

MISURA DELLE VIBRAZIONI SUL SIMULACRO ARGENTEO DELL'IMMACOLATA IN PROCESSIONE

Mario Di Paola^{*}, Francesco Lo Iacono[‡], Giacomo Navarra[†], Antonina Pirrotta^{*}

^{*} Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale (DICA)
Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italy
e-mail: mario.dipaola@unipa.it
e-mail: antonina.pirrotta@unipa.it

[‡] Dottore di Ricerca in Ingegneria delle Strutture
e-mail: fralo80@hotmail.it

[†] Facoltà di Ingegneria ed Architettura
Università degli Studi di Enna "Kore"
Cittadella Universitaria, 94100 Enna, Italy
e-mail: giacomo.navarra@unikore.it

(Ricevuto 01 Luglio 2011, Accettato 18 Luglio 2011)

Key words: Dynamic tests, silver statue, structural vibration.

Parole chiave: Prove dinamiche, simulacro argenteo, vibrazioni strutturali.

Abstract. *This paper presents the results of an experimental campaign intended to measure the vibrations of the silver statue of the Immaculate Conception (1647), kept in the church of San Francesco d'Assisi in Palermo. The accelerations of several target points on the statue have been recorded during the annual procession on December the 8th 2009 and during a series of "ad hoc" tests conducted inside the church.*

Although, this study is concerned with knowing the real entity of vibrations induced during the transportation in procession, indeed it stresses the fundamental role of dynamic tests for structural characterization. In fact, the analysis of recorded acceleration has stressed not only, that the strongest vibrations, are due to the lack of synchronism among the carriers, but also a failure of restraints in transversal direction, between the statue and its wood support.

Sommario. *Nel presente lavoro vengono presentati i risultati di una campagna sperimentale volta alla misura delle vibrazioni indotte sul simulacro argenteo (1647) dell'Immacolata, conservato presso la chiesa di San Francesco d'Assisi in Palermo, durante la processione per le vie cittadine.*

Tale studio, volto alla conoscenza delle reali entità di sollecitazioni indotte sul simulacro durante il trasporto in processione, ha messo in evidenza l'utilità delle prove dinamiche per caratterizzare il comportamento strutturale ed eventualmente individuare anomalie nel sistema di vincolo. Infatti i risultati delle analisi dei segnali registrati, sia durante la processione dell'8 dicembre 2009, che durante una serie di prove ad hoc realizzate all'interno della chiesa, hanno messo in luce che le vibrazioni di maggiore entità si raggiungono durante le fasi di abbassamento del fercolo dovuto alla non perfetta sincronizzazione dei movimenti dei portatori, ma anche un'anomalia del sistema di vincolo

tra la statua ed il fercolo in legno sottostante.

1 INTRODUZIONE

In Piazza San Francesco d'Assisi a Palermo, sorge la Chiesa omonima la cui costruzione fu iniziata nel 1225 e terminata nel 1277 da parte dell'ordine francescano, che qui ha ancora un monastero. Si tratta di una Chiesa a tre navate, con arcate gotiche ed un tetto ligneo con capriate a vista. La seguente Figura 1-a riporta la vista della facciata principale, mentre in Figura 1-b è mostrata una vista interna della navata centrale.

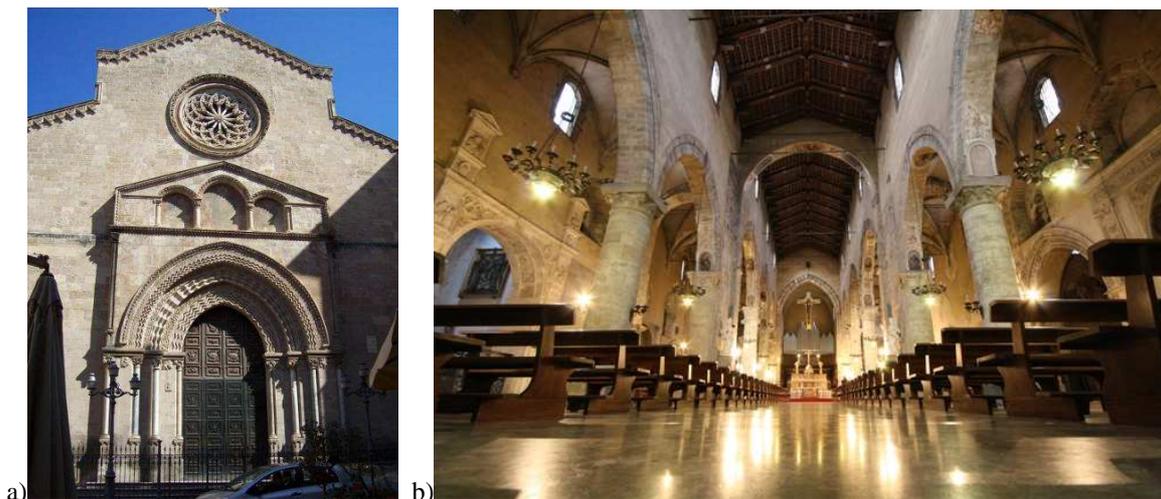


Figura 1. Chiesa di San Francesco d'Assisi in Palermo; a) veduta esterna; b) veduta interna con soffitto ligneo.

Nella navata laterale sinistra vi è conservata l'imponente statua d'argento della "Immacolata", mostrata in Figura 2 che l'8 Dicembre di ogni anno è la protagonista di una processione per le vie della città. A Palermo, la devozione per l'Immacolata ebbe inizio nel 1624, in concomitanza con la peste che colpì la città. Fu allora che il Senato di Palermo, devoto all'Immacolata, assunse l'onere di celebrare la festa ogni anno presso la Chiesa di San Francesco d'Assisi.

Già nel 1624 esisteva nella Basilica di S. Francesco una statua dell'Immacolata¹, con testa, mani e piedi in argento. Nel 1646 la ricca famiglia di Giovanni Battista De Leonardi fece realizzare da argentieri sconosciuti una statua dell'Immacolata tutta in argento, che venne ultimata e donata nel 1647 e da allora l'8 Dicembre di ogni anno tantissimi cittadini palermitani vanno in processione per le vie di Palermo dietro la statua della Vergine Immacolata, portata a spalle dai "servi di Maria" che si unirono in congregazione nel 1726.

Il simulacro è composto dalla statua d'argento vera e propria e da una cassa lignea, il "fercolo", che ha in sommità due fori passanti per l'inserimento di due lunghe aste per alzare ed abbassare il simulacro. L'attuale fercolo è stato realizzato nel 1844 dal falegname Ventimiglia, in occasione del restauro della chiesa e della statua a seguito del terremoto del 1823. Nello stesso periodo venne anche realizzato il globo dall'argentiere Giacomo D'Angelo.

Il trasporto in processione del simulacro lungo le vie cittadine è affidato alla "Venerabile Confraternita del Porto e Riporto"², composta rigorosamente da uomini. La Confraternita utilizza per il trasporto del fercolo squadre di 36 persone che, mediante una collaudata tecnica, riescono a sollevare il fercolo sulle spalle evitandone lo squilibrio. Nonostante

l'impegno e la devozione dei confratelli, talvolta questi movimenti, non essendo perfettamente sincronizzati, inducono forti vibrazioni sulla statua, compromettendone nel tempo l'integrità.



Figura 2. Simulacro dell'Immacolata Concezione conservato nella chiesa di San Francesco d'Assisi in Palermo.

Ne consegue l'esigenza di uno studio per indagare sull'entità delle vibrazioni indotte sul simulacro dalle scosse durante il trasporto in processione e quelle dovute alla non perfetta sincronizzazione nell'innalzamento ed abbassamento del fercolo. Tale studio, nell'ambito della conservazione del simulacro stesso, ha quale scopo quello di guidare il progetto di eventuali dispositivi di controllo delle vibrazioni che consentiranno ai cittadini palermitani di potere continuare ad esprimere la loro devozione con i propri rituali nella serenità di non indurre azioni compromettenti l'integrità del simulacro.

A tal fine è importante sottolineare che, mentre la "musealizzazione" di un'opera d'arte, ovvero la protezione all'interno di un museo di un'opera d'arte dai rischi ambientali, è un problema ormai abbastanza noto, meno usuale è il problema della prevenzione dei danni indotti, in questo caso dalle vibrazioni, durante la fruizione dell'opera d'arte stessa.

Stabilire una metodologia per preservare le statue mitigando le suddette vibrazioni indotte, ha, inoltre, una valenza anche internazionale, basti pensare al numero delle processioni che esistono in tutto il mondo come in Italia, Spagna, Grecia, Sud America.

Lo scopo del presente lavoro è pertanto lo studio e la misura delle vibrazioni che realmente si trasmettono alla statua quando viene trasportata per le vie della città e durante le fasi di sollevamento e deposito del simulacro stesso.

2 LE INDAGINI PER LA MISURA DELLE VIBRAZIONI SUL SIMULACRO

Al fine di conoscere l'entità delle vibrazioni indotte durante il trasporto e nel rispetto della conservazione del manufatto artistico oggetto delle prove, sono stati utilizzati metodi non invasivi di registrazione delle vibrazioni.

In generale una registrazione di vibrazioni si effettua attraverso strumenti di analisi dinamica sperimentale. Innanzi tutto occorre una fonte di eccitazione, artificiale o naturale, per mettere in vibrazione il sistema da analizzare. Nel primo caso possono utilizzarsi apposite macchine come gli *shakers* in caso di prove di vibrazioni forzate, ovvero martelli strumentati con celle di carico per prove di tipo impulsivo. Nel caso delle fonti di eccitazione naturale possono citarsi, ad esempio, il vento o il traffico veicolare che inducono delle vibrazioni misurabili su strutture alte o flessibili³. Una volta sollecitato il sistema, le vibrazioni indotte vengono registrate mediante l'uso di opportuni sensori idonei a misurare delle grandezze caratteristiche del moto come ad esempio accelerazioni, spostamenti o deformazioni. Nella grande maggioranza dei casi si preferisce misurare accelerazioni utilizzando appositi sensori detti accelerometri. Esistono diversi tipi di accelerometri che possono essere scelti in funzione della specifica applicazione. Essi differiscono sia per il principio di funzionamento (induttivi, piezoresistivi, capacitivi, piezoelettrici, laser, etc.), che per la loro sensibilità. Registrato un segnale di accelerazione mediante l'uso di un sensore, tale segnale viene trasformato da analogico in digitale attraverso opportune schede di conversione. Il segnale digitalizzato può essere memorizzato ed elaborato all'interno di un Personal Computer.

In particolare, la campagna di indagine per la misurazione delle vibrazioni sul simulacro argenteo dell'Immacolata è stata condotta in due fasi distinte.

Durante la prima fase, attraverso strumenti per prove in situ, sono state registrate le accelerazioni durante tutta la processione per le vie cittadine svolta in concomitanza con la festività dell'Immacolata Concezione, lo scorso 8 dicembre 2009; mentre la seconda fase dell'indagine è stata svolta nei giorni successivi all'interno della chiesa di San Francesco effettuando delle apposite simulazioni di movimentazione del simulacro.

2.1 La prima fase di indagine: registrazione delle vibrazioni durante la processione

Nel caso specifico dell'analisi delle vibrazioni del simulacro argenteo dell'Immacolata, la forzante considerata è quella indotta dal trasporto in processione dello stesso simulacro.

Il giorno dell'Immacolata il fercolo con il simulacro viene portato in processione dai fedeli lungo le vie del Centro Storico di Palermo, fino a giungere alla Cattedrale, passando per Piazza San Domenico, e poi di nuovo indietro fino alla Chiesa di San Francesco. Il simulacro viene portato a spalla dai componenti della "*Venerabile Confraternita del Porto e Riporto*" per piccoli tratti di circa 30 metri utilizzando delle pertiche di legno che vengono fissate al fercolo ad un'estremità e issate sulle spalle dei portatori stessi, come mostrato nelle immagini riportate nella Figura 3.

Ogni tratto è, quindi, caratterizzato da una fase iniziale in cui il simulacro unitamente al fercolo viene alzato e poggiato sulle spalle dei portatori, successivamente, durante la seconda fase del tratto, il simulacro con il fercolo viene fatto avanzare e, nella terza fase, viene posato al suolo.

Durante la prima fase della campagna sperimentale il fercolo su cui è posto il simulacro e il simulacro stesso sono stati strumentati con sei accelerometri posti in modo da formare due terne di cui una posta sul fercolo in corrispondenza della base della statua e l'altra sulla testa della statua, così come mostrato nella Figura 4. Per ogni terna si sono misurate le accelerazioni nella direzione del moto del fercolo, nella direzione trasversale e in quella verticale. Inoltre, all'interno del fercolo è stato organizzato un piccolo laboratorio di dinamica sperimentale con attrezzature per prove "in situ" con una scheda di acquisizione di tutti i segnali provenienti dai sensori ed un computer portatile per memorizzare questi segnali. La strumentazione utilizzata all'interno del fercolo è mostrata in Figura 5.



Figura 3. Trasporto del simulacro.

La difficoltà maggiore riscontrata durante questa prima fase di indagine è stata quella di dovere contenere la strumentazione all'interno di un vano posto nel fercolo al di sotto della statua e, soprattutto, quella di fare a meno di una sorgente di energia elettrica cui connettere la strumentazione. Queste limitazioni sono state superate facendo ricorso ad una strumentazione "portatile" alimentata da una batteria a 12V da 100Ah collegata ad un *inverter* in grado di fornire corrente alternata fino a 600W alla tensione di 220V.

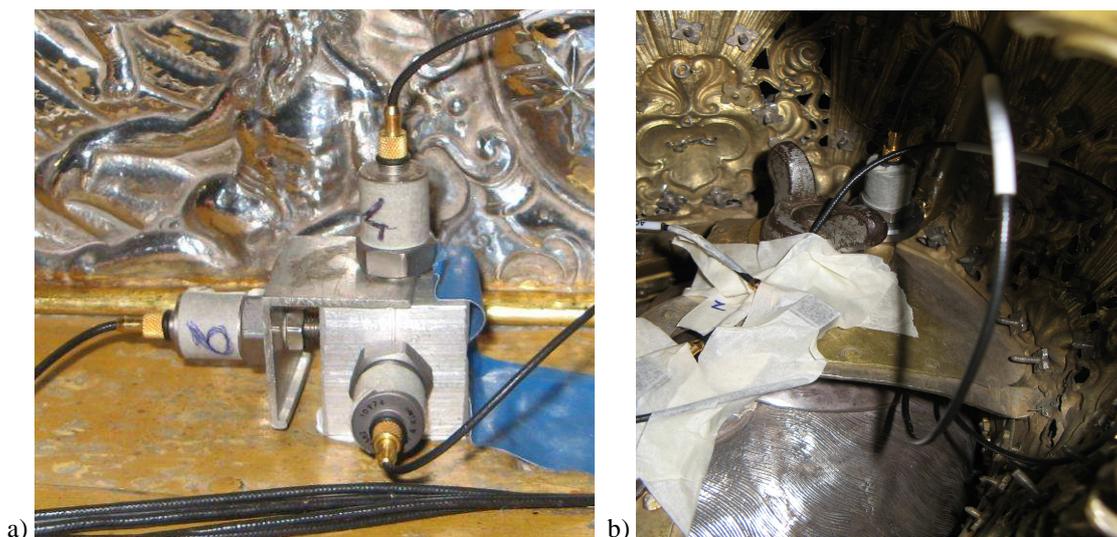


Figura 4. Posizionamento degli accelerometri; a) terna di acquisizione sul fercolo; b) terna di acquisizione sulla testa.

La strumentazione di acquisizione è costituita da due amplificatori e condizionatori di segnale *Bruel & Kjaer Nexus* cui vengono collegati i cavi provenienti dai sensori. Gli amplificatori sono collegati ad una scheda di acquisizione *National Instruments PCI-MIO-16XE-10* connessa ad un PC portatile in cui vengono memorizzati i dati in forma digitale. Lo schema della catena di misura predisposta è mostrato nella Figura 6.

Durante la processione dello scorso 8 Dicembre 2009, oltre ad una videoregistrazione, sono state, quindi, acquisite tre ore di storie temporali di accelerazione.

Dalle analisi di queste registrazioni e dalla visione delle videoriprese, si è potuto osservare che durante la fase, dell'avanzamento, il simulacro non è soggetto a significative accelerazioni, mentre durante la fase di sollevamento e di abbassamento si registrano i picchi

più elevati delle accelerazioni, soprattutto quando la sincronizzazione, nell'innalzamento ed abbassamento del fercolo, era carente.



Figura 5. Strumentazione di acquisizione dei dati utilizzata all'interno del fercolo.

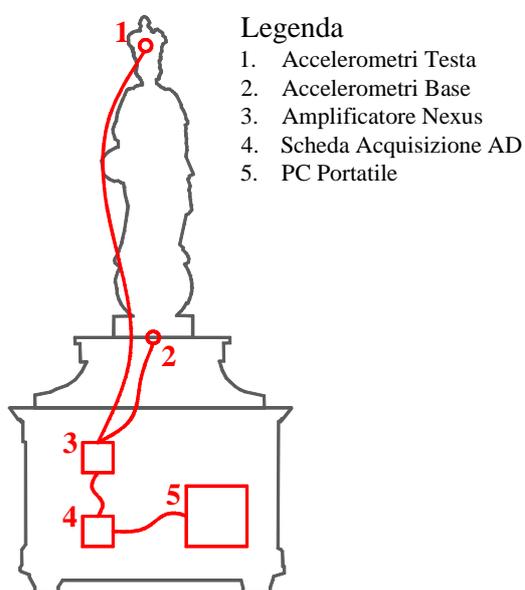


Figura 6. Catena di acquisizione utilizzata durante la processione.

Questa è stata la ragione per cui si è ritenuto opportuno eseguire all'interno della Chiesa delle prove *ad hoc*, per registrare le accelerazioni indotte dal sollevamento e dall'abbassamento della statua.

2.2 La seconda fase di indagine: le prove ad hoc

In virtù del fatto che le vibrazioni significative della statua accadevano in corrispondenza delle operazioni di sollevamento e di abbassamento del simulacro si è deciso di condurre delle prove *ad hoc* all'interno della chiesa di San Francesco, che per l'occasione è stata trasformata in una sorta di Laboratorio di Dinamica Sperimentale⁴.

Durante questa seconda fase, infatti, non sussistendo più le limitazioni di spazio e di approvvigionamento di energia elettrica precedentemente descritte, si è potuto utilizzare una strumentazione più precisa e fare ricorso ad un numero maggiore di sensori.

Nello specifico si è deciso di strumentare la statua ed il fercolo utilizzando due tipi di accelerometri: degli accelerometri sismici *PCB 393B04* dotati di un'elevata precisione e di massa maggiore ma che necessitano di una superficie piana per essere installati, e degli accelerometri miniaturizzati *Bruel & Kjaer 4507-B-002* che hanno il pregio di avere dimensioni e pesi molto contenuti oltre ad una maggiore facilità di installazione. Nella Tabella 1 sono riportate le principali specifiche tecniche dei sensori utilizzati.

Tabella 1. Caratteristiche dei sensori utilizzati.

Caratteristica	PCB 393 B04	B&K 4507-B-002
Sensibilità [mV/g]:	1000	1000
Intervallo di misura [g]:	± 5	± 7
Intervallo di frequenza [Hz]:	0.06 ÷ 450	0.40 ÷ 6000
Massa [grammi]	50	5

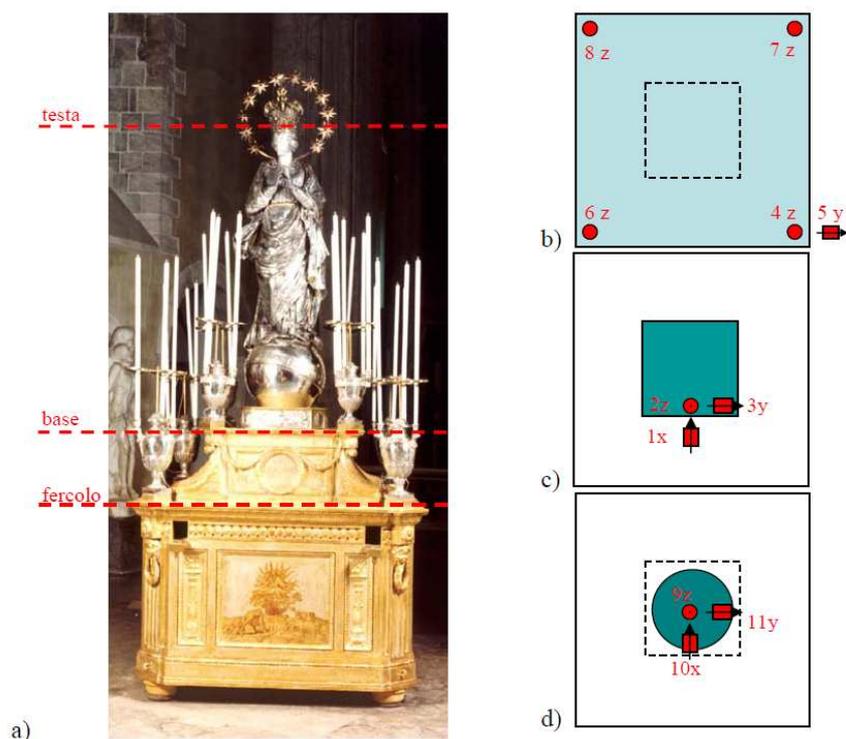


Figura 7. Collocazione dei sensori; a) definizione dei livelli di posizionamento dei sensori; b) sensori al livello del fercolo; c) sensori al livello della base; d) sensori al livello della testa.

Sono stati collocati in tutto 11 sensori per registrare accelerazioni, di cui: 6 per registrare l'accelerazione in direzione verticale (z), 2 lungo la direzione di movimento (x) e 3 perpendicolari a quest'ultima (y).

Tali sensori, così come si evince dalla Figura 7 e dalla Figura 8, sono posti su tre livelli: estradosso del fercolo, base della statua, testa della statua. Al livello dell'estradosso del fercolo (Figura 7-b) vengono posizionati cinque sensori di cui quattro in direzione verticale (sensori 4z, 6z, 7z e 8z) in corrispondenza degli spigoli del fercolo e uno in direzione trasversale al moto (sensore 5y). Alla base della statua (vedi Figura 7-c) sono, invece, disposti tre accelerometri disposti in direzione verticale (2z), in direzione del moto (1x) e in direzione trasversale al moto stesso (3y). Gli accelerometri posti sul fercolo ed alla base della statua sono del tipo *PCB 393B04*. Alla testa della statua (vedi Figura 7-d) è stata posta un'altra terna di sensori nelle stesse direzioni di quelli disposti alla base (sensori 9z, 10x e 11y), ma del tipo *B&K 4507-B-002*. In virtù delle ridotte dimensioni di questi ultimi, è stato possibile collocarli direttamente sulla testa della statua, all'interno dello spazio delimitato dalla corona.



Figura 8. a) sensore posto sul fercolo; b) terna di sensori sismici sulla base; c) terna di sensori miniaturizzati sulla testa.

Per registrare le accelerazioni indotte dal sollevamento e dall'abbassamento della statua, sono state effettuate otto prove durante le quali i confratelli hanno sollevato la statua con il fercolo, trasportandola per brevi tragitti della lunghezza di 15 metri circa all'interno del transetto della chiesa, ed infine abbassato fercolo e statua poggiandolo sul pavimento. Per ogni prova sono state effettuate delle registrazioni video e delle acquisizioni dei dati attraverso dei sensori accelerometrici. Dal raffronto delle due fonti di informazioni è stato possibile trarre delle utili informazioni che vengono riportate nella sezione seguente.

3 ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI

Nella presente sezione vengono riportati i risultati ottenuti dall'elaborazione delle storie di accelerazione registrate dai sensori durante le prove ad hoc sia nel dominio del tempo che nel dominio delle frequenze.

3.1 Analisi delle accelerazioni verticali

In Figura 9 vengono riportate le accelerazioni verticali, quindi in direzione z, misurate dai sensori posti sul fercolo (4z), sulla base (2z) e sulla testa della statua (9z) durante una delle fasi di sollevamento del fercolo.

L'analisi di questi segnali mostra che le accelerazioni in direzione z a livelli diversi sono pressoché identiche. Ciò comporta che i gradi di libertà dinamicamente significativi, oltre ai sei gradi di libertà di corpo rigido posseduti dal fercolo, sono da individuare negli spostamenti orizzontali (direzione x,y) della testa del simulacro⁵.

3.2 Analisi delle accelerazioni alla base della statua

Nella Figura 10 vengono, invece, riportate le storie temporali di accelerazione registrate

alla base della statua in direzione del moto (1x in rosso) e nella direzione trasversale (3y in verde) durante le fasi di sollevamento e di abbassamento del fercolo. Durante la fase di sollevamento (vedi Figura 10-a) sono state riscontrate accelerazioni sempre di entità moderata ed in particolare le accelerazioni in direzione trasversale maggiori di quelle longitudinali.

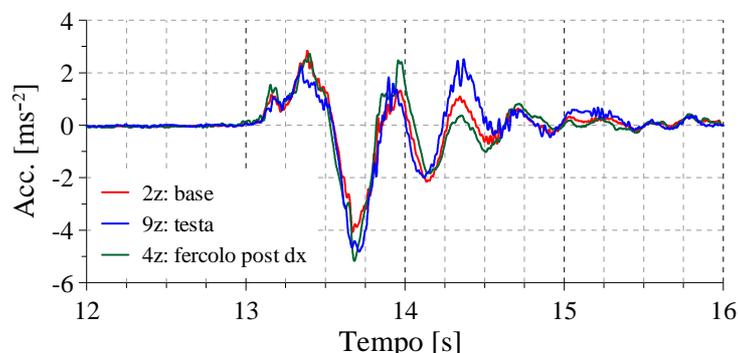


Figura 9. Storia temporale delle accelerazioni verticali (z) durante la fase di sollevamento.

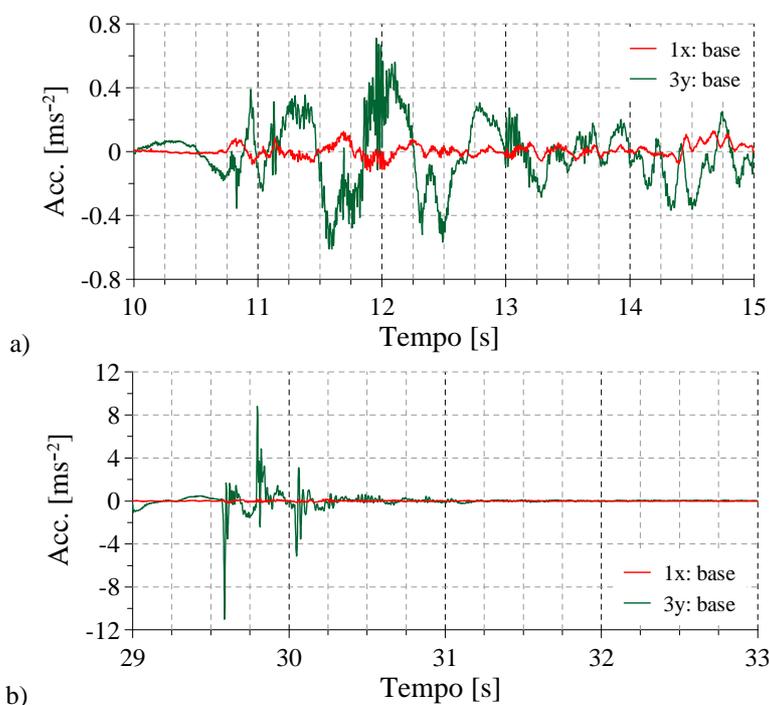


Figura 10. Storie temporali delle accelerazioni alla base della statua in direzione longitudinale (x) e trasversale (y); a) fase di sollevamento; b) fase di abbassamento;

Viceversa, durante la fase di abbassamento (Figura 10-b) vi è una sostanziale differenza tra le accelerazioni registrate in direzione longitudinale al moto e quelle trasversali. Queste ultime risentono notevolmente dei picchi trasmessi dal contatto dei piedi del fercolo con il suolo e risultano essere notevolmente amplificate rispetto a quelle longitudinali.

Questa macroscopica differenza potrebbe essere ascrivibile ad una diversa condizione di vincolo in direzione trasversale rispetto a quella longitudinale, in particolare il vincolo in direzione trasversale (y) sarebbe meno efficace di quello longitudinale (x).

3.3 Analisi delle accelerazioni alla testa della statua

Nella Figura 11 vengono riportate le storie temporali di accelerazione registrate alla testa della statua in corrispondenza di una delle fasi di abbassamento del simulacro in entrambe le direzioni longitudinale (10x) e trasversale (11y).

Un esame dei risultati delle registrazioni evidenzia che i livelli di accelerazione sono piuttosto elevati dal momento che i valori di picco registrati sono stati circa il doppio dell'accelerazione di gravità.

Inoltre, le accelerazioni registrate dal sensore posto in direzione trasversale (11y) mostrano che il moto della testa della statua in tale direzione è caratterizzato da un'armonica a bassa frequenza ad ampiezza decrescente in modo pressoché logaritmico su cui si modulano componenti a frequenze maggiori. Questo è il comportamento tipico di un oscillatore elementare soggetto ad una forzante di natura impulsiva^{6,7}.

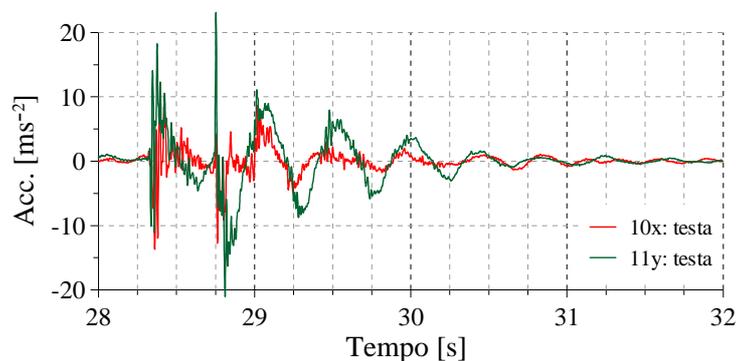


Figura 11. Accelerazioni sulla testa della statua.

Le storie temporali ottenute dal sensore posto sulla testa della statua, ma in direzione del moto (10x) presentano intensità notevolmente inferiori, assenza del comportamento di “oscillazione libera” descritto per la direzione trasversale e presenza di componenti a frequenza più elevata, indice di un migliore grado di connessione.

3.4 Analisi nel dominio delle frequenze

Nella seguente Figura 12 vengono, invece, mostrati i risultati ottenuti da una analisi dei segnali nel dominio delle frequenze ottenuta computando uno spettro di Fourier dei segnali. In ascissa sono indicate le frequenze in Hertz, mentre in ordinata vengono riportate i corrispondenti valori degli spettri di potenza per i segnali ottenuti dall'accelerometro posto in direzione longitudinale (10x, in rosso) e in direzione trasversale (11y, in verde).

Nella Figura 12-a viene mostrato il risultato delle analisi nel dominio delle frequenze con riferimento alle accelerazioni registrate durante la fase di abbassamento del feroce descritto dalla Figura 11, mentre nella Figura 12-b vengono riportati analoghi risultati in relazione ad una fase di trasporto.

Nella fase di abbassamento, è possibile osservare che le componenti longitudinali e trasversali hanno potenza notevolmente diversa e, soprattutto, agiscono su differenti livelli di frequenza. In particolare, le oscillazioni in direzione trasversale al moto (11y) hanno intensità pressoché doppia delle oscillazioni in direzione longitudinale (10x), e frequenza molto più bassa (circa 2.30 Hz per la direzione trasversale contro i circa 3.10 Hz per la direzione longitudinale).

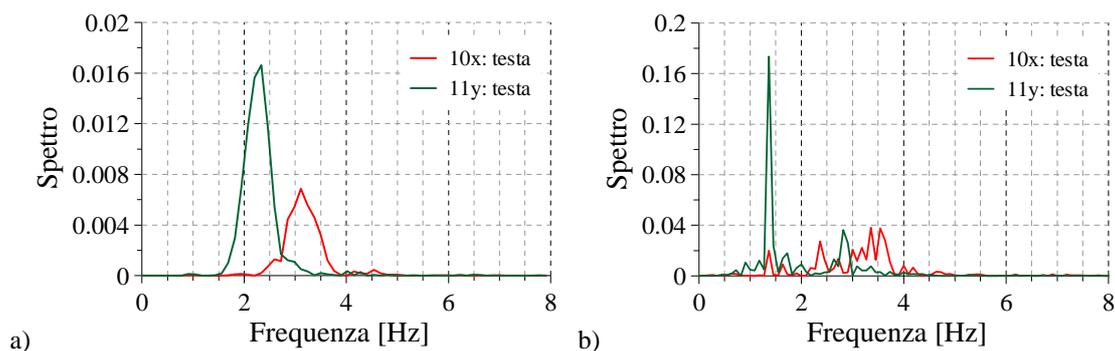


Figura 12. Analisi in frequenza delle accelerazioni registrate sulla testa della statua:
a) fase di abbassamento; b) fase di trasporto.

Questo dato, unitamente alle caratteristiche dei segnali descritte in precedenza, porta a rafforzare l'ipotesi che il diverso comportamento della testa della statua nelle due direzioni sia dovuto ad una differente condizione di vincolo.

D'altra parte, l'analisi in frequenza dei segnali registrati durante la fase di trasporto mostra che le oscillazioni in direzione trasversale si concentrano su una frequenza ancora più bassa di 1.30 Hz, mentre in direzione longitudinale non può individuarsi una chiara frequenza dominante. In ogni caso, le frequenze rilevate nella fase di trasporto sono ben diverse da quelle osservate nella fase di abbassamento. Questo comportamento può essere interpretato come effetto di un comportamento non lineare del sistema fercolo-statua.

3.5 Analisi delle condizioni effettive di vincolo

In sintesi, l'analisi delle storie temporali di accelerazione registrate, unitamente all'esame dei risultati nel dominio delle frequenze, hanno rilevato che una possibile causa del comportamento oscillatorio della testa della statua può essere identificata nelle effettive condizioni di vincolo della base della statua. Si è, pertanto, deciso di approfondire l'analisi di questo particolare aspetto.

La base su cui è collocata la statua è assemblata al fercolo mediante delle barre filettate che attraversano la struttura superiore del fercolo stesso e vengono ammortate ad esso per il tramite di appositi dadi a farfalla. L'estremità inferiore di detto sistema di collegamento è visibile entrando nello spazio all'interno del fercolo attraverso lo sportello posto sul lato posteriore del fercolo stesso.

La Figura 13 mostra proprio i dettagli di tale sistema di connessione, in Figura 13-a è visibile la base della statua, solidalmente connessa con una piastra in ferro che va ad appoggiarsi su un incavo della struttura perimetrale in legno del fercolo. Nella foto è anche visibile la testa di una delle quattro barre filettate, poste in mezzzeria dei lati del fercolo, mediante le quali viene effettuata la connessione.

La Figura 13-b mostra il sistema di connessione dall'interno del fercolo. Sono visibili le quattro piastre in ferro munite dei fori per l'ammorsamento delle barre filettate, ma solo su due lati, disposti lungo la direzione longitudinale del fercolo (x), sono presenti le due barre filettate con i relativi dadi a farfalla, mentre in direzione trasversale (y) tale sistema di vincolo è totalmente mancante. Sembra, quindi, che sia proprio tale mancanza a causare la differenza di comportamento della statua nelle due direzioni longitudinale e trasversale, inducendo notevoli oscillazioni della testa del simulacro.

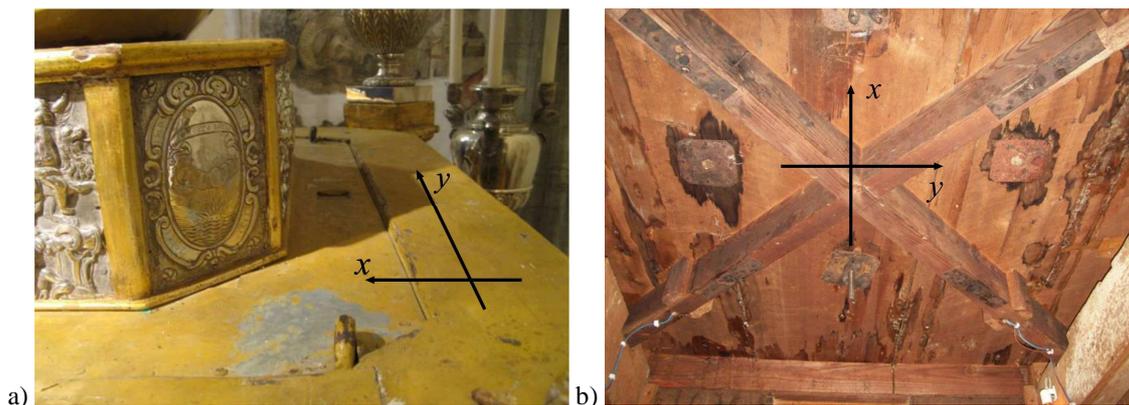


Figura 13. Sistema di connessione tra la base della statua ed il fercolo; a) vista superiore esterna; b) vista dall'interno del fercolo;

4 CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha avuto come scopo quello di misurare le vibrazioni e caratterizzare il comportamento dinamico del simulacro argenteo dell'Immacolata durante il trasporto per le vie della città in processione. A tal fine è stata espletata una campagna di indagine per la misurazione delle vibrazioni sul simulacro in due fasi distinte. Durante la prima fase, attraverso strumentazione per prove *in situ*, sono state registrate le accelerazioni per tutta la processione per le vie cittadine svolta in concomitanza con la festività dell'Immacolata Concezione, lo scorso 8 dicembre 2009; mentre la seconda fase dell'indagine è stata svolta all'interno della chiesa di San Francesco effettuando delle apposite simulazioni di movimentazione del simulacro. Tale studio, volto alla conoscenza delle entità di sollecitazioni indotte sul simulacro durante il trasporto in processione, ha messo in evidenza l'utilità delle prove dinamiche per caratterizzare il comportamento strutturale ed eventualmente individuare anomalie nel sistema di vincolo. Infatti i risultati delle analisi dei segnali registrati hanno permesso di evidenziare l'assenza di un adeguato sistema di connessione in direzione trasversale tra il fercolo e la statua.

Ringraziamenti:

Le prove ad hoc all'interno della chiesa di San Francesco sono state svolte con il prezioso aiuto e la disponibilità della *Confraternita del Porto e Riporto*, che qui si ringrazia espressamente.

Si ringraziano, inoltre, direttore del *Parco Archeologico Villa Romana del Casale* Architetto Guido Meli ed il direttore del *Centro Regionale per la Progettazione ed il Restauro (C.R.P.R)* Architetto Adele Mormino.

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. F. Rotolo OFMConv., "La Cappella dell'Immacolata nella Basilica di S. Francesco a Palermo" – Edizioni Basilica S. Francesco d'Assisi, Palermo, 1998.
- [2] F. Puleo "Sotto l'ombra. La venerabile confraternita del Porto e Riporto di Maria SS.ma Immacolata nel 275° anno di fondazione", Palermo, 2001.
- [3] D. J. Ewins, "Modal Testing: Theory and Practice", Research Studies Press LTD, UK,

- 1984.
- [4] N.M.M. Maia e J.M.M. Silva “Theoretical and Experimental Modal Analysis”, Research Studies Press LTD, UK, 1997.
 - [5] J. S. Bendat e A. G. Piersol, “Random Data: Analysis and measurement procedures”, John Wiley & Sons, New York, USA, 1971.
 - [6] G. Muscolino, “Dinamica delle Strutture”, McGraw-Hill Italia, Milano, 2002.
 - [7] R. W. Clough e J. Penzien, “Dynamic of Structures”, Computer and Structures Inc, Berkeley, California, USA, 2003.