurea, Università di Firenze, Luglio 2008.
- J. SCHELLER – M. C. CONSTANTINOU (2002), "Response History Analysis of Structures with Seismic Isolation and Energy Dissipation Systems: Verification Examples for Program SAP2000", *Technical Report MCEER-99-0002*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York. SEI/ASCE 7-05. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- S. SORACE – G. TERENCEZI – L. BANDINI (2006), "Le potenzialità della 'FNA' nell'analisi dinamica non lineare di strutture dotate di sistemi avanzati di protezione sismica", *16° Convegno Nazionale di Meccanica Computazionale – GIMC 2006*. Bologna, Art. 46, CD-ROM.
- R. I. SKINNER – W. H. ROBINSON – G. H. MC VERRY (1993), *An introduction to seismic isolation*, John Wiley & Sons, New York.
- E. L. WILSON (2004), *Three dimensional static and dynamic analysis of structures*. CSI, Berkeley, CA.
- E. D. WOLFF – M. C. CONSTANTINOU (2004), "Experimental Study of Seismic Isolation Systems with Emphasis on Secondary System Response and Verification of Accuracy of Dynamic Response History Analysis Methods" *Technical Report MCEER-04-0001*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- V. A. ZYAS – S. S. LOW – S. A. MAHIN (1990), "A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation", *Earthquake Spectra*. Vol. 6, N. 2., p. 317-333.

Inquadramento del tema trattato e del lavoro svolto:

Questa tesi si propone di analizzare le applicazioni dell'illuminotecnica nel settore delle sfilate e delle esposizioni temporanee di moda.

Dopo l'esame del quadro generale di quella che è stata l'evoluzione delle tecniche di illuminazione, e di quello che è oggi l'utilizzo della luce nelle sfilate e nelle fiere, in particolare a Pitti Immagine Uomo, con la presentazione delle caratteristiche tecniche-fotometriche degli apparecchi illuminanti impiegati, si passa a valutare le condizioni e soluzioni per una corretta progettazione illuminotecnica destinata a uno spazio espositivo.

L'illuminazione gioca un ruolo molto importante sia nella presentazione delle collezioni sia nella creazione dell'immagine dell'azienda. Ciò significa che è cruciale ottenere il giusto equilibrio tra i cinque parametri di base: livello e uniformità di illuminamento, distribuzione ed equilibrio della luminanza, resa del contrasto e direzionalità della luce, spettro di emissione della sorgente luminosa e resa cromatica, evidenziando il più possibile l'effetto dell'abbigliamento diretto e indiretto. L'analisi prosegue poi con una descrizione dei criteri di scelta dei "mezzi" finalizzati alla realizzazione del progetto illuminotecnico, quali l'esame della geometria del luogo di esposizione, delle distanze e posizioni di installazione dei corpi illuminanti,

Giulia Ermini

1<sup>a</sup> classificata

Relatore:

Prof.ssa Arch. Carla Balocco



*la luce nella moda:  
 progetto illuminotecnico  
 per uno spazio espositivo  
 a Pitti Immagine Uomo*

delle superfici e volumi da illuminare, in specie dei diversi tessuti, la valutazione della qualità e intensità della luce necessaria, dell'angolo di apertura, della forma e della direzione del fascio luminoso. La realizzazione di un progetto illuminotecnico prevedrebbe poi come ultimi passaggi la fase di montaggio, la fase di puntamento e la fase della prova luci, indispensabili nonché fondamentali al conseguimento del risultato.

In questo contesto il mio lavoro di tesi, sebbene non abbia potuto sviluppare indagini e misure dirette sperimentali per tempi ristretti e carenza di strumenti specifici, punta a verificare e analizzare, attraverso la riproduzione di modelli 3D e simulazioni in transitorio realizzate con l'ausilio di software dedicati, il progetto illuminotecnico sviluppato per lo Stand Canali allestito in occasione della settantatreesima manifestazione di Pitti Immagine Uomo. Questo progetto ha previsto l'uso di sola luce artificiale. L'esperienza di tirocinio presso l'azienda Fratelli Edison mi ha permesso di seguire di persona i lavori di allestimento e realizzazione dello stand. In particolare la mia analisi si concentra sullo studio della luce impiegata all'interno dello stand. È presentata una soluzione progettuale al sistema di illuminazione presente, che si basa sull'uso qualitativo della luce artificiale. Ciò significa che la scelta di ciascun tipo di sorgente artificiale (in base a colore e tonalità della luce, efficienza luminosa e intensità, spettro di emissione e curva fotometrica), il suo posizionamento, la regolazione e direzione del flusso luminoso sono stati strettamente connessi e supportati dallo



studio dei parametri termo-fisici, fotometrici e ottici di ogni superficie dello stand e oggetto esposto. In particolare la reazione alla luce dei diversi tessuti ha orientato le scelte sull'illuminazione di accento, mentre le risposte in termini di variazione dei parametri colorimetrici e fotometrici dell'ambiente e di distribuzione della luminanza sulle pareti e sugli oggetti hanno supportato le scelte per l'illuminazione di base (spazi e percorsi espositivi).

La soluzione progettuale proposta vede l'utilizzo in primo piano della tecnologia *led* e di lampade a basso consumo energetico (lampade fluorescenti compatte). L'obiettivo è stato proprio quello di proporre un'alternativa ai sistemi di illuminazione che di regola vengono utilizzati (che in genere prevedono l'utilizzo di lampade alogene); per questo motivo si è riservata particolare attenzione alle innovazioni degli ultimi anni in campo illuminotecnico, ritenendo di grande interesse studiare e analizzare una loro possibile

*i cinque parametri di base per valutare l'illuminazione: livello e uniformità di illuminamento, distribuzione ed equilibrio della luminanza, resa del contrasto e direzionalità della luce, spettro di emissione della sorgente luminosa e resa cromatica*



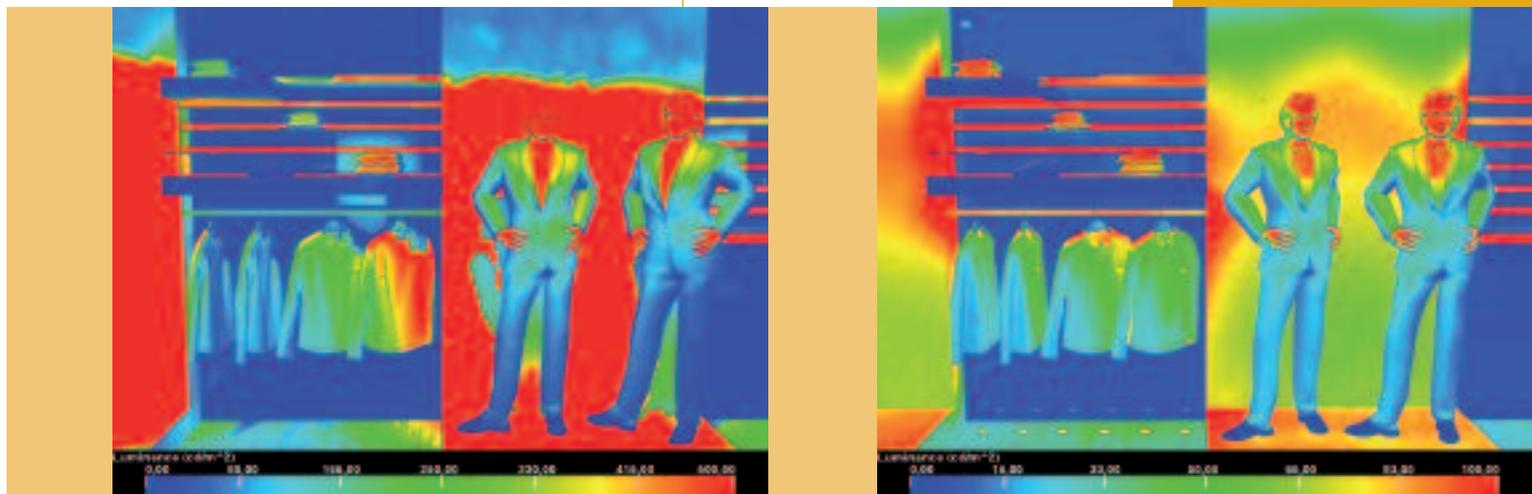
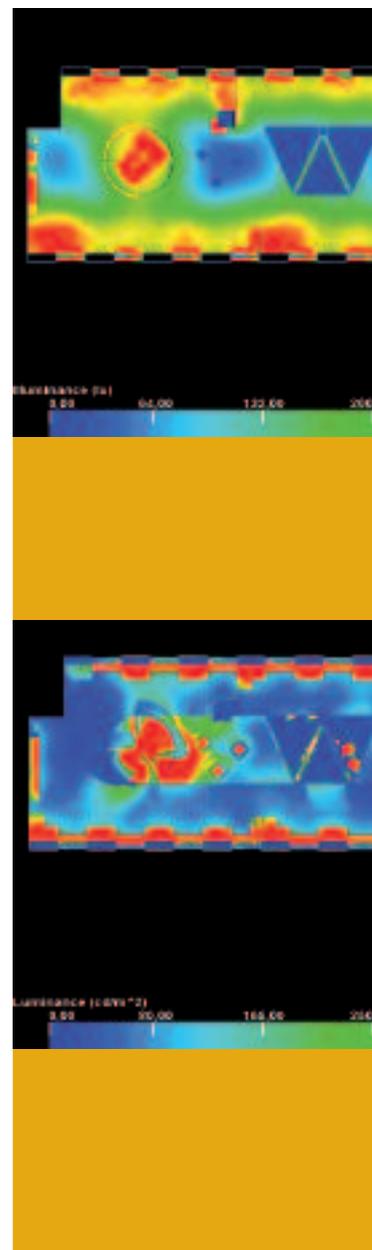
applicazione in uno stand espositivo, e infine mettere a confronto le due soluzioni valutando pregi e difetti di ognuna.

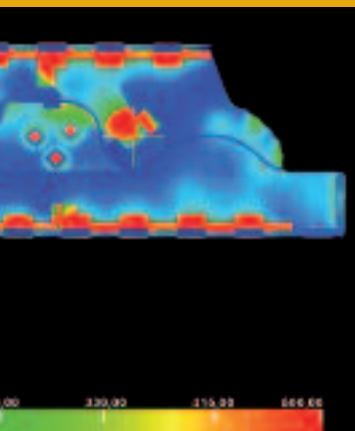
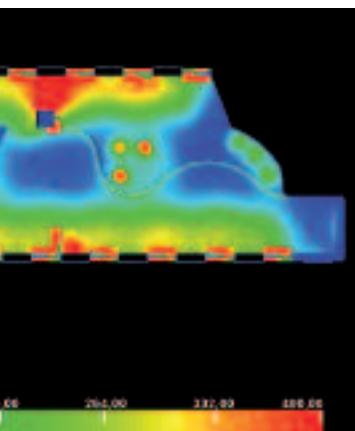
Le moderne teorie del *visual merchandising* considerano l'illuminazione una dotazione fondamentale a cui dedicare la massima attenzione. Da un lato la luce deve contribuire a rendere il luogo gradevole e accogliente dando il giusto accento alle sue caratteristiche (arredi, materiali e finiture, colori), dall'altro deve essere usata come mezzo per calamitare l'attenzione, suscitare un certo effetto di sorpresa o di meraviglia, in poche parole rendere quanto più seducente e attraente ciò che è offerto. Si è cercato per questo di trovare una soluzione ottimale che contemplates contemporaneamente le due diverse modalità di luce, cosa che non è stata riscontrata nello studio dei progetti illuminotecnici solitamente realizzati. La luce non deve disturbare e deve essere abbastanza

intensa per consentire la corretta e comoda visione anche dei dettagli minuti. In termini di lux si consiglia di rispettare valori minimi intorno ai 250-300 lux sui piani orizzontali di supporto all'esposizione. Diverso è il caso delle zone adibite all'esposizione, dove l'obiettivo è quello di rendere visibili le merci a differenti distanze, i valori qui sono ben maggiori, ci si attesta generalmente a valori superiori ai 500 lux.

In quest'ottica sono state condotte varie simulazioni dell'intero spazio espositivo dello stand e di suoi ambiti specifici con i due diversi sistemi di illuminazione messi quindi a confronto, quello usuale e quello proposto. In particolare sono state studiate le distribuzioni dell'illuminamento e della luminanza, e, simulando numerosi sensori virtuali, è stato possibile calcolare, anche in specifiche zone e su specifici oggetti, il valore del contrasto e del fattore di resa del contrasto, i rapporti di luminanza, e quindi valutare gli abbagliamenti, confrontandone i valori con quelli suggeriti dalla Normativa. Per poter condurre queste simulazioni è stato realizzato un modello tridimensionale dello stand con il software AutoCad2007. Le proprietà ottiche, fotometriche e colorimetriche, nonché le *texture* e i *bumps*, dopo un'approfondita ricerca in letteratura e presso fonti dirette quali le stesse aziende produttrici, sono state attribuite ai diversi materiali presenti nello stand, modellandone le caratteristiche con il software 3DStudio-Max9. I proiettori presenti nello stand (sia quelli presenti usualmente, sia quelli previsti nella proposta progettuale), sono stati

*Le moderne teorie del "visual merchandising" considerano l'illuminazione fondamentale: la luce deve contribuire a rendere il luogo gradevole e accogliente, dare il giusto accento alle sue caratteristiche ed essere un mezzo per calamitare l'attenzione, suscitare un effetto di sorpresa o di meraviglia, rendere seducente e attraente ciò che è offerto*

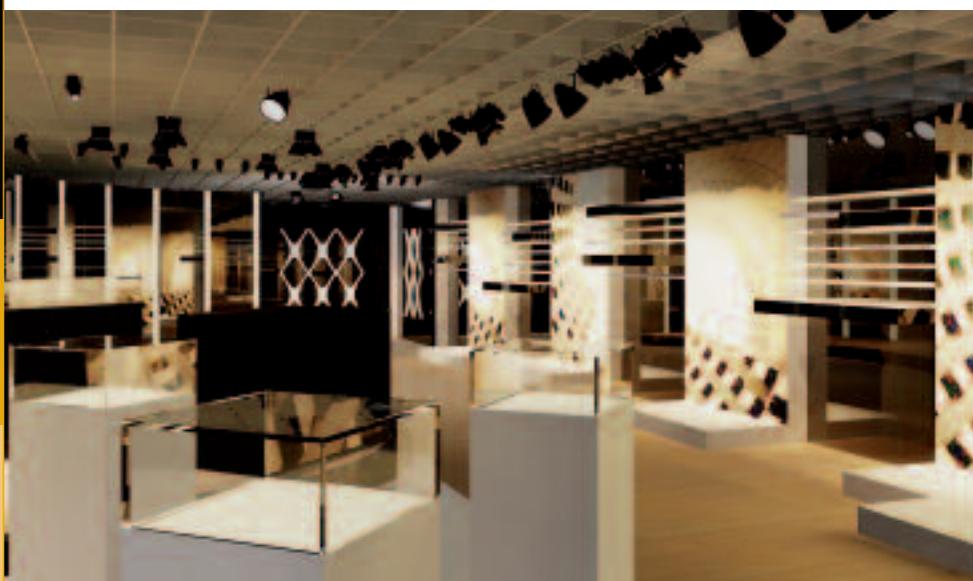




modellati tridimensionalmente con il software AutoCad2007 e le lampade connesse sono state modellate con il software 3DStudioMax9, impiegando specifici files (.ies) che permettono la simulazione dell'intensità e dell'andamento direzionale di tutti i tipi di sorgenti luminose. Per il colore di ogni tipo di superficie si è fatto uso del modello di colore HVS modificando opportunamente le correlazioni del modello di colore RGB le cui specifiche sono prescritte dalla CIE. Il modello di colore HVS restituisce in modo più appropriato le modalità di percezione del colore da parte del sistema visivo umano. La fase analitico-parametrica e visualizzativa della simulazione illuminotecnica è stata realizzata con il software 3DStudioMax9 avvalendosi del pacchetto MentalRay. Sono state utilizzate le combinazioni degli algoritmi Radiosity e Ray-Tracing per ottenere effetti foto realistici come ombre nette, riflessioni speculari ed effetti di trasparenza.

### Grado di innovazione dei risultati ottenuti:

L'analisi delle simulazioni effettuate per lo stand con i due sistemi illuminotecnici, evidenzia le diversità delle soluzioni, a partire dai valori di illuminamento registrati. L'illuminamento medio registrato sui pannelli è 16613 lux per i sistemi usuali, 194 lux per il sistema proposto (il valore limite nella Norma UNI 10380 è 500 lux). L'illuminamento medio registrato invece sui manichini è 16730 lux per i sistemi usuali e 215 lux per il sistema proposto (il valore limite nella Norma UNI 10829 è 50 lux). La causa di questo grande divario si individua nelle eccessive potenze installate usualmente, circa 78 kW. Non c'è nessuna attenzione ai consumi energetici né particolare cura per il surriscaldamento dell'ambiente. Solo per i corpi illuminanti installati si ha un consumo di circa 780 kWh in una giornata di manifestazione, oltre al quale ci sono i consumi relativi ai dispositivi di condizionamento sicuramente necessari visto che le lampade montate, essendo alogene, sprigionano quantità di calore



*se allo stato di fatto lo stand assumeva le caratteristiche di una struttura energivora, allo stato di progetto presenta le caratteristiche di una struttura progettata nell'ottica del risparmio energetico a garanzia di un ambiente luminoso comunque ottimale*



la soluzione illuminotecnica proposta risulta un buon compromesso tra esigenze espositive, conservative di percezione e di risparmio energetico nell'ambito del settore moda oggi sempre più parte di spettacolo e performance

non indifferenti. Ben diversa è la situazione che si è ottenuta con la proposta di un nuovo progetto illuminotecnico: potenze installate più contenute, circa 4.8 kW, e consumi decisamente più bassi e quindi accettabili (circa 48 kWh). Avendo previsto l'utilizzo di lampade fredde, che non sprigionano calore durante il loro funzionamento, la necessità di condizionamento in ambiente è minore, quindi anche i costi di gestione degli impianti di climatizzazione e dell'impianto di aerazione diminuiscono. L'utilizzo di lampade a basso consumo infatti riduce le dispersioni di energia per effetto Joule ( $R \times I^2 = P$ ). La soluzione illuminotecnica proposta dunque consente importanti risparmi di energia assorbita e un'importante riduzione dei carichi termici in ambiente. Se allo stato di fatto lo stand assumeva le caratteristiche di una struttura energivora, allo stato di progetto si presenta con le caratteristiche di una struttura progettata nell'ottica del risparmio energetico e a garanzia di un ambiente luminoso comunque ottimale. Lavorando nell'ottica del risparmio energetico, si lavora anche nell'ottica del risparmio monetario: considerando infatti che la tariffa

dell'energia elettrica, in questo contesto in base ai contratti in atto fra fornitore Enel e utenti, è circa 0.1359 + IVA, allo stato di fatto il prezzo da pagare al giorno per illuminare lo stand durante le ore in cui la manifestazione è aperta è circa 109 €, mentre per il nuovo progetto è circa 6,58 €. Discorso a parte merita il costo monetario relativo alla realizzazione del progetto illuminotecnico complessivo, includendo per entrambe le soluzioni progettuali i costi per quadri elettrici, prolunghe, ganci e sdoppiatori (in acquisto circa 5.000 €) e il costo della manodopera per montaggio e smontaggio (circa 7.000 €). I prezzi di listino degli apparecchi utilizzati allo stato di fatto sono: Minifresnel 200 € cad, Quarzina 150 € cad, Parnel 310 € cad, QPS 206 € cad e Superlucciola 83 € cad, per cui il costo complessivo è circa 5.000 €. Per quanto riguarda gli apparecchi utilizzati nella proposta progettuale non è stato possibile reperire i prezzi di listino, ma in genere il prezzo di un led è molto più alto di una lampada alogena, quindi il costo complessivo è sicuramente maggiore. Questo costo più alto viene tuttavia compensato rapidamente dai risparmi energetici conseguiti e dalla qualità luminosa dell'ambiente: a differenza delle lampade alogene, i led hanno la caratteristica di avere una lunghissima vita (led ad alta emissione arrivano a circa 50.000 ore), di avere costi di manutenzione praticamente assenti, di avere un alto rendimento. Le lampade fluorescenti compatte permettono un risparmio di circa il 75% rispetto alle lampade alogene, queste ultime infatti, come si evince, sono pessimi utilizzatori di energia.

La soluzione alternativa, che prevede l'utilizzo di un'illuminazione di base e una di accento, trovata per lo stand mostra come un corretto ed efficace progetto illuminotecnico, anche per la sola luce artificiale, possa fornire risultati di qualità in termini di percezione e visione complessiva dell'ambiente, soluzioni efficienti che definiscono diversi ambienti luminosi per diversi oggetti in essi collocati, nonché soluzioni di integrazione di illuminazione verticale e orizzontale con quella di accento ben dosata e indirizzata sugli oggetti. Oggetti che, ci preme evidenziare, sono particolarmente fotosensibili trattandosi di tessuti di diverso tipo, tipologia, trama e colore.



questo progetto si pone come strumento utile alla sensibilizzazione del settore della moda, ampio, di mercato e sempre in forte crescita, verso le problematiche energetiche e di impatto ambientale

La soluzione illuminotecnica proposta consente peraltro di usare la luce in termini di qualità e non solo di quantità, differenziando l'illuminazione di base e di accento in modo equilibrato e dosando correttamente e indirizzando i fasci luminosi. Infatti, in particolare, sui tessuti specie quelli appesi ai manichini, l'intensità luminosa ottenuta è notevolmente ridotta e il valore medio di illuminamento limite suggerito è generalmente rispettato. Non è da sottovalutare l'importanza delle condizioni di esposizione dei tessuti in occasione delle fiere, una inadeguata esposizione, anche all'interno di un corretto ambiente luminoso e termico, può alterare le fibre dal punto di vista chimico-fisico, strutturale e del colore. Il valore ottimale di illuminamento su tessuti come lino, lana, cotone è stimato dalla Norma UNI 10829 in 50 lux. I sensori virtuali registrano valori intorno ai 20 klux sui manichini per i sistemi di illuminazioni usuali, mentre per la soluzione progettuale proposta tali valori sono dell'ordine di 200 lux.

Il progetto illuminotecnico proposto si è basato sulla logica di un impianto flessibile che permetta di avere un controllo sulla distribuzione di luminanza nell'ambiente, per evitare abbagliamenti e riduzione dei contrasti per riflessioni dirette e indirette. Con l'alternativa proposta si è cercato di prevenire le riflessioni speculari e semispeculari presenti invece allo stato di fatto, prestando attenzione alle prescrizioni riportate in Normativa UNI. Si è cercato di utilizzare flussi luminosi diretti sui tessuti che ottimizzassero la distribuzione di luminanza su questi e sui pannelli posteriori, tali da ottenere il contrasto necessario per la corretta visione del tessuto, delle trame e dei dettagli, del tutto assenti allo stato di fatto. Un altro fattore di grande rilevanza per la qualità dell'illuminazione è dato dalla tonalità della luce. Si sa che la luce che fa risaltare bene tutti i colori e le loro sfumature è quella ben bilanciata, ossia quella che risulta da una miscela di radiazioni cromatiche che contiene tutta

la gamma dei colori cosiddetti "naturali": rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, blu, violetto. Con la grandezza fisica chiamata "temperatura di colore" si identificano delle composizioni tipiche delle radiazioni cromatiche che vanno a costituire delle tonalità identificabili. Cambiando i valori dei kelvin si hanno rese dei colori molto diverse. Si è cercato quindi, con l'utilizzo di lampade (a basso costo energetico) fluorescenti compatte e di sistemi a led, di trovare la soluzione illuminotecnica ottimale anche nell'ottica del controllo del colore e della tonalità della luce. La soluzione illuminotecnica proposta risulta quindi un buon compromesso tra esigenze espositive, conservative e di percezione come di risparmio energetico nell'ambito del settore moda oggi sempre più parte di spettacolo e performance.

### Possibile impatto applicativo dei risultati ottenuti:

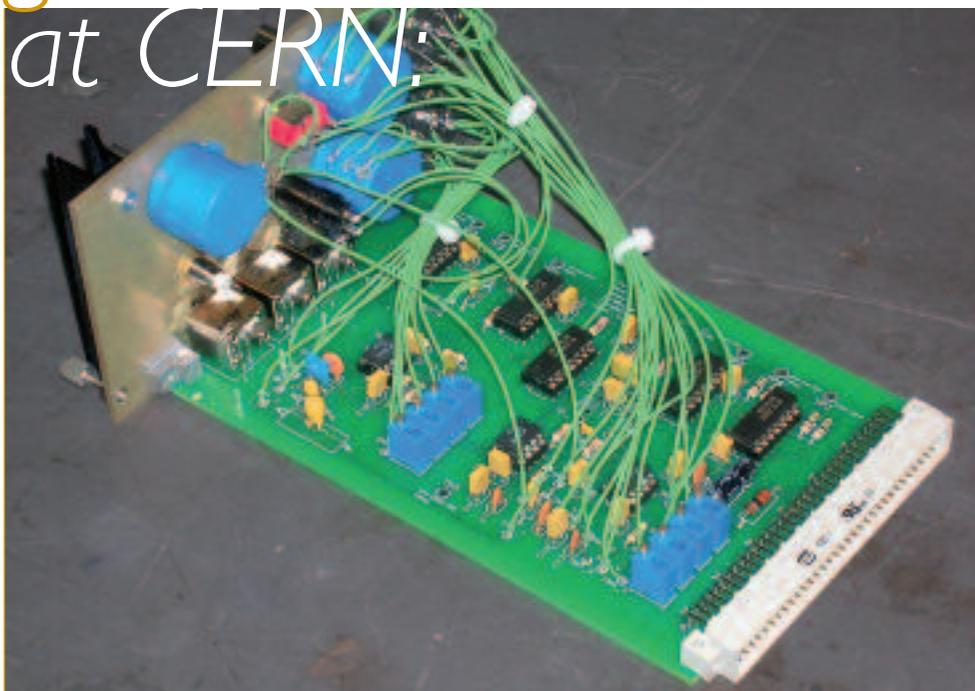
Questo lavoro propone dunque anche un metodo di analisi utile alla progettazione di spazi espositivi, in particolare dedicati al settore della moda. L'approccio metodologico, che costituisce la logica evolutiva dell'intero progetto illuminotecnico proposto, può essere un utile strumento di progettazione dedicato all'allestimento e all'esposizione di vestiti, di oggetti e prodotti di ogni genere, ma anche a campi luminosi statici tipici di eventi come fiere e manifestazione temporanee. Si pone infine come strumento utile almeno alla sensibilizzazione di un settore così particolare, ampio e di mercato sempre in forte crescita, verso le problematiche energetiche e di impatto ambientale. Perseguire in un progetto espositivo, in tutto il settore moda, la qualità luminosa dello spazio, l'efficienza e la qualità della percezione e visione, insieme alla riduzione dei consumi di energia, è anche un passo fondamentale per la sostenibilità e la tutela dell'ambiente.

Dal presente lavoro di tesi è stato tratto l'articolo: BALOCCO C., ERMINI G., *La luce nella moda*, in "Rivista luce", 3/2008.



# fault detection on the Large Hadron Collider

at CERN:



Costanza  
Cavicchioli  
1ª classificata

## design, simulation and realization of a High Voltage Pulse Generator

**I**l progetto si inserisce all'interno dell'Electrical Quality Assurance Plan (ELQA) dell'LHC (Large Hadron Collider), a oggi il principale progetto portato avanti dal CERN. Nell'LHC, un acceleratore di adroni (particelle come protoni e neutroni, sottoposte all'interazione forte), due fasci contro-rotanti di particelle vengono fatti collidere a velocità prossime a quelle della luce.

Sono previsti due diversi programmi di ricerca: uno con soli protoni, con energie di 7 TeV, e uno con ioni di piombo, con energie di 2.25 TeV. L'obiettivo degli esperimenti è trovare risposta a domande sull'origine della massa, sulla supersimmetria e sulla materia oscura, ricreando le condizioni che esistevano nell'Universo pochi microsecondi dopo il Big Bang. Il Large Hadron Collider ha una circonferenza di 27 km ed è costruito in un tunnel a circa 100 m di profondità. Nelle sue linee essenziali, è costituito da 16 cavità a radiofrequenza che accelerano i fasci contro-rotanti di particelle, da 1232 dipoli lunghi 14.3 m che piegano il fascio lungo la circonferenza e da più di 2500 altri tipi di magneti, fra cui anche quadrupoli superconduttori necessari per focalizzare il fascio.

Le particelle vengono fatte scontrare in 4 punti dell'anello, dove sono installati i 4 rivelatori principali, ciascuno dei quali specializzato per una diversa analisi delle collisioni prodotte,

### Relatori:

Prof. Ing.  
Leonardo Masotti

Prof. Ing.  
Elena Biagi

Ing.  
Davide Bozzini

che a regime potranno arrivare, per quanto riguarda i protoni, fino a circa 600 milioni al secondo. I dati acquisiti vengono gestiti attraverso una rete di calcolatori (Grid) e resi disponibili a scienziati che operano in tutto il mondo.

Con il progetto di tesi ho sviluppato uno strumento, nell'ambito dell'Electrical Quality Assurance Plan, in grado di rilevare con precisione guasti elettrici lungo l'anello.

Il piano di assicurazione qualità è stato definito per garantire il corretto funzionamento di tutti i circuiti elettrici superconduttori durante e dopo le fasi di trasporto, assemblaggio e messa in funzione dei componenti dell'LHC.

La difficoltà del lavoro è stata prima di tutto determinata dalla complessità del sistema da indagare: circa 35.000 tonnellate di circuiti elettrici.

I magneti superconduttori e i 1750 circuiti superconduttori che li alimentano lavorano alla temperatura di 1.9 K, quindi, oltre a essere distribuiti su una geografia molto vasta e a profondità elevata, risultano inaccessibili per motivi di raffreddamento.

In acceleratori convenzionali l'accessibilità dei circuiti alle estremità di ogni magnete permette di effettuare misure per la diagnostica in modo relativamente facile e rapido, anche per la possibilità di isolare elettricamente parti del circuito.

La complessità di una macchina realizzata con materiali superconduttori, invece, il difficile accesso alle parti vitali dei circuiti elettrici e le interconnessioni saldate e chiuse in un involucro criogenico, hanno motivato lo sviluppo di metodi specifici per la rilevazione di guasti elettrici e per la loro precisa localizzazione all'interno del segmento dell'acceleratore che li contiene.

*la prima difficoltà del lavoro è stata determinata dalla complessità del sistema da indagare: circa 35.000 tonnellate di circuiti elettrici*





In particolare, il dispositivo che ho progettato e realizzato soddisfa i seguenti requisiti:

- localizza guasti con metodi di indagine non distruttivi;
- localizza con elevata precisione la posizione del guasto;
- individua difetti di vario tipo, come circuiti aperti, corto circuiti e guasti resistivi;
- è facilmente trasportabile all'interno del tunnel;
- è economico e quindi facilmente replicabile in diversi esemplari.

All'inizio ho condotto uno studio dal quale ho rilevato che una possibile soluzione per individuare guasti elettrici nei circuiti superconduttori dell'LHC è data dalla combinazione di metodi di riflettometria nel dominio del tempo con impulsi ad alta tensione. La riflettometria nel dominio del tempo si basa sullo stesso principio di funzionamento dei radar. Un segnale elettromagnetico viene iniettato nel sistema e, a seconda dei cambiamenti di impedenza lungo la linea, l'impulso (o parte di esso) viene riflesso. Misurando ampiezza e fase dei segnali riflesso e trasmesso è possibile risalire alla posizione e alla natura dei difetti nel sistema.

Questo metodo ha importanti vantaggi: può essere applicato anche dopo che il guasto si è verificato, può essere ripetuto più volte per

rilevare difetti multipli e può individuare diversi tipi di difetti che portano a corto circuiti e a circuiti aperti.

L'alta tensione è necessaria per rilevare anche i guasti detti "maliziosi", ovvero, ad esempio, quelle parziali perdite di isolamento che disturbano il circuito quando esso lavora ai suoi valori nominali, ma che non vengono rilevate da prove con segnali a bassa tensione. A seguito dello studio condotto, ho progettato e realizzato un generatore di stretti impulsi in alta tensione che viene usato connesso a un oscilloscopio digitale veloce.

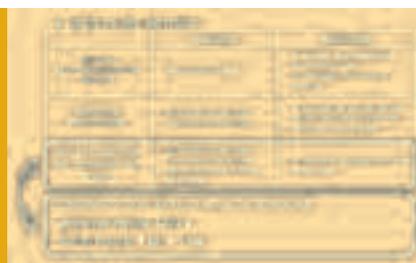
Lo strumento genera un impulso di breve durata (fino a 100 ns) con una tensione di picco fino a 2 kV.

Il dispositivo è costituito da 4 moduli, ciascuno con una funzione specifica:

- *generatore del segnale di controllo*: questo modulo genera il segnale necessario per controllare lo stadio di uscita. Sia la frequenza che l'ampiezza degli impulsi possono essere regolate;
- *alimentatore alta tensione*: questo modulo fornisce la tensione di uscita, nel mio caso fino a 1.2 kV;
- *stadio di uscita*: questo modulo include gli interruttori MOS, i loro driver e circuiti di lettura;
- *alimentatore bassa tensione (5 V e +/- 15 V)*.

In primo luogo mi sono concentrata sull'identificazione dei requisiti di dettaglio per il progetto del generatore del segnale di controllo e, da un esame dell'ambiente di utilizzo dello strumento, sono emerse le seguenti caratteristiche:

- generazione di impulsi con una frequenza di 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1000 Hz: alcune strutture sotto esame potrebbero mostrare una frequenza di risonanza;



- generazione di impulsi con una durata di  $1'' \mu\text{s}$ ,  $10'' \mu\text{s}$ ,  $100'' \mu\text{s}$ : dalla durata dell'impulso dipende l'accuratezza con cui è individuato il guasto e la minima distanza alla quale il difetto può essere osservato;
- possibilità di eseguire una calibrazione fine di frequenza e di durata;
- possibilità di accettare in ingresso un impulso manuale, nel caso che siano necessarie particolari sequenze di impulsi;
- generazione di un'uscita di trigger, utile se il generatore deve essere collegato e sincronizzato con altri strumenti di misura.

Il generatore del segnale di controllo è basato su tre timer, ciascuno dei quali regola un parametro del segnale come frequenza e durata.

Dopo aver progettato il circuito elettrico del generatore ho simulato le sue funzionalità con Pspice 9.2 verificandone il corretto funzionamento.

Per quanto riguarda l'alimentatore alta tensione, ho scelto un modulo commerciale, che genera un'uscita negativa di 1200 V e una corrente di 25 mA, con una potenza massima di uscita di 30 W.



*per ottenere le basse resistenze richieste, le interconnessioni elettriche degli elementi a superconduttore sono saldate ultrasonicamente, non possono essere aperte e non sono accessibili per l'individuazione di guasti elettrici*



L'output che proviene dal generatore del segnale di controllo è usato per comandare lo stadio di uscita, che è configurato come un interruttore MOSFET single ended.

I MOSFET sono pilotati da un driver che separa elettricamente il modulo del segnale di controllo dalla parte in alta tensione con degli optoisolatori.

Poiché le tensioni di uscita del generatore di impulsi possono essere pericolose e anche mortali per un operatore, ho previsto un circuito di sicurezza che disabiliti l'uscita quando necessario. Per garantire un margine di sicurezza ho usato un relè per alte tensioni di tipo normalmente aperto, che può operare fino a 7.5 kV; questo assicura che il circuito sia disconnesso quando il relè è inattivo.

Per la realizzazione dei circuiti stampati ho usato il programma P-CAD versione 2004, con il quale ho gestito tutte le operazioni di progettazione, dal disegno degli schematici al posizionamento dei componenti sulle schede, alla generazione di file standard per l'incisione delle schede e per il disegno serigrafico.

Ho progettato il generatore di impulsi in modo che possa essere assemblato in un rack standard 3U di 19", come la maggior parte degli strumenti elettronici di misura usati al CERN.

Una volta completato il montaggio del generatore, ho effettuato i test per verificare la sua funzionalità e ho eseguito le necessarie calibrazioni.



## Grado di innovazione dei risultati ottenuti

Il generatore che ho progettato e realizzato ha risolto una delle esigenze del CERN fino ad allora non coperta.

Studi preliminari erano stati sviluppati nella primavera del 2005, cioè circa un anno e mezzo prima del mio arrivo, ma non avevano condotto a uno strumento operativo, quindi dovevano essere ripresi, valutati e riorganizzati per rispondere ai bisogni del centro di ricerca.

Inoltre, così come io ho fatto, era necessaria la traduzione in pratica degli studi effettuati e la immediata realizzazione di un prototipo funzionante, che potesse essere impiegato già nelle ultime e più significative fasi di assemblaggio dell'LHC.

Molti dei problemi tecnici che potevano sorgere nei circuiti elettrici si sarebbero presentati inevitabilmente in fase di assemblaggio e quindi era necessario disporre di strumenti consoni al controllo entro la metà del 2007: dopo circa 14 anni di lavori, molti dei circuiti erano ancora parzialmente accessibili per misure, ma già difficilmente estraibili.

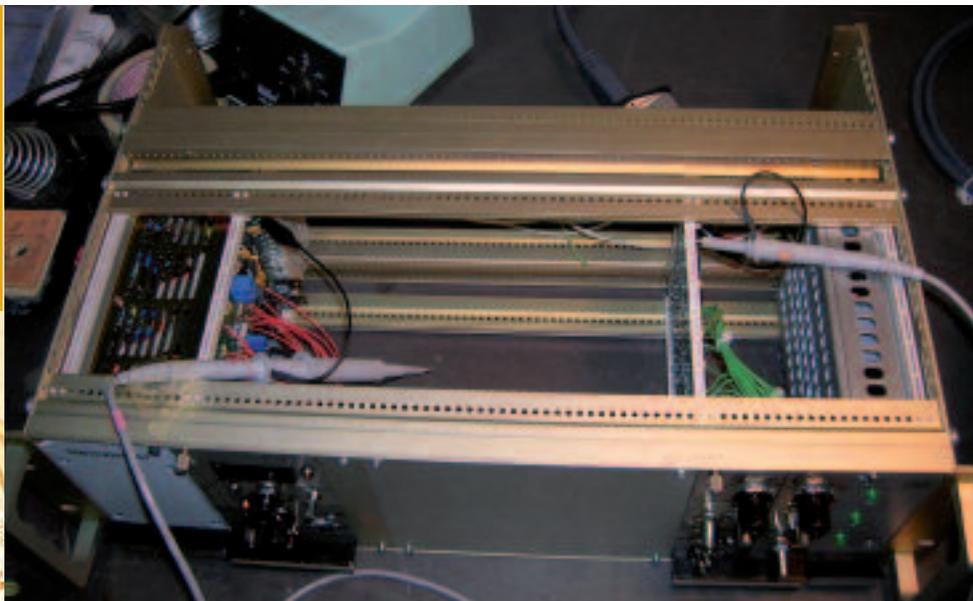
Una ancora maggiore rilevanza nell'utilizzo di strumenti di controllo non distruttivi e remoti si è registrata nel 2008, quando i moduli dell'LHC sono stati inseriti negli alloggiamenti definitivi.

Per ottenere le basse resistenze richieste, le interconnessioni elettriche degli elementi che compongono un circuito sono saldate ultrasonicamente, non possono essere aperte e non sono accessibili per l'individuazione di guasti elettrici.

Con lo *start up* ampie aree dell'anello sarebbero divenute del tutto inaccessibili.



*Costanza Cavicchioli ha fatto un passo avanti e ha portato un grande contributo alle future necessità del CERN nel campo dei metodi di diagnostica per guasti elettrici in strutture di superconduttori...*



## Impatto applicativo dei risultati ottenuti

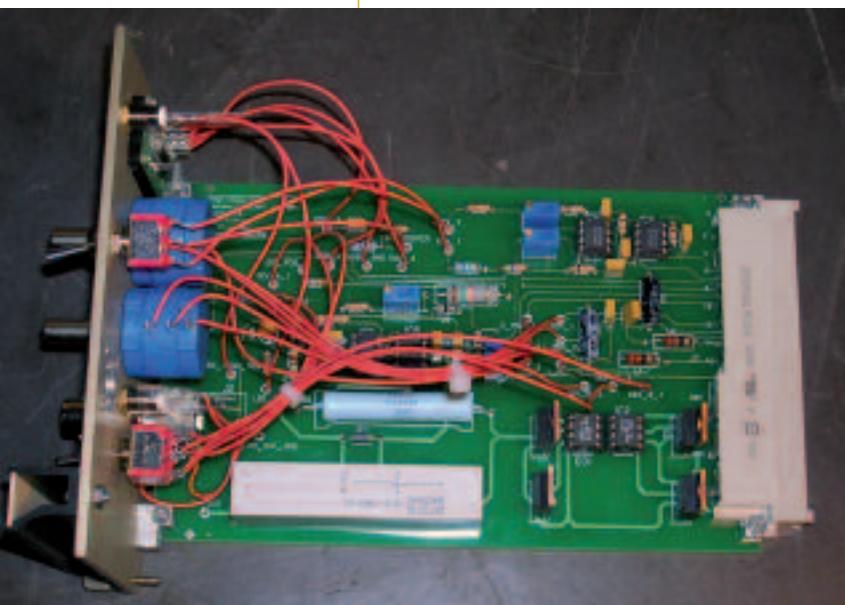
«Costanza Cavicchioli, nell'ambito del suo incarico di Technical Student al CERN, ha fatto un passo avanti e ha portato un grande contributo alle future necessità del CERN nel campo dei metodi di diagnostica per guasti elettrici in strutture di superconduttori». Così si è espresso nei confronti del mio lavoro di tesi l'Activity Leader del Dipartimento AT/MEL-EM del CERN, che aveva in carico tra l'altro l'Electrical Quality Assurance Plan.

«In sintesi, ci dobbiamo congratulare con Costanza Cavicchioli... Il sistema sarà usato da ingegneri e fisici in carico all'ELQA durante la diagnostica e la manutenzione dell'LHC». Questa la decisione presa dal Section Leader e dall'Activity Leader.

Per quanto riguarda il CERN, in effetti l'impatto applicativo è certamente notevole, perché in caso di guasto è strategico poter individuare con esattezza il segmento dell'anello di 27 km sul quale è necessario intervenire.

Il tempo di soluzione è come minimo dell'ordine di alcune settimane, perché è necessario portare a temperatura ambiente il segmento difettoso, trasportarlo in superficie, intervenire per la riparazione e poi calare tutto di nuovo nel tunnel e raffreddare nuovamente a temperatura criogenica, ricominciando con test e calibrazioni. È chiaro che non si può procedere per tentativi, quindi il sistema di *fault detection* ha un'elevata rilevanza.

Per quanto riguarda possibili applicazioni esterne al CERN, questo sistema di *fault detection* potrebbe a mio avviso essere usato da organizzazioni che gestiscono reti distribuite di grandi dimensioni. Si pensi ad esempio alle reti di distribuzione dell'elettricità o ai cavi per le comunicazioni (anche interrati).



Andrea Rametta

1° classificato

Relatore:

Prof. Enrico Vicario

## 1. Inquadramento del tema trattato e del lavoro svolto:

L'E-Learning è il processo di formazione a distanza svolto utilizzando internet e computer. Negli ultimi anni si sta osservando una migrazione dell'E-Learning verso un approccio single-user. Ciò comporta:

1. Possibilità di creare un percorso per l'utente, prevedendo:
  - storico dei risultati ottenuti agli esercizi;
  - ragionamenti su questi dati.
2. Possibilità di adattare il sistema alle necessità dell'utente, avere cioè:
  - navigazione tra i contenuti secondo un certo "filo logico";
  - percorsi "interessanti" proposti per lo studente.

L'obiettivo stabilito nella realizzazione di questa tesi è creare un'applicazione che sia di supporto a docenti e a studenti per la didattica, cioè per la consultazione di materiale didattico, di programmazione di corsi, l'iscrizione a tali corsi, lo svolgimento di esercizi ed esercitazioni riguardo ai corsi a cui uno studente è iscritto e la correzione di tali prove.

L'applicazione web prevede:

- un modello per l'archiviazione del materiale didattico (elementi di conoscenza) realizzato tramite ontologie;
- la creazione di categorie di elementi di conoscenza e l'inserimento di relazioni tra essi;
- la possibilità di effettuare dei ragionamenti sui dati del modello.

Mi sono concentrato sull'utilizzo di un'architettura ontologica sia perché negli ultimi anni l'aspetto semantico delle informazioni, soprattutto nel web, ha preso sempre più campo, sia perché l'utilizzo di ontologie permette azioni e comportamenti difficilmente realizzabili con strumenti classici come database relazionali. Da qui il termine da me coniato per rendere evidente ciò di cui ci stiamo occupando, cioè *E-Learning* ontologico, da cui *O-Learning*. L'obiettivo della tesi è la realizzazione di un *repository* di materiale didattico che permetta la sperimentazione di tecnologie ontologiche per la gestione del materiale contenuto.

Il primo passo fatto è stato definire quali sono le funzionalità che vanno implementate nell'applicazione. Si è scelto di utilizzare come cardine su cui basare l'applicazione l'elemento di conoscenza. Intorno a questo ruota tutta la struttura dell'ontologia. Infatti, tra tali elementi di conoscenza, vengono definite, delle relazioni del tipo "deriva da" e "si specializza in", in modo da poter creare delle gerarchie di elementi di conoscenza ed effettuare delle navigazioni tra tali elementi (vedi figura 1).

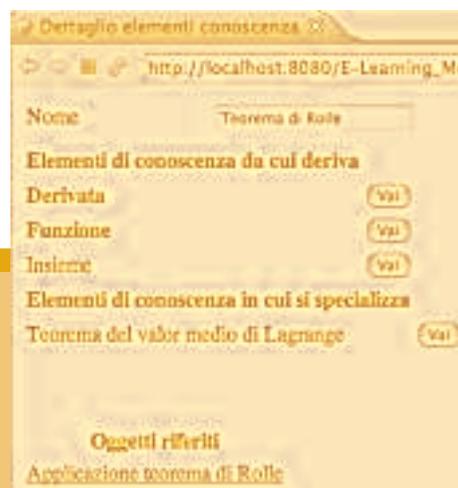


Fig. 1 - Navigazione tra elementi di conoscenza

# O-Learning:

progettazione e sviluppo di un'applicazione ontologica  
per la gestione di un archivio  
di risorse didattiche

Inoltre tali elementi vengono inseriti in uno o più contenitori, le categorie, che raggruppano elementi di conoscenza accomunati da uno stesso contesto. Anche per quanto riguarda i corsi presenti sono disponibili delle relazioni con gli elementi di conoscenza in modo da definire gli argomenti trattati nel corso specificando quali sono gli elementi stimolati. In corrispondenza dei corsi sono presenti degli esercizi o esercitazioni, anch'esse, come prevedibile, legate agli elementi di conoscenza che vengono trattati. Questo sistema di relazioni semantiche permette di realizzare servizi quali il recupero di esercizi che vanno a stimolare un determinato argomento di conoscenza o una determinata categoria, oppure la creazione automatica di esercitazioni a partire da un corso.

La base di conoscenza è stata progettata secondo il seguente schema: è presente la classe *Elemento\_conoscenza* e le cui istanze sono proprio gli elementi di conoscenza creati e le relazioni tra tali elementi sono definite come relazioni riflesse sulla classe stessa; è presente la classe *Categoria* contenente al suo interno altre sottoclassi che identificano le categorie inserite dall'utente. Per permettere la categorizzazione, come detto sopra, si è sfruttata una particolarità delle ontologie, ossia la possibilità di avere un'istanza che eredita da più classi. In questo modo è stato possibile far sì che un'istanza di *Elemento\_conoscenza* sia anche istanza di *Categoria* permettendo la categorizzazione e la contestualizzazione della conoscenza (vedi figura 2).

È presente una parte anagrafica contenente le classi relative ai dati di professori e studenti; è presente una classe che modella il corso e in cui sono presenti relazioni con gli elementi di conoscenza; sono presenti classi per la gestione degli esercizi ed esercitazioni anch'esse in relazione con gli elementi di conoscenza.

Inoltre gli elementi di conoscenza possono anche essere collegati a riferimenti esterni in modo da approfondire ulteriormente la trattazione presente nella descrizione di tale elemento.

Le figure 3 e 4 rappresentano uno schema delle relazioni sopra descritte.

Una volta definito teoricamente ciò che l'applicazione sarà in grado di fare è stata creata l'ontologia definendo le classi e le proprietà

Fig. 2 - Schema dell'ereditarietà multipla applicata al modello



Fig. 3 - Modello delle relazioni tra le componenti del sistema rispetto l'elemento di conoscenza

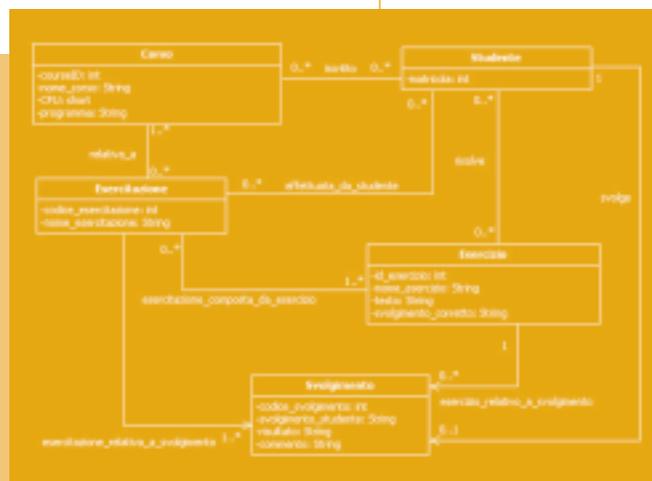


Fig. 4 - Modello delle relazioni tra le componenti del sistema rispetto gli esercizi

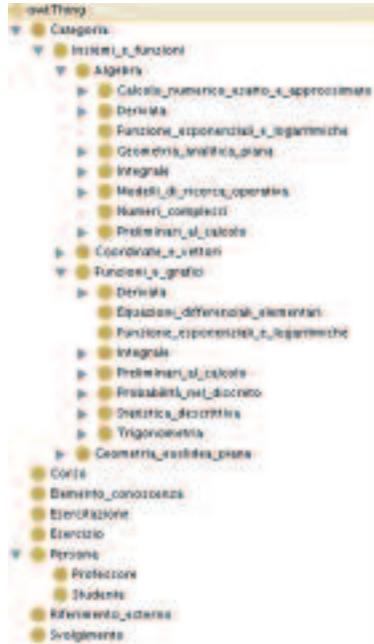


Fig. 5 - Schema delle relazioni in Protégé

di tali classi. Queste non fanno altro che rispecchiare la struttura definita nel momento della progettazione. Per fare ciò ci si avvale dell'aiuto di Protégé [1] e si ottiene lo schema in figura 5.

Con questo modello definito è possibile quindi andare a costruire intorno ad esso l'applicazione vera e propria.

L'applicazione è stata sviluppata utilizzando la tecnologia J2EE per quanto riguarda l'elaborazione dei dati, mentre è stata utilizzata la tecnologia JSF per quel che riguarda la visualizzazione di tali dati. È stato scelto di utilizzare Java per poter rendere più portabile l'applicazione e perché sono disponibili delle apposite librerie per poter gestire le ontologie (nell'applicazione è stata utilizzata la libreria JENA [2]).

Per poter progettare l'applicazione è stato fatto uso di una modellazione delle classi utilizzando UML. In questo modo è stato possibile, tramite passaggi successivi, ottimizzare le relazioni tra le varie classi presenti in modo da eliminare informazioni ridondanti. Il modello inizialmente pensato infatti non è risultato adatto allo scopo, in particolare non permetteva di sfruttare l'ereditarietà multipla. Tramite raffinamenti successivi si è giunti al modello presentato sopra.

La parte fondamentale dell'applicazione sono le relazioni che esistono all'interno dell'ontologia tra le varie componenti. Il linguaggio utilizzato per descrivere l'ontologia è OWL (*Ontology Web Language*), che a sua volta si basa su RDF (*Resource Description Framework*). RDF è formato da triple Soggetto, Predicato, Oggetto: il Soggetto e l'Oggetto sono degli individui di una classe, mentre il Predicato è una proprietà che lega questi individui. Tale Predicato può essere: transitivo, simmetrico, funzionale, inverso e funzionale inverso. Grazie a ciò è stato pos-

sibile mettere in relazione informazioni altresì scollegate in modo da aggiungere potenzialità al sistema. Infatti è possibile, grazie a tali relazioni, ad esempio, recuperare tutti gli esercizi che stimolano delle conoscenze insegnate in un corso, senza tuttavia collegare direttamente al corso tali esercizi.

La potenzialità offerta dall'utilizzo di ontologie è stata ampliata applicando delle semplici regole di inferenza ai dati, che sfruttano alcune proprietà del Predicato della tripla RDF, e quindi delle relazioni presenti nel modello, in modo da dedurre ulteriori informazioni utili per la gestione degli elementi di conoscenza. Infatti la navigazione tra elementi di conoscenza è possibile grazie alle regole applicate al modello. Il funzionamento delle regole di inferenza è mostrato in figura 6.

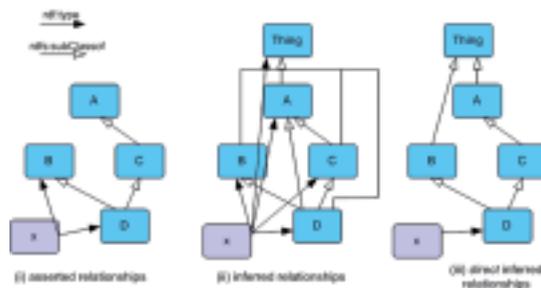


Fig. 6 - Relazioni di inferenza

Infatti è stato possibile inferire la regola di "specializzazione" per quanto riguarda gli elementi di conoscenza basandosi sulla regola di "derivazione", dichiarata al momento della creazione dell'elemento, e su una regola di inferenza scritta *ad-hoc* e interpretata da un *reasoner*. Utilizzando ciò è stata realizzata la navigazione semantica descritta in precedenza e mostrata in figura 1.

Un riassunto delle componenti di un modello ontologico è presente in figura 7.

Definito il modello e scritta l'ontologia siamo passati a definire ciò che effettivamente è pos-

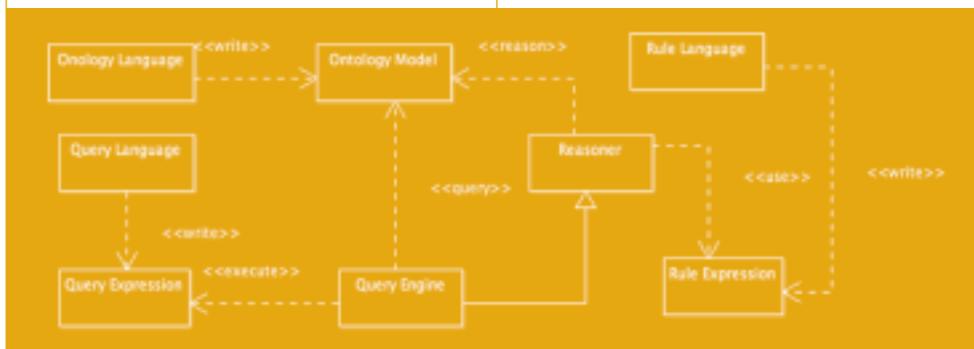


Fig. 7 - Componenti del modello ontologico

l'obiettivo stabilito della tesi: creare un'applicazione di supporto a docenti e a studenti per la didattica, per la consultazione

di materiale didattico, per la programmazione di corsi, lo svolgimento di esercizi ed esercitazioni...



Fig. 8 - Casi d'uso del professore

sibile fare con questa applicazione. Essa è sviluppata e organizzata in due sezioni: una per il professore e una per lo studente.

Il professore (vedi figura 8) ha capacità di CRUD su tutti gli elementi del sistema che riguardano i corsi, la conoscenza e gli esercizi, in particolare sono rilevanti l'aggiunta e la categorizzazione degli elementi di conoscenza e la definizione delle associazioni per la navigazione semantica.

Per quanto riguarda la creazione di elementi di conoscenza il professore si occupa di definire i legami con gli elementi di conoscenza da cui deriva e di inserire il nuovo elemento in un'opportuna categoria. Gli assocerà, se necessario, anche un riferimento esterno tramite un link (vedi figura 9).

Lo studente invece (vedi figura 10) consulta il materiale didattico e naviga tra elementi di conoscenza attraverso i collegamenti semantici, inoltre richiede gli esercizi sia per contesto che per contenuto e legge i risultati in ordine di voto.

La possibilità di richiedere esercizi per contesto o per contenuto è data dal fatto che gli

Fig. 9 - Screenshot della maschera per l'aggiunta di un elemento di conoscenza

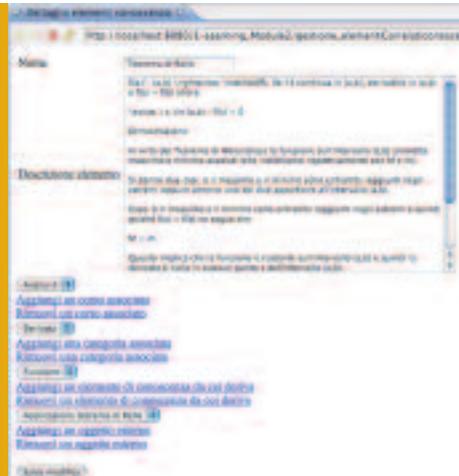


Fig. 10 - Casi d'uso dello studente

esercizi sono stati inseriti in una categoria opportuna. Tramite l'ereditarietà multipla, come detto in precedenza, è possibile far derivare un oggetto da più classi.

## 2. Grado di innovazione dei risultati ottenuti

I risultati ottenuti con il lavoro di Tesi si possono notare confrontandoli con i risultati di applicazioni già affermate nel campo dell'E-Learning. Nello sviluppo dell'applicazione sono stati presi in esame tre sistemi per E-Learning:

- OLAT: OLAT (*Online Learning And Training*) è un Learning Management System open-source sviluppato all'Università di Zurigo. [3] È un sistema completo, permette la creazione di Learning Objects molto complessi (con componenti multimediali quali immagini e video) e permette una gestione avanzata dei corsi. Come l'applicazione da me sviluppata è prevista la possibilità di gestire le risorse utilizzate per l'apprendimento effettuandone una catalogazione, la creazione di corsi, di test e di esercizi. Il punto di forza rispetto ad OLAT è la gestione dei dati persistenti. Mentre in OLAT ci si affida a DataBase e quindi ad un DataBase Management System, nell'applicazione da me sviluppata la persistenza è gestita con un modello ontologico scritto in OWL. Questo permette una gestione più semplice della persistenza in quanto è necessario uno, al massimo due, file da collocare in una directory invece di installare un DBMS (quindi anche meno risorse computazionali e di memoria utilizzate).
- Freelearn: Freelearn [4] è anch'esso un applicativo sviluppato per una tesi di Lau-

*è possibile applicare le idee sviluppate a svariati contesti che ruotano intorno all'E-Learning, non solo nell'attività didattica scolastica, ma anche nella formazione di personale aziendale o in tutti quegli ambienti dove è necessario istruire persone*

il lavoro prodotto ha permesso di unire tecnologie proprie del Semantic Web, ambiente in continua evoluzione, con le tecniche di apprendimento a distanza, ambiente invece ampiamente consolidato

rea alla Facoltà di Sociologia dell'Università La Sapienza di Roma. Il punto su cui ruota questo progetto sono i corsi, mentre l'applicazione da me sviluppata è incentrata sull'elemento di conoscenza in quanto tale e quindi opera ad un livello di astrazione più alto. Dato che i corsi sono di per sé formati da elementi di conoscenza, andando ad operare su tali elementi si possono implementare servizi che lavorando sui corsi sarebbero più difficili da realizzare. La visione data della struttura è semantica, ci si preoccupa dei contenuti di un corso in modo indipendente dal corso stesso.

- ROSA Project: questo è il progetto che più si avvicina all'applicazione sviluppata [5]. Anch'esso si basa su un'architettura ontologica e i servizi offerti sono molto simili a quelli da me proposti (sono presenti ulteriori servizi non previsti dal mio lavoro di Tesi in quanto ritenuti non necessari per gli obiettivi prefissati). Il notevole vantaggio dell'applicazione da me sviluppata sta nel fatto che non si è reso necessario definire un'apposita algebra e un linguaggio di interrogazioni per la gestione dei dati, cosa che in ROSA è stata fatta, ma vengono utilizzati solo gli strumenti standard e disponibili pubblicamente senza definirne di nuovi. Con gli strumenti da me utilizzati gli obiettivi in comune con ROSA sono stati lo stesso realizzati.

### 3. Possibile impatto applicativo dei risultati ottenuti

Grazie a quanto sperimentato con il lavoro di Tesi, è possibile applicare le idee qui sviluppate a svariati contesti che ruotano intorno all'E-Learning, da vedere non solo come attività didattica scolastica, ma come per esempio la formazione di personale aziendale o tutti quegli ambienti dove è necessario istruire delle persone.

L'utilizzo di soli strumenti standard, e non definiti appositamente, fa sì che il prodotto sia aperto a molti possibili sviluppi futuri da parte di chi lavora in questo campo ed è familiare con gli strumenti utilizzati (*J2EE*, *JSF*, *JENA*). Il fatto che vengano utilizzate

delle ontologie per la persistenza dei dati fa sì che sia più semplice e meno onerosa, in fatto di spazio, la loro memorizzazione, in quanto non vengono usati DataBase e DBMS.

#### Rilevanza scientifica dei risultati ottenuti ed eventuali pubblicazioni

Il lavoro da me prodotto ha permesso di unire tecnologie proprie del *Semantic Web*, ambiente in continua evoluzione, con le tecniche di apprendimento a distanza, ambiente invece ampiamente consolidato. Questa applicazione permette quindi di unire questi due mondi di per sé separati e di poter gestire in modo molto più agile il percorso formativo di uno studente. Tra i possibili sviluppi futuri dell'applicazione c'è la possibilità per lo studente di richiedere al sistema di proporgli quegli esercizi che vanno a stimolare le conoscenze che sono state meno apprese durante la formazione. Ciò è possibile appunto grazie all'utilizzo di ontologie, il sistema analizza gli esercizi svolti e, grazie ai legami categoria-elemento di conoscenza, riesce a recuperare gli esercizi che stimolano conoscenze che in precedenza hanno portato cattivi risultati negli esercizi relativi già proposti.

Basandosi sempre sulle relazioni tra elementi è possibile, come ulteriore sviluppo, riuscire a dedurre le propedeuticità tra i corsi trattati, in modo tale da impedire l'iscrizione ad un corso se prima non si è seguito e svolto in maniera corretta gli esercizi e le esercitazioni, o eventuale esame, per il corso che tratta argomenti base relativi al corso a cui ci si vuole iscrivere.

#### Riferimenti bibliografici

- [1] *The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System*, <http://protege.stanford.edu/>
- [2] *Jena Semantic Web Framework*, <http://jena.sourceforge.net/>
- [3] *OLAT Open Source LMS*, <http://www.olat.org/>.
- [4] *Freelearn*, <http://www.freelearn.it/>.
- [5] PORTO E., DE C. MOURA A. M., DA COUTINHO DA SILVA F. J., *Rosa: a repository of objects with semantic access for e-learning. Database Engineering and Applications Symposium*, 2004. IDEAS apos; 04. Proceedings. International, p. 486-488, 7-9 July 2004.

# Protocollo di Instradamento Robusto con Metrica Cross-Layer per Reti Ad-Hoc

## Prefazione

Questo lavoro di tesi si colloca nel settore delle reti ad-hoc per sistemi di telecomunicazioni, un segmento di mercato che sta riscontrando oggi un crescente interesse sia in ambito civile che militare.

Le reti ad-hoc sono reti *wireless*, prive di un'infrastruttura fissa di supporto, in cui i dispositivi terminali sono in grado di auto-organizzarsi e cooperare per garantire il corretto funzionamento della rete.

Reti di questo tipo possono garantire costi e tempi di messa in opera molto contenuti grazie all'eliminazione dell'infrastruttura di rete. In questo modo le reti ad-hoc possono essere utilizzate in ambienti ostili, in cui non è conveniente, o è perfino impossibile, installare preventivamente una struttura di supporto alla comunicazione.

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato la ricerca di tecniche che aumentassero la "robustezza" di una rete ad-hoc. I nostri sforzi si sono tradotti nella proposta di un protocollo di instradamento con caratteristiche innovative e dalle ottime prestazioni, soprattutto in applicazioni di "frontiera".

I protocolli di instradamento attualmente più diffusi, *Ad-hoc On Demand Distance Vector* (AODV) e *Dynamic Source Routing* (DSR), scelgono di instradare il traffico sui percorsi più corti in termini di *hop*, ovvero su quelli che attraversano il minor numero di terminali. Questo criterio di selezione dei percorsi non fornisce, però, alcuna garanzia che il percorso scelto sia stabile, in termini di variabilità della posizione dei terminali, che non giaccia in un ambiente elettromagnetico ostile e che non siano selezionati terminali congestionati.

Il protocollo proposto, denominato *Distributed Cross-Layer Fastest Path* (DXFP), invece, è in grado di scegliere i percorsi migliori in termini di mobilità, congestione dei terminali e qualità dei canali radiomobili. La metrica adottata è basata sul tempo medio statistico di attraversamento della rete, calcolato come funzione dei parametri che tengono conto, appunto, della mobilità, della congestione e della qualità dei canali. Inoltre, grazie all'adozione di questa metrica, si coniugano le esigenze di robustezza e di *Quality of Service* (QoS), le quali stanno divenendo un imperativo per i progettisti di rete.

Si è dimostrato, inoltre, che l'algoritmo DXFP è equivalente a un algoritmo di programmazione dinamica per la selezione dello *shortest path*, il che garantisce, analiticamente, l'ottimalità del percorso scelto fra tutti quelli che collegano sorgente e destinazione.

Il corretto funzionamento di DXFP è stato provato dalle simulazioni realizzate su piattaforma OMNeT++, in cui è emerso che DXFP si comporta, in condizioni operative difficili, meglio di DSR e AODV. I risultati hanno evidenziato che DXFP diminuisce i ritardi di consegna *end-to-end* dei pacchetti, seleziona percorsi con terminali dalle potenze in trasmissione più elevate, evita zone congestionate e terminali con alta mobilità. Oltre ai ritardi, DXFP migliora anche il *throughput* della rete, risultando quindi un protocollo affidabile, oltre che robusto.

## I. Reti Ad-Hoc

### I.1 Introduzione

Le reti ad-hoc sono reti *wireless* senza infrastruttura, dove i terminali possono comunicare direttamente fra loro e ognuno offre

Luca Fabbrini e  
Giulio Giovannetti

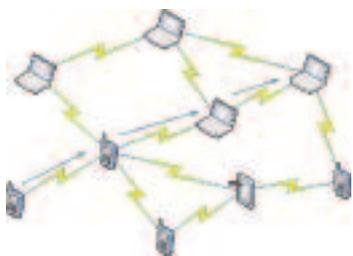
Menzione speciale

## Relatori

Prof.  
Lorenzo Mucchi

Prof.  
Luigi Chisci

Fig. 1.1 - Rete ad hoc

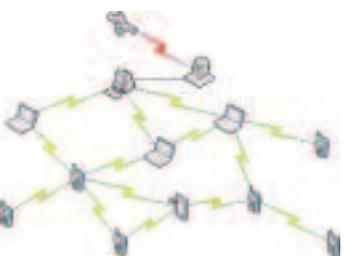


funzionalità di instradamento per conto degli altri, si veda la figura 1.1. Questo rende le reti ad-hoc molto versatili con tempi di messa in opera praticamente nulli e costi di gestione drasticamente ridotti.

## 1.2 Contesti applicativi

Per questo tipo di reti le applicazioni sono le più svariate, da contesti civili, come la connessione di dispositivi domestici, a contesti militari, come la comunicazione fra il personale militare operativo in teatri di guerra.

Fig. 1.2 - Connessione in rete ad-hoc di dispositivi in un contesto di emergenza



### 1.2.1 Applicazione di emergenza o militare

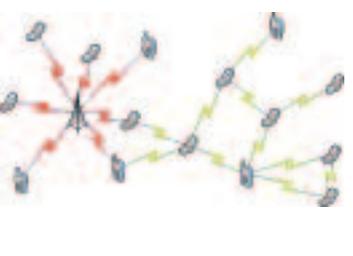
Le reti ad-hoc possono essere usate in contesti di emergenza dove risulta impossibile o non vi è tempo per creare un'infrastruttura di rete per il supporto del personale civile o militare che opera in ambienti ostili. La connessione a Internet potrebbe, ad esempio, essere fornita da un terminale con funzioni di *gateway*, che disponga di un collegamento satellitare e che sia parte di una rete ad-hoc, come nella figura 1.2.

### 1.2.2 Supporto a una rete infrastrutturata

Le reti ad-hoc possono essere usate anche come estensione di una rete infrastrutturata, ad esempio una rete cellulare (figura 1.3) o una WLAN (figura 1.4). Questo permette a dispositivi fuori dalla zona di copertura, di usufruire comunque dei servizi offerti da queste reti, sfruttando i collegamenti dei terminali sotto copertura, direttamente raggiungibili.

Per il gestore di rete queste funzionalità permettono di ridurre il numero dei punti di accesso dislocati sul territorio e di muoversi verso servizi che possono sfruttare una connettività sempre più globale, con una drastica riduzione dei costi di messa in opera.

Fig. 1.3 - Estensione di una rete cellulare

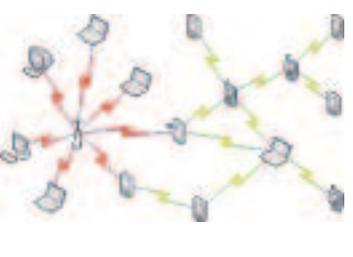


## 1.3 Problemi delle reti ad-hoc

### 1.3.1 Canale condiviso

In generale, il problema maggiore delle reti *wireless* deriva dalla condivisione dello stesso canale fisico da parte di tutti i terminali che compongono la rete. Trasmettere su un canale condiviso, cercando di interferire il meno possibile con le trasmissioni già in atto, è un problema di difficile soluzione.

Fig. 1.4 - Estensione di una rete WLAN



Nel caso delle reti ad-hoc, non esistendo un'infrastruttura di coordinamento, l'accesso al canale è obbligatoriamente di tipo casuale. Con questo tipo di accesso i terminali che vogliono trasmettere possono, al più, cercare di farlo solo se il canale è libero, ovvero rilevando lo stato del canale prima di una trasmissione, in modo da non "disturbare" quelle già in atto.

Il principale protocollo che regola l'accesso al canale fisico nelle reti ad-hoc è attualmente definito dallo standard IEEE 802.11. Questo tipo di protocollo è di tipo CSMA/CA, ovvero, un terminale rivela se il canale è libero prima di trasmettere, l'istante di trasmissione è scelto casualmente ed è previsto l'invio di un messaggio di riscontro (ACKnowledgment), da parte del terminale ricevente, in modo da permettere una nuova trasmissione del messaggio nel caso questo non sia stato ricevuto correttamente (collisione).

I protocolli di tipo CSMA/CA presentano un intrinseco problema di prestazioni, in quanto è impossibile annullare il numero di collisioni senza rendere troppo limitato il numero di trasmissioni che possono avvenire contemporaneamente. Si parla in questo caso di problemi di "nodo nascosto" (figura 1.6) e "nodo esposto" (figura 1.7).

Questi problemi limitano enormemente il numero di trasmissioni simultanee che possono avvenire con successo ed è stato recentemente dimostrato, tramite modelli matematici, che le prestazioni massime raggiungibili degradano, all'aumentare del numero di terminali  $n$  che compongono la rete, come  $1/\sqrt{n}$ . Da prove sperimentali, però, è emerso che per il protocollo IEEE 802.11, le prestazioni degradano come  $1/n^{1,68}$ , ovvero molto peggiore del limite teorico precedente.

### 1.3.2 Topologia variabile nel tempo

Un ulteriore problema delle reti ad-hoc è dovuto alla topologia, ovvero alla disposizione dei terminali sul piano, che risulta total-

Fig. 1.7 - Problema del "nodo esposto"



Fig. 1.6 - Problema del "nodo nascosto"

mente non prevedibile a priori e fortemente variabile con il tempo, principalmente a causa della mobilità dei terminali.

In questo contesto risulta di fondamentale importanza la scelta, effettuata da un terminale sorgente, del migliore percorso per comunicare verso un terminale destinazione. Questa scelta è effettuata dal protocollo di instradamento ed è per questo motivo che il lavoro di tesi si è concentrato sull'ideazione di un nuovo protocollo di questo tipo, con l'obiettivo di ottenere risultati migliori rispetto ai protocolli esistenti.

## 2. Problema dell'instradamento

### 2.1 Modello della Topologia

#### 2.1.1 Modello classico

Una topologia può essere rappresentata da un grafo  $G = (N, L)$ , come nella figura 2.1, dove  $N$  è un insieme finito di terminali o nodi e  $L \subseteq N \times N$  è un insieme di *link*. Si definisce una metrica<sup>1</sup>  $m$  una funzione che associa a ogni *link* un numero reale positivo, tale numero indica il costo di attraversamento del *link*. Dati i nodi  $i$  e  $j$ , si definisce percorso  $n$ -esimo  $P_{i,j}^n$ , una sequenza di *link* attraversati per andare dal nodo  $i$  al nodo  $j$ , dove  $n$  è uno degli  $N$  percorsi possibili. Si definisce costo di un percorso  $c(P_{i,j}^n)$ , la somma dei costi dei singoli *link* che compongono il percorso, ovvero  $c(P_{i,j}^n) = \sum_{l \in P_{i,j}^n} m(l)$ .

#### 2.1.2 Modello esteso

Nel nostro progetto il modello classico di topologia è stato esteso e si è proceduto a separare dal costo del *link*, il costo del terminale. La metrica classica indica solo il costo per attraversare un *link* mentre risulta più opportuno, nelle reti ad-hoc, considerare anche il costo per passare attraverso un terminale, in quanto alcuni di essi potrebbero essere più convenienti di altri, in termini di lunghezza della coda, stato della batteria, potenza in trasmissione, ecc. La figura 2.2 mostra il modello esteso che considera anche il costo dei terminali.



Fig. 2.1 - Modello classico di topologia

### 2.2 Problema dell'instradamento

Il problema dell'instradamento, dal nodo  $i$  al nodo  $j$ , può essere definito dalla seguente minimizzazione:

$$P_{i,j}^s : c(P_{i,j}^s) = \min_n c(P_{i,j}^n)$$

con

$$i, j \in N \text{ e } \forall n = 0, 1, \dots, n$$

ovvero il percorso da  $i$  a  $j$  che ha costo minimo. Questo tipo di problema è solitamente chiamato problema di *shortest path* o di cammino minimo.

### 2.3 Soluzioni

Le principali soluzioni al problema dell'instradamento, a oggi, sono rappresentate dai protocolli *Dynamic Source Routing* (DSR) e *Ad-hoc On-demand Distance Vector* (AODV), per i quali esiste una *Request For Comments* (RFC) di riferimento, rispettivamente la RFC 4728 e la RFC 3561.

Sia DSR che AODV selezionano il percorso verso la destinazione che presenta il minor numero di *hop* (*link*) senza valutare tutti i possibili percorsi che collegano la sorgente alla destinazione, ma solo una certa sottoparte. Il numero di *hop* è, inoltre, una metrica inadeguata a riflettere lo stato della rete in quanto non considera il costo dei terminali e considera unitario il costo di tutti i *link*.

Quindi è possibile affermare che DSR e AODV costituiscono soluzioni parziali al problema dell'instradamento.

### 2.4 Robustezza

Una caratteristica importante di un protocollo di instradamento è la "robustezza", definita in generale come la capacità di un sistema di mantenere continuità di servizio anche a fronte di variazioni dei parametri ambientali. Per un protocollo di instradamento la robustezza si traduce nella capacità di mantenere il servizio di consegna a fronte di variazioni della topologia.

DSR e AODV, considerando come metrica il numero di *hop*, ovvero un parametro statico, risultano non robusti alle variazioni della topologia nel tempo.

Per risolvere in maniera completa il problema dell'instradamento, e per rispondere alle esigenze di robustezza, si è proposto un nuovo protocollo di instradamento, il *Distributed Xlayer Fastest Path* (DXFP).

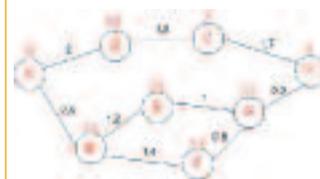


Fig. 2.2 - Modello di topologia esteso

<sup>1</sup> Si ricorda che una funzione  $d: L \rightarrow R^+$  è detta metrica se:  
 $d(i,j) = d(j,i) \forall i \neq j$   
 $d(i,j) \leq d(i,k) + d(k,j)$   
 con  $i, j, k$  distinti.

l'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato la ricerca di tecniche che aumentassero la "robustezza" di una rete ad-hoc, con la proposta di un protocollo di instradamento dotato di caratteristiche innovative e ottime prestazioni, soprattutto in applicazioni di "frontiera"

### 3. Distributed X-layer Fastest Path (DXFP)

#### 3.1 Chiarimento sull'architettura

Si vuole chiarire che il termine "X-layer" (contrazione di *cross-layer*), non si riferisce al tipo di architettura di rete usata nel progetto, quanto alla metrica, che utilizza informazioni dei livelli inferiori al livello rete per calcolare il costo del percorso. La figura 3.1 mostra le differenze fra la classica architettura stratificata e l'architettura *cross-layer*.

Nelle reti ad-hoc, non essendo stabilita una architettura di riferimento, si assiste a un sempre più frequente ricorso all'uso di architetture *cross-layer*, le quali, pur permettendo di ottenere prestazioni migliori, presentano intrinseci problemi di stabilità, che ne rendono difficile lo sviluppo, la manutenzione e l'interoperabilità tra i terminali.

La figura 3.2 mostra l'architettura che è stata usata nel progetto. Questa architettura è di tipo ibrido, ovvero, i livelli superiori possono conoscere tutti i parametri dei livelli inferiori, senza però poterne modificare il valore (evitando così possibili retroazioni, che causerebbero problemi di stabilità del sistema).

#### 3.2 Funzionamento di DXFP

##### 3.2.1 DXFP – connettività locale

Appena un terminale si accende, invia un messaggio in *broadcast*, detto di HELLO, per segnalare la propria presenza ai terminali vicini.

Questo tipo di segnalazione verrà inviata periodicamente in modo che ogni terminale possa creare e mantenere aggiornata una lista dei vicini. Ogni terminale  $i$  che riceve un messaggio di HELLO dal vicino  $j$ , ricava il valore di *Packet Error Rate* (PER) del *link* ( $i,j$ ), (supposto uguale al *link* ( $j,i$ )), che nella maggioranza dei casi è direttamente fornito dalla scheda di rete.

Per ricavare il costo del *link* ( $i,j$ ) non viene usato l'ultimo valore di PER ricevuto, ma un valore medio, ricavato memorizzando anche valori precedenti di PER. Questo espediente rende possibile la valutazione della qualità del canale ( $i,j$ ), evitando i problemi dovuti al *fading* veloce e permettendo di mantenere una visione "storica" della rete.

Qualora un terminale  $i$  non riceva un HELLO da un vicino  $j$ , durante l'intervallo di tempo che separa due trasmissioni di segnalazione, il terminale  $i$  suppone che  $j$  sia uscito dalla sua zona di copertura e vi associa un valore di PER penalizzante, che fa aumentare il costo del *link* ( $i,j$ ) rispetto agli altri.

##### 3.2.2 DXFP – Path Maintenance

La *Path Maintenance* è il processo avviato nel caso che un percorso tra sorgente e destinazione non sia più funzionante. Supponiamo che si utilizzi il percorso tra A e H, acquisito in precedenza e che il *link* (D,E) non sia più utilizzabile, si veda la figura 3.3(a). Appena il terminale D si accorge del malfunzionamento commuta automaticamente il traffico sul migliore percorso di riserva precedentemente memorizzato, dopo averne verificato il funzionamento tramite l'invio di un piccolo messaggio di test diretto a H, vedi figura 3.3(b).

Qualora un terminale non disponga di rotte di riserva, invia indietro un messaggio di errore, si veda la figura 3.3(c), in modo che il terminale precedente possa avviare la verifica delle proprie rotte di riserva e, nel caso una di esse funzioni, ripristinare il collegamento tra A e H, come nella figura 3.3(d).

##### 3.2.3 DXFP – Path Discovery

Il processo che risolve il problema dell'instradamento è quello di *Path Discovery*. Questo processo è avviato ogni volta che un terminale sorgente vuole comunicare con un terminale destinazione e non dispone di un percorso per raggiungerlo.

Supponiamo, come nella figura 3.4, che il terminale A voglia raggiungere H, se A non ha nessun percorso memorizzato verso H, invia un messaggio di richiesta in *broadcast*. Tale messaggio è inoltrato sempre in *broadcast* dai nodi intermedi fino a che non è ricevuto da H.

A questo punto H invia un messaggio di risposta in *unicast* a tutti i suoi vicini. Tale

Fig. 3.1 - Differenze tra il modello di architettura stratificato e quello cross-layer

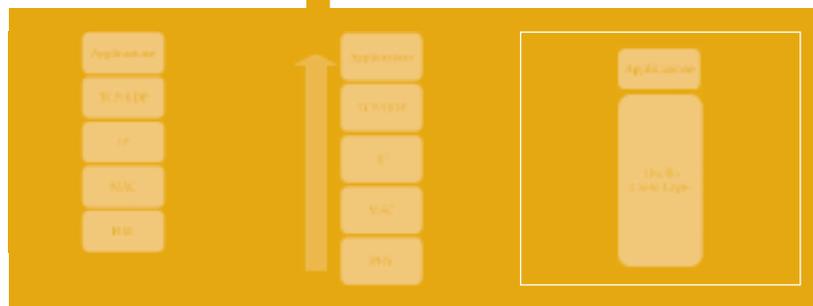


Fig. 3.2 - Modello "ibrido" di architettura, usato in DXFP

messaggio viene inoltrato a tutti i vicini, sempre in *unicast*, anche dai nodi intermedi, fino a che non si raggiunge A (figura 3.5). I messaggi di risposta sono di fondamentale importanza perché contengono il sottopercorso attraversato con la relativa metrica e sono quelli che informano ogni terminale di tutti i possibili percorsi per raggiungere la destinazione con il relativo costo. Si è scelto di inviare tali messaggi in unicast in modo da scongiurare perdite dovute a eventuali collisioni. Inviando i messaggi in *unicast*, infatti, è previsto l'invio di un riscontro da parte del terminale ricevente.

Un terminale che riceve un messaggio di risposta, dopo aver inviato il riscontro, memorizza nella propria tabella di instradamento il percorso che vi è presente e il relativo costo. Se il costo del percorso è migliore degli altri precedentemente memorizzati, il terminale procede a inviare a tutti i propri vicini tale percorso e il relativo costo, in modo da far propagare verso la sorgente il percorso ottimo.

Si può dimostrare che questo meccanismo di Path Discovery riesce a far selezionare alla sorgente il percorso ottimo e lo strumento di cui ci si è serviti per la dimostrazione analitica è la Programmazione Dinamica.

### 3.3 Programmazione Dinamica

La Programmazione Dinamica è uno strumento matematico, introdotto da Richard Bellman nel 1953, per il controllo ottimo di sistemi dinamici e si applica in contesti in cui si devono prendere decisioni per passi successivi. A ciascuna di queste decisioni è associato un risultato e un costo. L'obiettivo è quello di selezionare la sequenza di decisioni che minimizza il costo totale, dato dalla somma dei costi delle singole decisioni componenti la sequenza.

#### 3.3.1 Problema del Cammino Minimo

La programmazione dinamica si applica anche al problema del cammino minimo e in questo caso l'algoritmo risolutivo prende la seguente forma:

$$J_k(i) = \min_{j=0 \dots N} [a_{ij} + J_{k+1}(j)] \quad (3.1)$$

Dove:

- $N$ , Numero di ripetizioni dell'algoritmo (numero di nodi della rete);
- $k$ , Indice del Passo ( $k = 0, 1, \dots, N - 1$ );
- $i$ , Indice del Nodo ( $i = 1, 2, \dots, N$ );

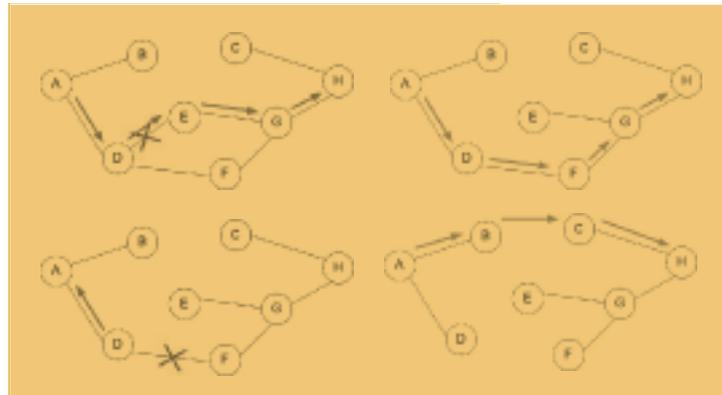


Fig. 3.3 - Illustrazione sintetica del processo di Path Maintenance.

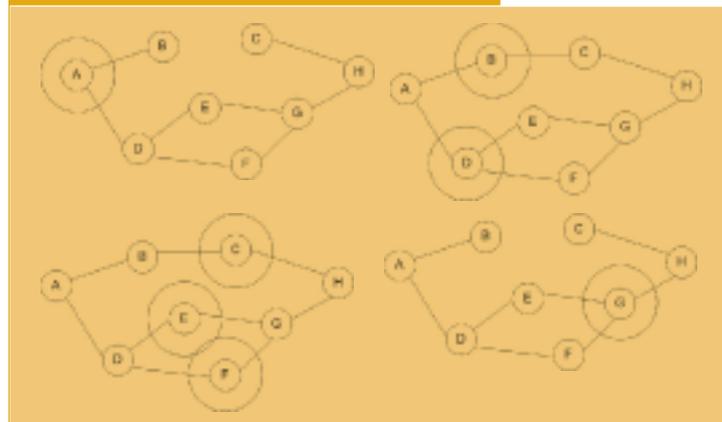


Fig. 3.4 - Illustrazione sintetica dell'invio di una richiesta nel processo di Path Discovery

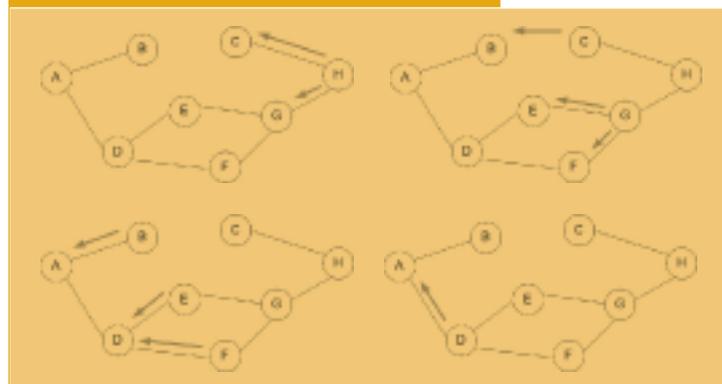


Fig. 3.5 - Illustrazione sintetica dell'invio di una risposta nel processo di Path Discovery

le reti ad-hoc sono reti wireless senza infrastruttura, dove i terminali possono comunicare direttamente fra loro e ognuno offre funzionalità di instradamento per conto degli altri

- $a_{i,j}$ , Costo di transizione dal nodo  $i$  al nodo  $j$ ;
- $J_k(i)$ , Costo ottimo per raggiungere la destinazione dal nodo  $i$  al passo  $k$ .

Il termine  $J_k(i)$  è ricavato scegliendo per ogni nodo  $i$ , di transitare sul nodo  $j$ , che minimizza la somma tra il costo  $a_{i,j}$  di transizione da  $i$  a  $j$  e il costo ottimo  $J_{k+1}(j)$  per raggiungere la destinazione da  $j$  al passo precedente. Ripetendo questo algoritmo per un numero di volte  $N$ , pari al numero di nodi della rete, si converge sulla soluzione ottima, ovvero quella a costo minimo.

### 3.3.2 DXFP e la programmazione dinamica

L'algoritmo appena illustrato consente di determinare, in modo centralizzato, il cammino a costo minimo da un nodo sorgente a un nodo destinazione.

DXFP offre un modo per distribuire l'algoritmo di programmazione dinamica, consentendo a tutti i terminali della rete di eseguire la (3.1).

### 3.4 Metrica

La metrica prevista da DXFP è di tipo *cross-layer* ed è definita da una funzione che rappresenta il "tempo medio di attraversamento della rete" per pacchetto:

$$T_{i,j} = W_i + R_{i,j} \quad (3.2)$$

dato dalla somma del:

- tempo medio di attesa in coda al nodo  $i$  ( $W_i$ );
- tempo medio di trasmissione di un pacchetto da  $i$  a  $j$  ( $R_{i,j}$ ).

#### 3.4.1 Tempo medio di attesa in coda $W_i$

John Little ha dimostrato nel 1962 che per stimare il tempo medio di attesa in coda è sufficiente monitorare l'andamento della lunghezza della coda nel tempo, per cui:

$$W_i(t) = \frac{\int_0^t Q_i(\tau) d\tau}{\alpha_i(t)} = \frac{\int_0^t [\alpha_i(\tau) - \delta_i(\tau)] d\tau}{\alpha_i(t)}$$

- $W_i(t)$ , Tempo medio di attesa in coda al nodo  $i$ , al tempo  $t$ ;
- $Q_i(t)$ , Lunghezza della coda del terminale  $i$  al tempo  $t$ ;

- $\alpha_i(t)$ , Numero di pacchetti arrivati in coda al terminale  $i$  al tempo  $t$ ;
- $\delta_i(t)$ , Numero di pacchetti trasmessi dal terminale  $i$  al tempo  $t$ .

#### 3.4.2 Tempo medio di trasmissione $R_{i,j}$

Il tempo medio di trasmissione di un pacchetto  $R_{i,j}$  è dato dal tempo di trasmissione nominale, definito dal rapporto fra lunghezza del pacchetto  $L$  e *bit rate*  $B$ , per il numero medio di volte  $X_{i,j}$  che questa trasmissione deve essere ripetuta, a causa delle perdite dei pacchetti, dovute alla non affidabilità del link ( $i,j$ ), ovvero:

$$R_{i,j} = E \left[ X_{i,j} \frac{L}{B} \right] = E [X_{i,j}] \frac{L}{B} \quad (3.4)$$

Si è dimostrato che  $X_{i,j}$  è una variabile aleatoria geometrica modificata di parametro  $1 - \text{PER}_{i,j}$ , la cui media è:

$$E[X_{i,j}] = \sum_{x=1}^{+\infty} x \text{PER}_{i,j}^{x-1} (1 - \text{PER}_{i,j}) = \frac{1}{1 - \text{PER}_{i,j}} \quad (3.5)$$

Sostituendo la (3.5) nella (3.4) si ottiene l'espressione completa del tempo medio di trasmissione:

$$T_{i,j} = W_i + \frac{L}{B} \frac{1}{1 - \text{PER}_{i,j}} \quad (3.6)$$

in cui si è riusciti a legare il tempo medio di trasmissione alla qualità dei canali, in termini di *Packet Error Rate*.

### 3.5 Considerazioni sul Protocollo Proposto

DXFP prevede una metrica *cross-layer*, che consente di prendere decisioni di instradamento con un alto livello di cognizione dello stato della rete.

Il processo di *path discovery* è robusto, in quanto è sufficiente che un solo messaggio di richiesta arrivi a destinazione per avviare la propagazione delle risposte su tutti i percorsi fra destinazione e sorgente.

Il percorso scelto è quello avente il minor tempo di attraversamento medio della rete.

Questo si riflette su percorsi aventi, congiuntamente la minor mobilità e la miglior qualità dei canali e il minor tempo medio di attesa in coda.

Il criterio di selezione del percorso di DXFP è ottimo in quanto se ne è dimostrata analiticamente la convergenza sul percorso a costo minimo.

Infine, durante la fase di *path discovery*, ogni nodo memorizza percorsi multipli verso la stessa destinazione in modo da aumentare la robustezza del sistema a fronte di variazioni della topologia.

## 4. Valutazione delle Prestazioni

### 4.1 Introduzione alle Simulazioni

Le simulazioni, realizzate su piattaforma OMNeT++, effettuate si basano sul modello di rete mostrato nella figura 4.1, in cui si hanno una sorgente e una destinazione alle estremità di una “nuvola” di terminali, configurati in una rete ad-hoc. Sempre nella figura 4.1 sono mostrati i protocolli utilizzati dai terminali.

Applicando in ciascuna delle simulazioni alcuni fattori di disturbo a questa nuvola, quali mobilità, congestione o diversa qualità dei canali, si sono confrontate le prestazioni di DXFP rispetto a DSR e AODV.

### 4.2 Qualità dei Canali

Il primo esperimento realizzato ha interessato una rete con 23 terminali fissi, disposti in una topologia a matrice illustrata nella figura 4.2. I terminali disponevano di diverse potenze in trasmissione:

- 1.60 mW per i terminali rossi;
- 0.85 mW per i terminali verdi;
- 0.40 mW per i terminali blu.

Questo modello consente di stimare reti aventi zone con diverse qualità dei canali.

Un protocollo di instradamento robusto dovrebbe selezionare il percorso che transita

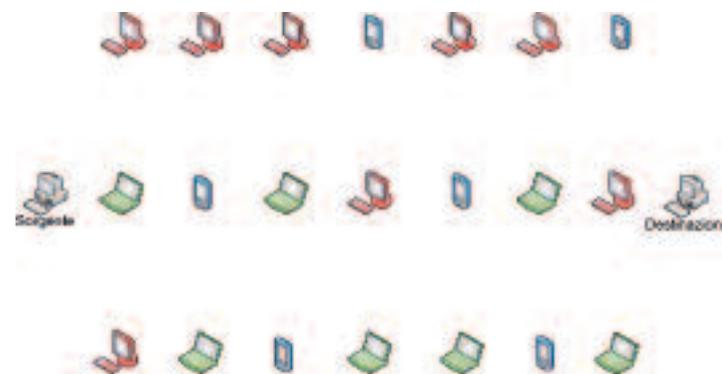


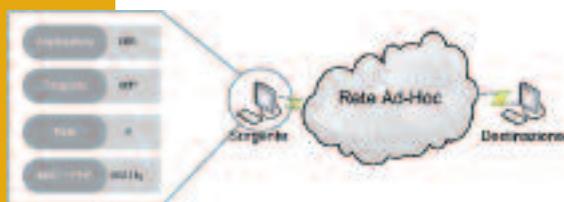
Fig. 4.2 - Topologia dello scenario con diversa qualità dei canali

sul maggior numero di terminali con alta potenza in trasmissione (terminali rossi), in modo da aumentarne l'affidabilità.

DXFP, a differenza dei protocolli DSR e AODV, riesce sempre a selezionare tutti i percorsi con alta qualità dei canali, il che si traduce nelle migliori prestazioni in termini di qualità di consegna.

La tabella 4.1 mostra come DXFP abbia i più bassi ritardi di consegna, sia in media che varianza, dovuti a un minor numero di ritrasmissioni lungo il percorso. Infatti, l'analisi delle prestazioni di livello MAC, si veda la tabella 4.2, mostra la migliore qualità dei canali scelti da DXFP, in termini di numero di ritrasmissioni medie e di tasso di perdite. In particolare DXFP ha un numero di ritrasmissioni inferiore di circa 4 volte rispetto ad AODV e di 9 volte rispetto a DSR.

Fig. 4.1 - Modello di rete e protocolli utilizzati per le simulazioni



Tab. 4.1 - Statistiche di ritardo per lo scenario con diversa qualità dei canali

	DSR	AODV	DXFP
Ritardo Medio	2,61838 ms	3,83403 ms	2,12759 ms
Deviazione Standard	1,11725 ms	53,34017 ms	0,55467 ms

Tab. 4.2 - Statistiche di livello MAC per lo scenario con diversa qualità dei canali

	DSR	AODV	DXFP
MAC Loss Rate	7,36%	6,03%	1,32%
Ritrasmissioni	610	277	77

Per quanto riguarda il carico di segnalazione, definito come numero medio di pacchetti di controllo generati per nodo, si vede nella tabella 4.3 come le prestazioni di DXFP siano in linea con quelle di DSR e AODV, a meno di una componente di circa 50 pacchetti, dovuti alla segnalazione periodica prevista da DXFP per il mantenimento della connettività locale. Questi pacchetti di controllo hanno, tuttavia, una dimensione di soli 11 bit a livello rete per cui, complessivamente, vanno a caricare il sistema in modo trascurabile.

Tab. 4.3 - Segnalazione comparata per lo scenario con diversa qualità dei canali

	DSR	AODV	DXFP
Segnalazione	3,66	3,00	3,30
Segnalazione Periodica	8	8	50,99

### 4.3 Mobilità con Segmento Fisso

Il secondo scenario simulato ha previsto una rete di 22 terminali mobili e 14 fissi, fra cui sorgente e destinazione. Un protocollo di instradamento robusto dovrebbe essere in grado di scegliere percorsi composti dal maggior numero di terminali fissi.

DXFP riesce subito a selezionare il percorso composto di terminali fissi e l'analisi del throughput, nella figura 4.5, evidenzia ottime prestazioni di DXFP, il quale riesce a consegnare il 100% dei pacchetti. Anche AODV ha delle buone prestazioni, tuttavia l'analisi temporale del throughput, nella figura 4.6, mostra come i percorsi scelti da AODV presentino perdite continue in tutto il periodo di simulazione, indicando così una mediocre qualità dei percorsi.

DXFP, inoltre, presenta i ritardi più bassi, come si vede dalla tabella 4.4.

Tab. 4.4 - Statistiche di ritardo comparate per lo scenario mobile con segmento fisso

	AODV	DXFP
Ritardo Medio	5,21332 ms	2,83958 ms
Deviazione Standard	43,44552 ms	19,37528 ms

In presenza di un segmento di rete fisso il carico di segnalazione di DXFP è inferiore di circa 10 volte rispetto a quello di AODV, si veda la tabella 4.5, a meno della componente periodica.

Tab. 4.5 - Segnalazione comparata per lo scenario mobile con segmento fisso

	AODV	DXFP
Segnalazione	54,84	5,37
Segnalazione Periodica	8	203

Infine, DXFP esegue una sola path discovery, a fronte delle oltre 50 di AODV, si veda la tabella 4.6, mostrando come la scelta di AODV, a differenza di quella di DXFP, non ricada sui percorsi più longevi.

Tab. 4.6 - Path Discovery per lo scenario mobile con segmento fisso

	AODV	DXFP
Path Discovery	52	1

### 4.4 Congestione

L'ultimo scenario proposto prevede una rete con una zona congestionata. Si vuole mostrare come DXFP sia in grado di scegliere percorsi che evitano questa zona.

L'analisi del *throughput*, nella figura 4.8, mostra per DXFP le prestazioni migliori, riuscendo a consegnare oltre il 98% dei pacchetti con i più bassi ritardi, si veda la tabella 4.7, circa 20 volte inferiori ad AODV.

Fig. 4.6 - Andamento temporale del *throughput* (in rosso) e dei pacchetti ricevuti (in blu) per lo scenario mobile con segmento fisso

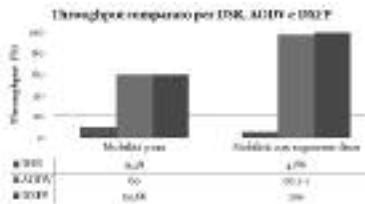
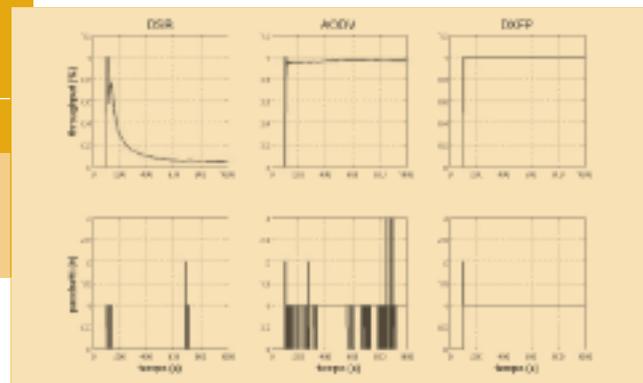


Fig. 4.5 - *Throughput* comparato per lo scenario mobile con segmento fisso



Tab. 4.7 - Statistiche di ritardo comparate per lo scenario con congestione.

	DSR	AODV	DXFP
Ritardo Medio	12,91654 s	1,18450 s	0,06568 s
Deviazione Standard	7,09032 s	0,21656 s	0,59378 s

La segnalazione è, invece, più alta, anche a meno della componente periodica, si veda la tabella 4.8, dal momento che la rete presenta un'alta densità di terminali e quindi ci sono molte risposte da trasmettere durante la fase di *path discovery*.

Tab. 4.8 - Segnalazione comparata per lo scenario con congestione.

	DSR	AODV	DXFP
Segnalazione	104,40	6,04	128,24
Segnalazione Periodica	-	-	38,96

Si propone, infine, nella figura 4.9, l'analisi temporale del *throughput* per i tre protocolli in esame, da cui si vede come DXFP, una volta ottenuto l'accesso al canale, non presenti più perdite, mentre AODV perde pacchetti con continuità, con un *throughput* che si stabilizza sull'80%.

## 5. Conclusioni

Questo lavoro di tesi ha proposto una soluzione al problema dell'instradamento in reti ad-hoc, direttamente implementabile, la cui efficacia è stata convalidata dai risultati di una campagna di simulazioni.

Il protocollo proposto risponde al criterio di "robustezza", presentando ottime prestazioni soprattutto per applicazioni in ambienti "ostili".

I principali protocolli di instradamento per reti ad-hoc attualmente disponibili, ovvero AODV e DSR, risultano non robusti alle variazioni della topologia, in quanto si basano su informazioni "istantanee" per prendere le decisioni di instradamento, non considerando, così, la "storia" della rete e determinando spesso pessime scelte del percorso tra sorgente e destinazione.

DXFP introduce una metrica *cross-layer* basata sul tempo statistico medio di attraversamento della rete, espresso in funzione dello stato dei collegamenti *wireless* e dei nodi che compongono la rotta.

Con il protocollo DXFP ogni nodo memorizza più percorsi per raggiungere la stessa destinazione. Questo permette di reagire velocemente a un cambiamento della topologia, grazie all'utilizzo di uno dei percorsi di riserva funzionanti, senza dover acquisire un nuovo percorso.

L'algoritmo DXFP distribuisce l'algoritmo di programmazione dinamica garantendo così l'ottimalità del percorso scelto.

In tutte le simulazioni DXFP si è comportato egregiamente: nello scenario con diversa qualità dei canali è stato in grado di selezionare i percorsi composti dai nodi con le potenze in trasmissione più elevate, riducendo così i ritardi di consegna dovuti alle ritrasmissioni; nel contesto mobile ha mostrato di poter selezionare il percorso più stabile in termini di mobilità, riuscendo, a differenza di DSR e AODV, a consegnare tutti i pacchetti; nello scenario congestionato DXFP ha evitato non solo i terminali con code sature, ma anche i terminali in loro prossimità riuscendo a ottenere ritardi di consegna bassissimi e un *throughput* prossimo al 100%.

DXFP, seppur ancora in uno stadio di sviluppo embrionale, ha dimostrato di poter tenere il passo dei ben più affermati DSR e AODV. Le rotte selezionate da DXFP risultano essere ottime, non solo da un punto di vista teorico, il che peraltro è garantito dalla programmazione dinamica, ma soprattutto da un punto di vista pratico. La metrica adottata consente di prendere decisioni "intelligenti" che portano nel complesso a poter instradare dati con bassi ritardi di consegna ed elevato *throughput*. DXFP risulta, quindi, un valido protocollo di instradamento che può essere considerato robusto alle variazioni dei parametri ambientali di una rete ad-hoc in condizioni operative estreme.

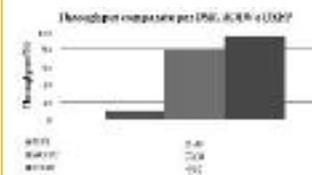
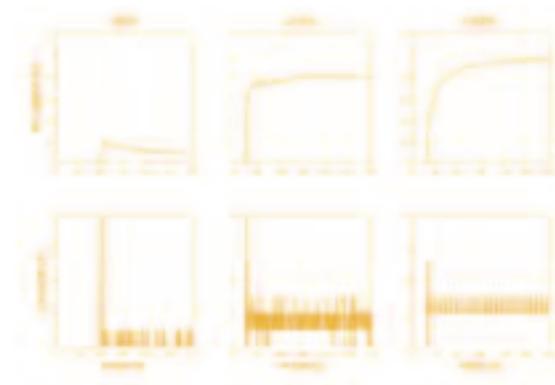


Fig. 4.8 - *Throughput* comparato per lo scenario mobile con segmento fisso

due problemi fondamentali delle reti ad-hoc: uno dovuto alla condivisione dello stesso canale fisico da parte di tutti i terminali che compongono la rete, l'altro alla disposizione dei terminali sul piano, totalmente non prevedibile a priori e fortemente variabile con il tempo

Fig. 4.9 - Andamento temporale del *throughput* (in rosso) e dei pacchetti ricevuti (in blu) per lo scenario mobile con segmento fisso



## Verbali della Commissione per il settore civile e ambientale/edile

La Commissione per il settore civile e ambientale/edile, composta dal Prof. Vannucchi, dall'Ing. Carfagni e dall' Ing. Stacciali si è riunita il 9 giugno 2009.

La Commissione ha esaminato le 12 tesi di laurea, del settore dell'ingegneria civile e ambientale/edile, specialistiche/magistrali, concorrenti per il "Premio Ciullini", giudicandole tutte interessanti e ben svolte.

Fra esse ne ha selezionate 5, ritenute particolarmente meritevoli in base ai criteri di giudizio previsti dal bando.

Questi i giudizi espressi sui lavori:

- per Alessandro BONACCINI (Laurea Ing. Civile – relatori Spinelli, Spadaccini, Orlando) con la tesi *Progetto di copertura metallica per un palazzetto dello sport*: «Progetto strutturale con due differenti soluzioni, ben curato e descritto in modo chiaro. Non particolarmente innovativo, né "spettacolare" dal punto di vista architettonico, ma complessivamente un buon lavoro».
- per Elena FACCHINI (Laurea Ing. Ambiente e Territorio – relatori Rinaldi, Solari) con la tesi *Modellazione dei processi di sedimentazione. L'esempio di un fiume in Olanda*: «La tesi è sostanzialmente una modellazione numerica dell'evoluzione di una zona alluvionale in presenza di differenti interventi, allo scopo di riqualificare una zona fluviale ripristinando processi naturali ma in condizioni di sicurezza idraulica. Tesi interessante, svolta essenzialmente al computer».
- per Beatrice GIACHI (Laurea Ing. Edile – relatori: Borri, Bulacco, Salvadori, Lauriola, Guglielmi), con la tesi *Copertura di auditorium (struttura, prestazioni termofisiche e acustiche)*: «Pregio della tesi è l'aver affrontato aspetti diversi della progettazione. Ma la progettazione è alquanto incompleta, non sono ad esempio considerati i carichi da sisma (non trascurabili)».
- per Serena GATTI (Laurea in Ing. Edile– relatori: Cozzi, Nuti) con la tesi *Recupero edilizio ex fabbrica dei Sali Tamerici e delle Serre a Montecatini Terme*: «La prima parte della tesi è di storia dell'architettura, non mi pare vi siano novità di carattere esplicativo, ma è ben presentata. La seconda parte tratta il recupero. Il progetto è esclusivamente architettonico e a livello di progetto di massima. Giudizio positivo ma non eccezionale».

– per Giuseppina CATALANO (Laurea in Ing. Edile – relatori: Spinelli, Terenzi) con la tesi *Isolamento sismico Friction Pendulum System*: «La tesi, svolta negli USA (Buffalo) fa riferimento alla normativa USA (e non a quella europea e/o italiana). A parte questo appunto, la tesi è ben progettata e svolta. Comprende una parte sperimentale e un esempio applicativo».

La Commissione, inoltre, ha esaminato le 4 tesi di laurea triennali del settore civile e ambientale/edile giudicandole tutte interessanti e ben svolte e tra queste ha ritenuto particolarmente meritevoli, in base ai criteri di giudizio previsti nel bando, quella di Alessandra UGOLINI e quella di Giulia ERMINI.

Il 16 giugno 2009, in una nuova riunione, la commissione ha nominato i vincitori del concorso.

Per le tesi di laurea magistrali, al termine di un esame più approfondito, ha ritenuto di nominare vincitori ex aequo del concorso i candidati:

- Beatrice GIACHI: Dottore magistrale in Ingegneria Edile, per la tesi dal titolo *Analisi per la copertura di un auditorium: struttura e prestazioni termo fisiche e acustiche*, con la seguente motivazione: «Tesi di progettazione di multidisciplinare che affronta e risolve in modo brillante il tema prescelto, dimostrando buona conoscenza degli argomenti, esposti in modo chiaro»;
- Giuseppina PATALANO: Dottore magistrale in Ingegneria Edile, per la tesi dal titolo: *Isolamento alla base mediante Friction Pendulum System*, con la seguente motivazione: «Tesi sperimentale e di progettazione, di notevole impatto applicativo e rilevanza scientifica, esposta in modo chiaro».

Nell'ambito delle tesi triennali, dopo un esame più approfondito la Commissione ha ritenuto di nominare vincitore del concorso la candidata Giulia ERMINI, Dottore in Ingegneria Edile, per la tesi dal titolo: *La luce nella moda. Progetto illuminotecnico per uno spazio espositivo a Pitti Immagine Uomo*, con la seguente motivazione: «I risultati ottenuti sono innovativi e hanno un buon impatto applicativo. L'esposizione è chiara e completa».

## Verbali della Commissione per il settore dell'informazione

La Commissione per il settore dell'informazione, composta dal Prof. Catelani, dall'Ing. Giorni e dall'Ing. Matteucci, si è riunita il del 9 giugno 2009 per esaminare le tesi di laurea magistrali e triennali presentate per concorrere al premio "Piero Ciullini".

Sono state esaminate le 9 tesi del settore dell'informazione specialistiche/magistrali, tutte giudicate interessanti e ben svolte e, tra queste, 5 sono state ritenute particolarmente meritevoli: quelle di Costanza CAVICCHIOLI, di Cosimo CROCCINI, di Renato PUCCI, di Giuseppe LISANTI, e infine quella di Giulio GIOVANETTI e Luca FABBRINI.

Le 3 tesi di laurea triennali nel settore dell'informazione, presentate al concorso dagli autori Andrea TASSI, Andrea RAMETTA e Alessio BAZZICA, sono state giudicate tutte interessanti e ben svolte, e la Commissione le ha selezionate tutte come finaliste.

Il 22 giugno 2009, la Commissione si è nuovamente riunita per nominare i vincitori del concorso.

Tra le lauree magistrali la scelta è caduta sulla tesi dell'aito, la Dott.ssa Costanza CAVICCHIOLI con la seguente motivazione: «Il lavoro di tesi testimonia l'elevato impatto applicativo soprattutto in riferimento alla diagnostica e relativa localizzazione di guasto in circuiti superconduttori. La validità del lavoro svolto è testimoniata da pubblicazioni su atti di congressi internazionali di cui la candidata e co-relatrice, nonché da una pubblicazione a nome singolo a cura del CERN».

La Commissione ha inoltre attribuito una menzione speciale al lavoro svolto dai candidati Giulio GIOVANETTI e Luca FABBRINI per la loro tesi che ha evidenziato elementi innovativi di ricerca nel campo delle telecomunicazioni.

Tra gli autori di tesi di laurea triennali, dopo un approfondito esame, la Commissione ha ritenuto di nominare vincitore Andrea RAMETTA, con la seguente motivazione: «La tesi di laurea mette in evidenza il grado di innovazione della metodologia proposta rispetto alle tecniche attualmente consolidate e i risultati ottenuti hanno un possibile impatto applicativo».