

La Validazione di codici di calcolo

per migliorare la progettazione

e garantire la sicurezza

La Validazione dei Modelli Numerici

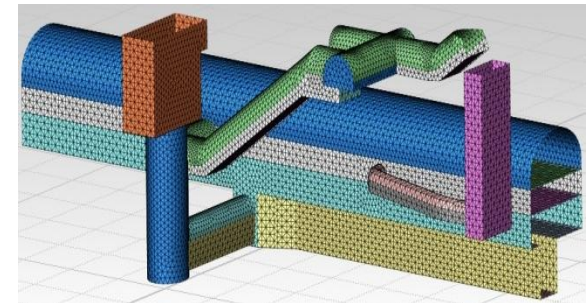
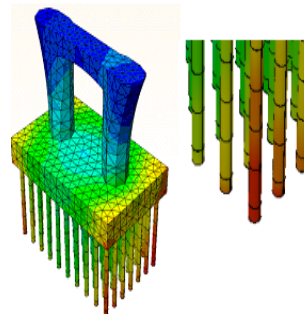
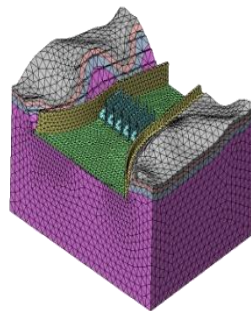
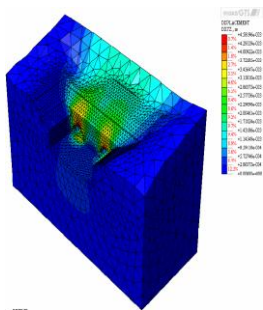
Perché passare a modelli numerici più sofisticati?

L'aumento della potenza di calcolo(HW) e della complessità di analisi (SW) permette di considerare modelli numerici sempre più vasti e sofisticati.

Le analisi avanzate richiedono: capacità – preparazione in 3D modeling, “robusta” conoscenza su convergenza dei metodi iterativi

La preparazione dell'ingegnere libero professionista spesso è insufficiente a gestire modelli complessi.

Ma i nuovi standard e la competitività spingono verso modelli numerici complessi con il rischio di non essere interpretabili



① La Norma vigente: **NTC2008**, Cap 10.2

② Ingegneria Nucleare

AIEA (International Atomic Energy Agency):

IAEA SAFETY STANDARD SERIES. NS-G-1.6

Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants. Vienna, 2003

③ Ingegneria Meccanica

NAFEMS (National Agency for the Finite Element Methods and Standards):

NAFEMS Guidelines to Finite Element Practice. Glasgow, 1992. ISBN 0 903640 16 3

NAFEMS Quality Assurance Procedures for Engineering Analysis. Glasgow, 1999

ASME (American Society of Mechanical Engineers)

V&V10, ASME Comitee. 2007. *Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics.* 2007

NASA

NASA Technical Standard, STD 7009. *Standard for models and simulations.* 2008

④ Vademecum CSPfea

Vademecum per la Validazione dei Modelli di Calcolo. *CSPfea Edit.* 2010

IL Cap. 10.2 delle NTC2008 introduce l'argomento della Relazione di Calcolo, ed in particolare stabilisce che

“Qualora l'analisi strutturale e le relative verifiche siano condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista dovrà controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, curando nel contempo che la presentazione dei risultati stessi sia tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità”.

Nei Punti b) e c) del Cap. 10.2 delle NTC2008, sono trattati i concetti di “validazione” e “affidabilità”.

Il Progettista deve controllare che la Base Teorica e il software applicativo usato per il calcolo siano adeguati a risolvere il problema in maniera numericamente accurata e capaci di affrontare le molte varianti e peculiarità che si incontrano nella pratica professionale.

Prima di iniziare ogni analisi di un certa importanza il Progettista deve fornire spiegazioni se:

- ✓ la Base Teorica è idonea ed applicabile al particolare problema;
- ✓ i Metodi/software hanno soddisfatto determinati test fondamentali sia sotto il profilo della correttezza dei risultati sia nei riguardi della convergenza numerica alle soluzioni analitiche disponibili in letteratura;
- ✓ i Test di Benchmark sono stati eseguiti per dimostrare il soddisfacimento delle performance richieste dalla soluzione del particolare problema;



+ **NAFEMS** Ha avuto il merito di introdurre procedure di Qualità nelle analisi numeriche.

Ha introdotto e codificato i “benchmarks” per validare un codice di calcolo e migliorare la consapevolezza degli utenti di softwares di calcolo.

- Per contro, si concentra su esempi applicativi legati all'ingegneria meccanica

Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica



IAEA

International Atomic Energy Agency

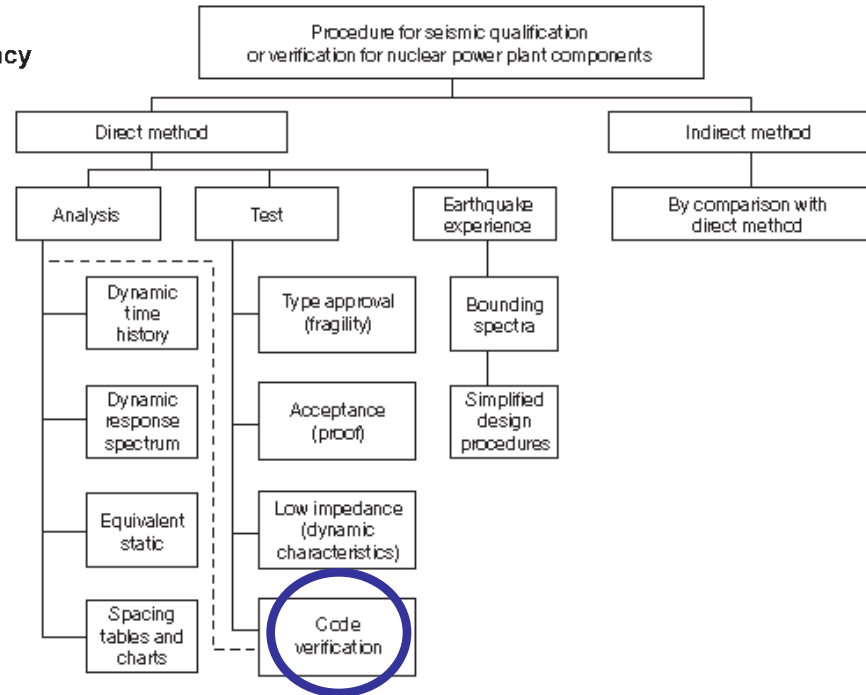


FIG. 1. Summary of seismic qualification or verification methods

AIEA (International Atomic Energy Agency):
IAEA SAFETY STANDARD SERIES. NS-G-1.6
Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants. Vienna, 2003

American Society of Mechanical Engineers



+ Gli studi di **ASME** sono ispirati da ricercatori nell'ambito dei laboratori di aeronautica americani. La NASA, il NNSA (National Nuclear Security Administration, DoE) e altri Dipartimenti del Governo USA hanno commissionato studi estensivi dal 2000 circa.

Tra i pionieri della definizione sistematica del problema troviamo Oberkampf e Roache.

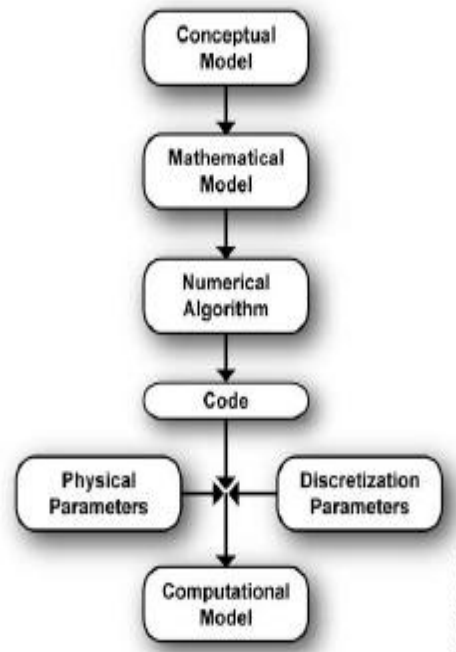
- Si concentra su esempi applicativi legati al settore aerospaziale, esteso successivamente all'ambito meccanico.

Tuttavia presenta l'approccio più chiaro.

ASME: Modeling & Simulation

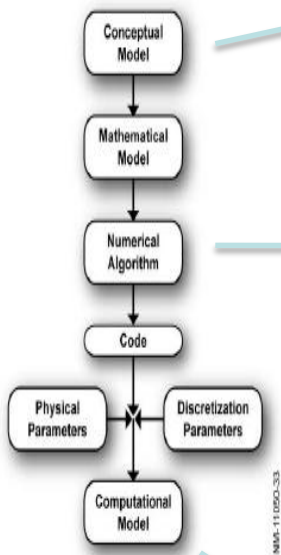
Il comitato V&V20 di ASME definisce l'intera attività di modellazione numerica **“Modeling & Simulation”**.

M&S



ASME: Modeling & Simulation

M&S



Step	Esempio	Note
Processo Fisico (Struttura) da analizzare	Valutazione della vulnerabilità sismica di un edificio esistente in muratura e calcestruzzo. (quale grandezza? Quali misure? Quale grado di dettaglio?)	Ha a che fare con il Cap. 10.2, a) <i>Tipo di analisi svolta</i>
Modello Concettuale: l'insieme delle assunzioni e descrizioni dei fenomeni fisici che sottendono al Processo Fisico da analizzare, dai quali derivano i modelli matematici	Analisi di pushover con metodo a telaio equivalente, cerniere fenomenologiche con comportamento elastoplastico-fragile secondo il modello proposto da EC8, determinazione della curva di capacità secondo il metodo prescritto dalle NTC2008, verifica delle rotazioni alla corda...	
Algoritmi numerici: l'implementazione numerica del modello matematico mediante algoritmi, usualmente in forma discretizzata (FEM), algoritmi di soluzione, criteri di convergenza. Evidenziando le specificità degli algoritmi quando si ritiene che esse siano determinanti per la corretta simulazione.	Algoritmo di analisi non lineare per struttura in CA e muratura considerando la plasticità del materiale (concentrata in cerniere), eventuale non linearità geometrica (P- δ), incrementi di carico controllati col metodo Arc-Lenght, dipendenza del diagramma Momento-Rotazione dallo sforzo normale agente e variabile ad ogni step, convergenza controllata da norma sugli spostamenti, algoritmi di verifica locale di deformazione per meccanismi duttili, etc...	Ha a che fare con l'idoneità del programma nel caso specifico di applicazione (10.2, c.1)
Modello computazionale: il modello specifico generato nell'ambito del software usato, con i dati di input relativi alla fisica del struttura, i criteri di discretizzazione, i parametri richiesti dall'algoritmo implementato, etc.	Modello composto da 25 travi e 19 pilastri, con 88 cerniere plastiche, condizioni di carico, gruppi di forze orizzontali proporzionali al 1° modo, condizioni di vincolo, criterio di convergenza basato sulla norma degli spostamenti, passi di carico con controllo in spostamenti, algoritmo di arc-lenght, etc...	

Una volta chiariti e documentati i passaggi fondamentali di una attività di Modellazione e Simulazione numerica è necessario passare a dichiarare le attività necessarie allo scopo di assicurare l'accuratezza (**Verifica**) e l'affidabilità (**Validazione**) dell'analisi numerica di una struttura.

V&V

Validazione (Validation): la procedura per quantificare il grado di accurata rappresentazione della realtà fisica, negli ambiti di interesse, da parte del modello.

Verifica (Verification): l'insieme di attività che determinano che un modello computazionale rappresenti accuratamente gli aspetti di modellazione matematica e la soluzione matematica da essa prodotta.

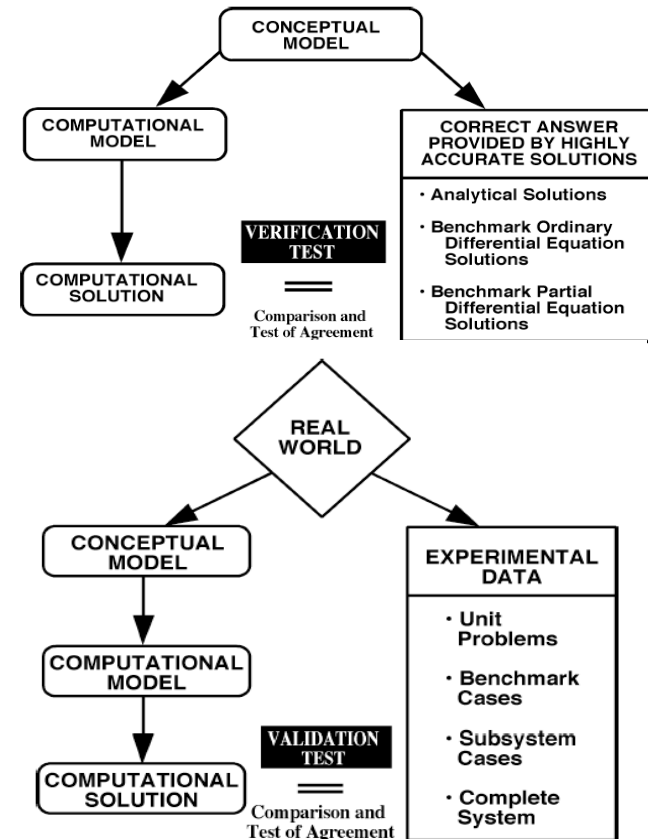
ASME: Validation & Verification (2)



Per essere più specifici, Oberkampf (al Transport Task Force Meeting, NNSA, 2004), sottolineava:

Verifica (*Verification*): risponde alla domanda “Ho fatto il modello giustamente (correttamente)? Ha a che fare con la Matematica”

Validazione (*Validation*): risponde alla domanda “Ho fatto il giusto modello (per il fenomeno fisico allo studio)?” Ha a che fare con la Fisica”



ASME: Validation & Verification (3)

Per rendere complete le attività sopra descritte, è necessario suddividere la **Verifica** in due parti ulteriori:

- ❑ **Verifica del Codice (Code Verification):** stabilire un livello di confidenza, attraverso tests comprovati, affinché il modello matematico e l'algoritmo risolutivo funzionino correttamente;
- ❑ **Verifica delle Calcolazioni (Calculation Verification):** stabilire un livello di confidenza, attraverso tests comprovati, che la “soluzione discretizzata” del modello matematico sia accurata.

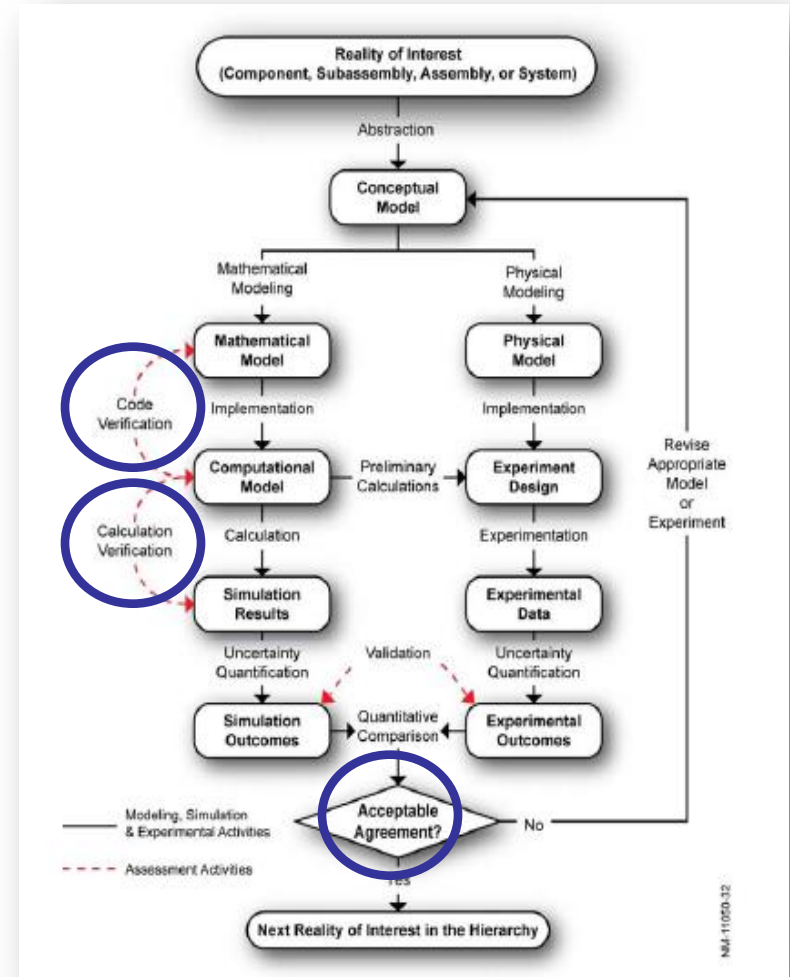
ASME: Validation & Verification (4)

In altre parole, P. Roache, a margine del 2008 Lisbon Workshop su “CFD Uncertainty Analysis”, precisa:

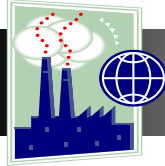
- ❑ **Verifica del Codice (Code Verification):** dimostrare che il codice è corretto; è in grado di fornire una corretta soluzione matematica delle equazioni che governano il continuo al $\lim \Delta \rightarrow 0$; il grado di convergenza è verificato almeno per problemi ben posti;

- ❑ **Verifica delle Calcolazioni (Calculation Verification):** riguarda l'accuratezza della soluzione; gli errori di discretizzazione (mesh) e il peso delle incertezze sui parametri dell'analisi sono stimati senza tuttavia avere la conoscenza della soluzione.

ASME: Validation & Verification (5)



Il Produttore

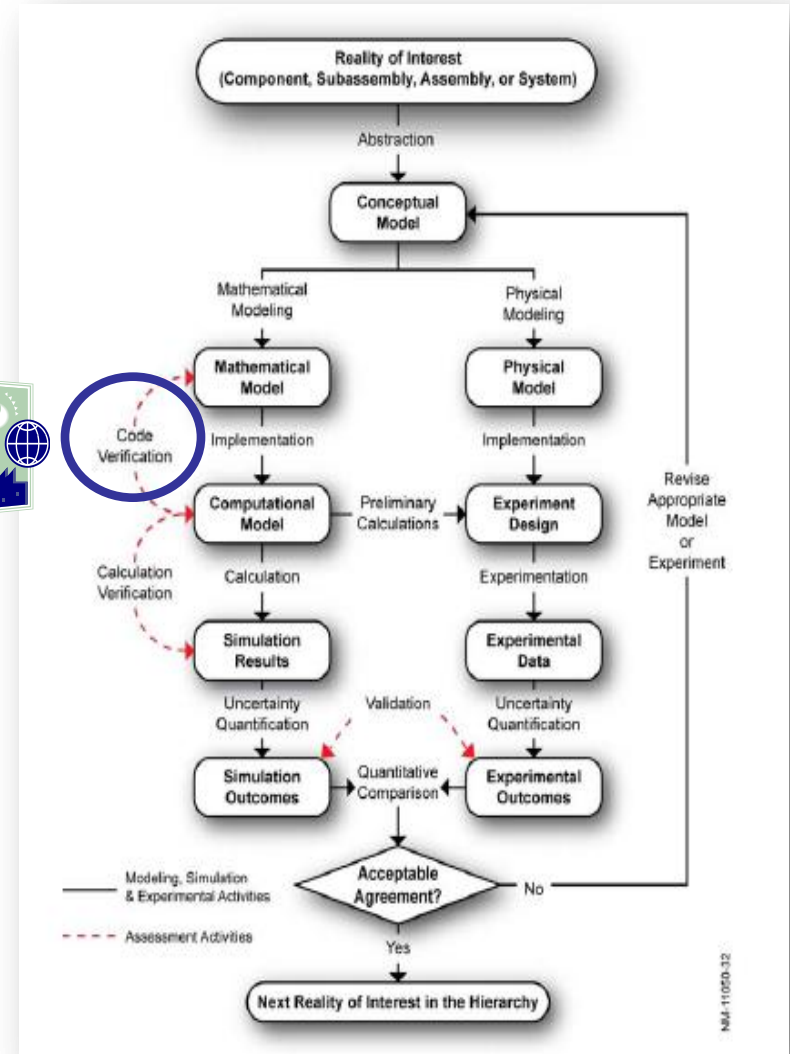


“Minimizzare la probabilità di bugs”
Controllare la “matematica”



☐ Sistema qualità

☐ Casi Prova (Verification)



CERTIFICATE OF REGISTRATION



ISO 9001:2008

THIS IS TO CERTIFY THAT THE
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF

MIDAS Information Technology Co. Ltd.

129-81-36924
MIDAS IT dong, Pangyo Seven Venture Valley
#633, Sampyeong-dong, Bundang-gu
Seongnam-si
Gyeonggi-do
463-400
KOREA

Has been assessed and registered as complying with the requirements of the International Standard shown above for the following Goods and Services. Further clarifications regarding the scope of this certificate and the applicability of ISO 9001:2008 requirements may be obtained by consulting the organisation.

Structural Engineering Software Development, Design Consulting and Engineering IT Internet Solution Development Originally Certified by ISC to ISO 9001:2000 on the 25th September 2002

Tony Wilde
Managing Director
ISC Pty Ltd, A.B.N. 31 245 846 984

Registration Number: QAC/R82/0542
Registration Date: 28-Oct-2009
Expiry Date: 26-Sep-2011
Serial Number: 5992, 5993



ISC Pty Ltd., Unit 2/10 Gladstone Road, Castle Hill NSW 2154, Sydney, Australia.

CERTIFICATE OF REGISTRATION



ISO 14001:2004

THIS IS TO CERTIFY THAT THE
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM OF

MIDAS Information Technology Co. Ltd.

MIDAS IT dong, Pangyo Seven Venture Valley
#633, Sampyeong-dong, Bundang-gu
Seongnam-si
Gyeonggi-do
463-400
KOREA

Has been assessed and registered as complying with the requirements of the International Standard shown above for the following Goods and Services:-
Structural Engineering Software Development, Design Consulting and Engineering IT Internet Solution Development Originally Certified to ISO 14001:1996 on 25 September 2002

Tony Wilde
CEO-Group Chairman
ISC Pty Ltd, A.B.N. 31 245 846 984

Registration Number: EMS/R82/0542
Original Registration Date: 05-Oct-2005
Re-certification Date: 05-Sep-2008
Expiry Date: 05-Oct-2011
Serial Number: 1167, 1168

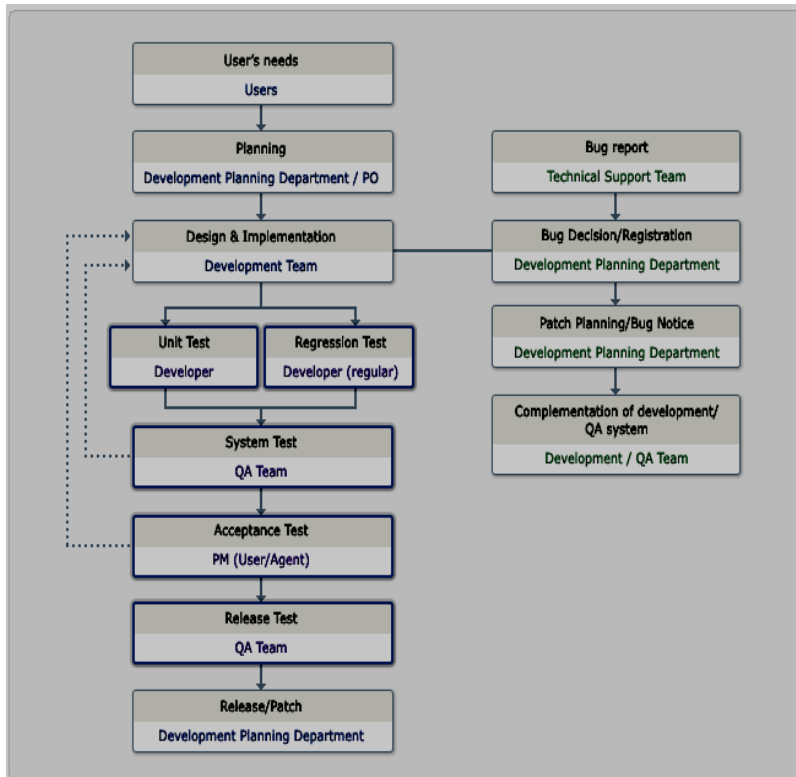


ISC Pty Ltd., Unit 2/10 Gladstone Road, Castle Hill NSW 2154, Sydney, Australia.

This Certificate remains the property of International Standards Certifications Pty Ltd and must be returned upon request. It must not be altered in any way. Intentional misuse of this certificate will result in cancellation without prior notification.

Procedure di Qualità

Development Procedure



Software Bug Report Procedure



The dimensions and material properties of the structure are shown in Fig. 9.1. Because of symmetry only half of the geometry is modeled using 6-node triangle elements. The cohesion at the soil surface, c_{ref} , is taken 1 kPa. The cohesion gradient, $c_{increment}$, is set equal to 2 kPa/m, using a reference level, $y_{ref}=2$ m (=top of layer). The stiffness at the top is given by $E=299$ kPa and the increase of stiffness with depth is defined by $E_{increment}=498$ kPa/m. Calculations are carried out for a rough and smooth footing.

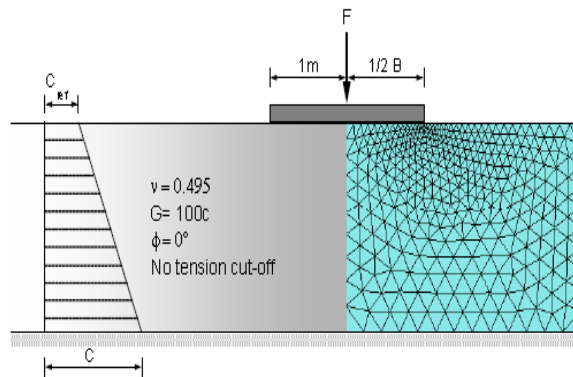


Fig. 9.1 Problem geometry and finite element mesh

Comparison of Results

Mean ultimate vertical stress beneath the footing

Unit: kPa

		Analytical	GTS	
			Value	Ratio (%)
Radial displacement	Smooth	7.80	7.92	1.54
	Rough	9.09	9.44	3.87

Reference

Davis, E.H., and Booker, J.R., "The effect of increasing strength with depth on the bearing capacity of clays," *Geotechnique*, Vol. 23, No. 4, 1973, pp. 551-563.

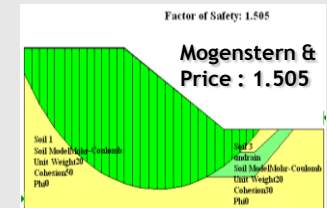
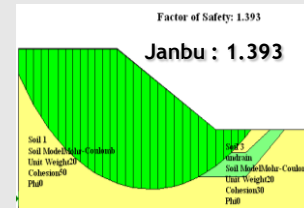
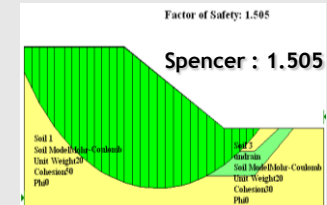
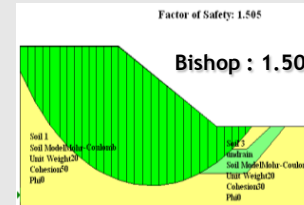
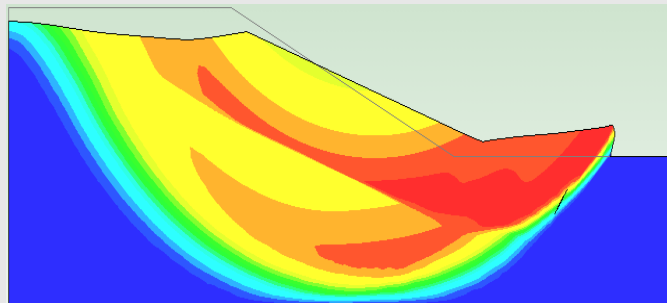
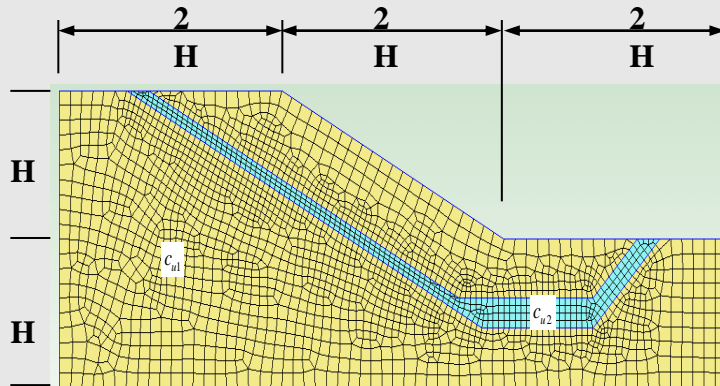
Code Verification Samples



MIDAS/GTS

Verification

Benchmark-002



Software	Phase ²				GTS			
	T3	T6	Q4	Q8	T3	T6	Q4	Q8
FS		1.35		1.35				1.39

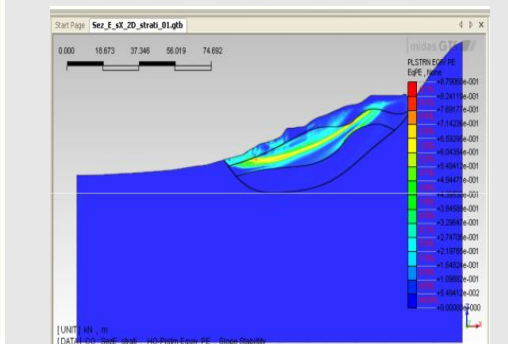
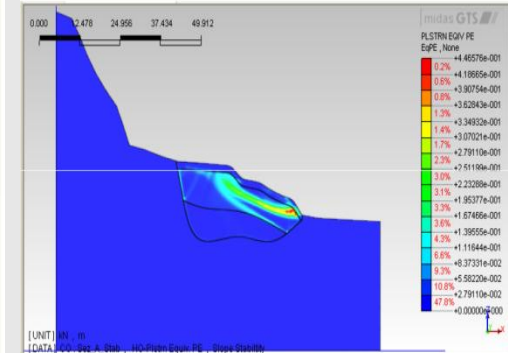
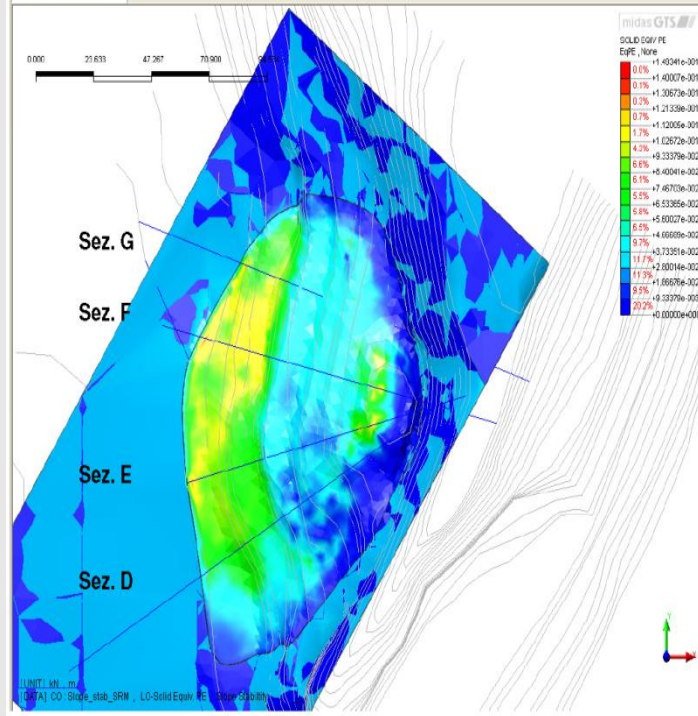
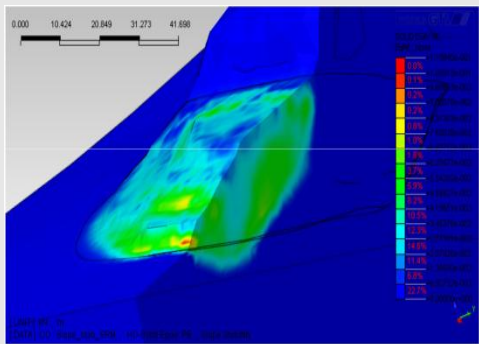
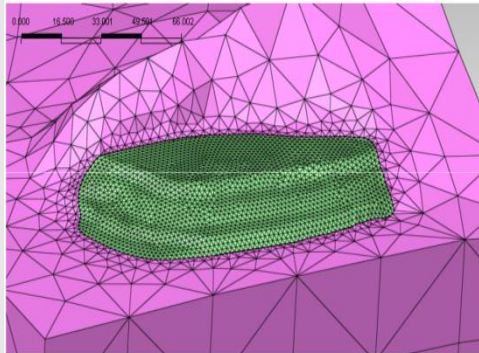
Code Verification Samples



MIDAS/GTS

Verification

Benchmark-003



Code Verification Samples



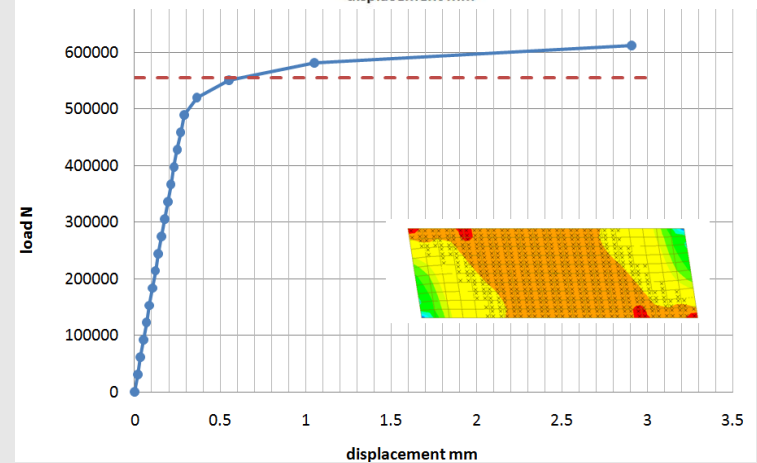
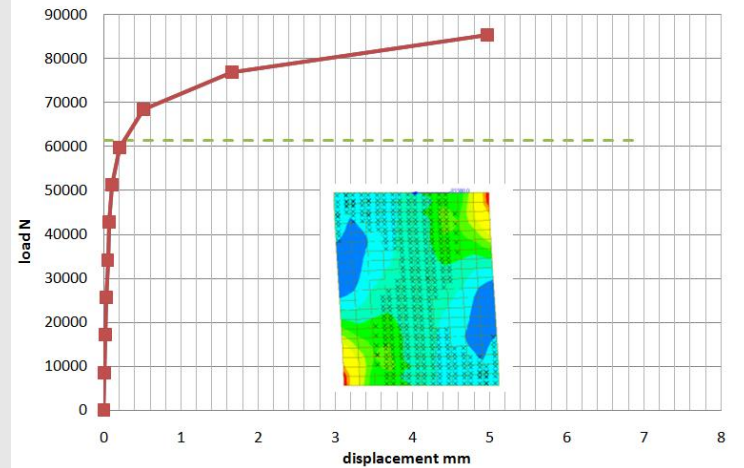
MIDAS/Gen

Verification

Benchmark-001

Muretto sottoposto a forza orizzontale

H	1000	mm
B	3000	mm
s	100	mm
	mattoni	
E	22528	N/mm ²
p	0.25	N/mm ²
fyt	1.85	N/mm ²
	joint	
E	7400	N/mm ²
p	0.3	N/mm ²
fyt	1.85	N/mm ²



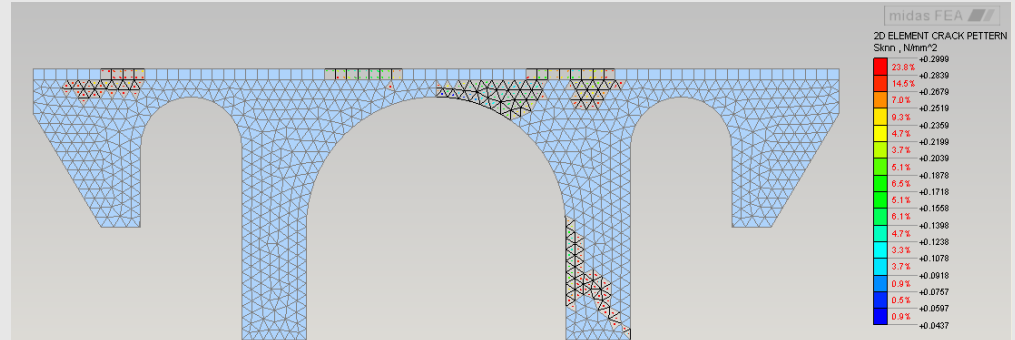
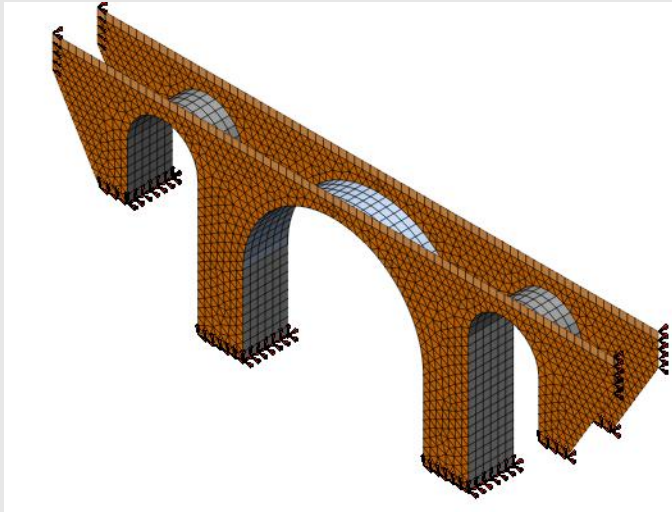
Code Verification Samples



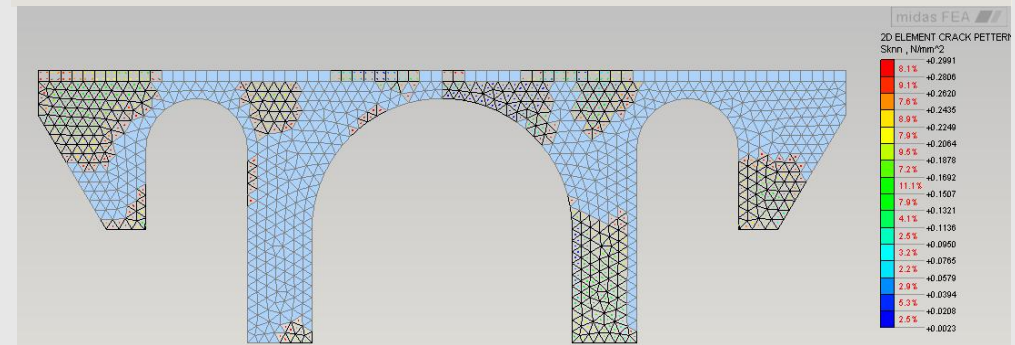
MIDAS/FEA

Verification

Benchmark-001



[UNIT] N . mm
[DATA] nonlin(Construction Stage) . STAGE 2, STEP 1(LF 0.013,X2) . LO-PLATE,BOT,INT,Surf-Skinn



[UNIT] N . mm
[DATA] nonlin(Construction Stage) . STAGE 2, STEP 1(LF 0.025,X2) . LO-PLATE,BOT,INT,Surf-Skinn

E	ν	p	ft	fc	Gt	Gc
[Mpa]		[Kg/m ³]	[Mpa]	[Mpa]	[N/mm]	[N/mm]
6000	0.2	2200	0.3	4.5	0.018	5

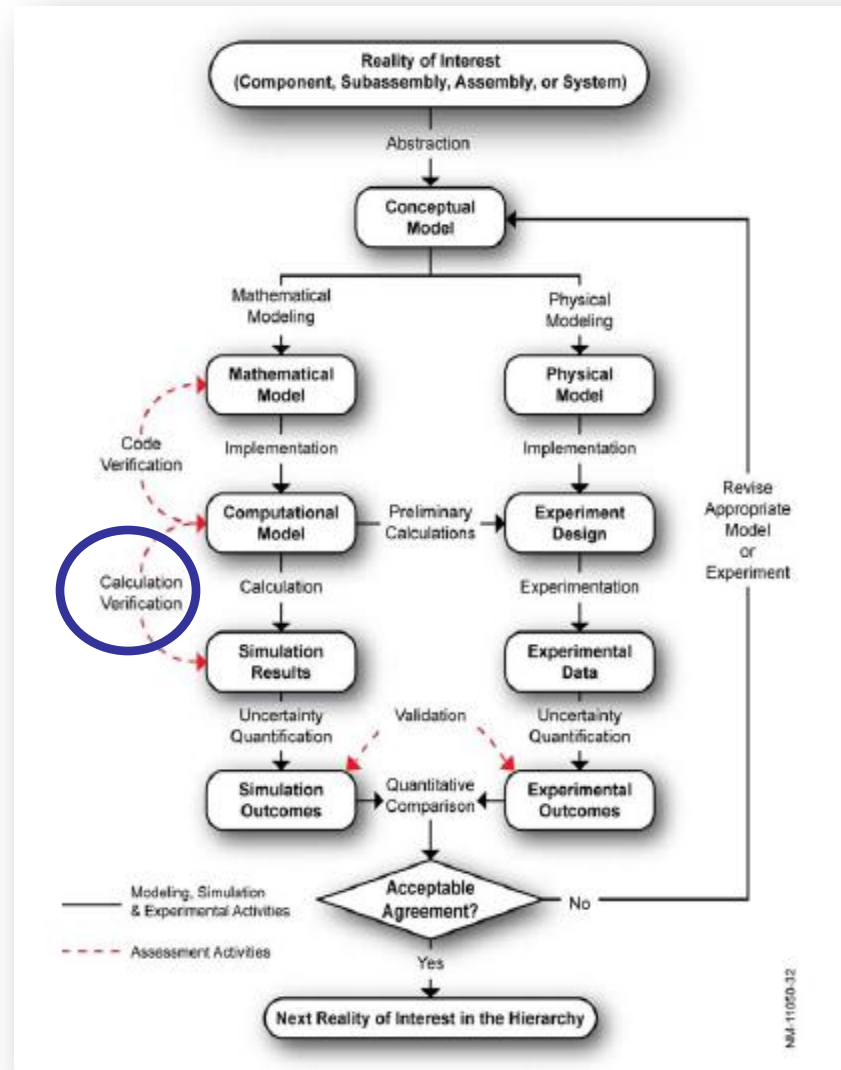
L'analista, utilizzatore del software



Seguire le “Linee Guida” di:

- ❖ NAFEMS
- ❖ NASA
- ❖ ASME
- ❖ FIB
- ❖ IAEA

Calculation verification



5 Regole di buone esecuzione

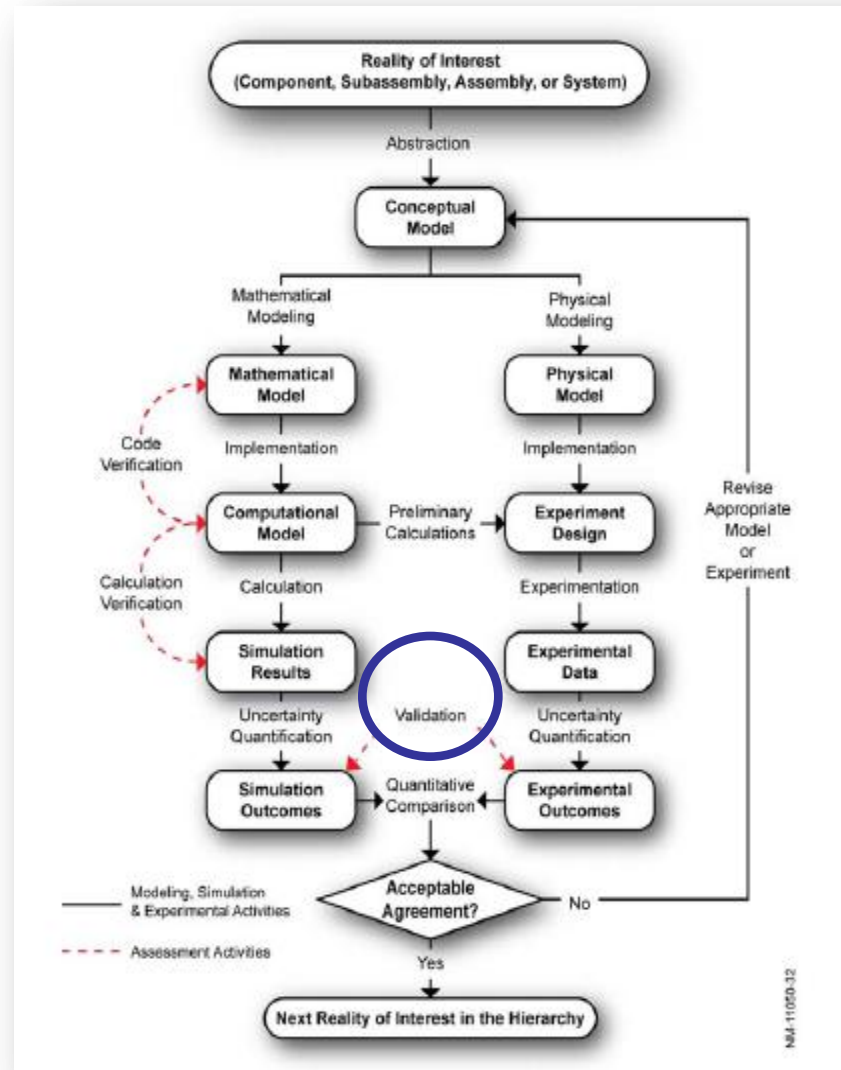
- 1. Definizione del flusso M&S**
- 2. Check Lists sul modello**
- 3. Calcoli di massima, comparazioni**
- 4. Sistema Qualità Aziendale**
- 5. Qualificazione dell'analista**

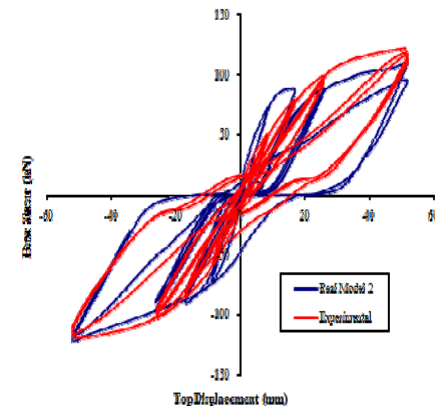
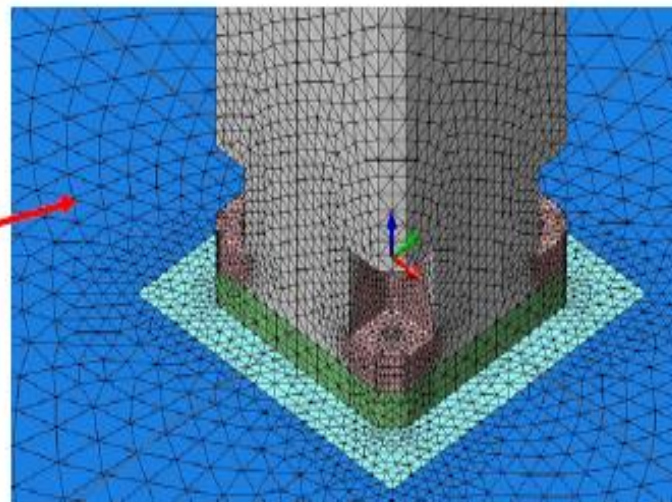
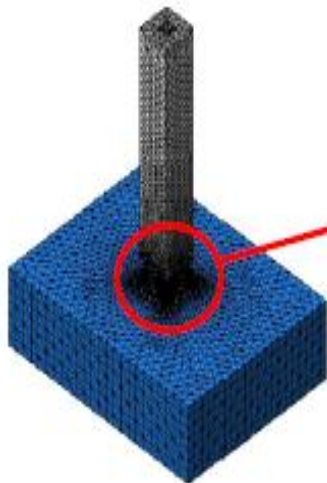
L'analista, utilizzatore del software



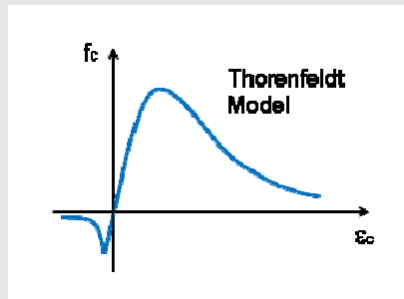
Le esperienze dello staff di CSPfea con:

- ❖ Università
- ❖ Centri di R&S
- ❖ Clienti “Advanced”
- ❖ Altri Clienti





Sviluppo innovativo di un giunto colonna-plinto.
Analisi ciclica nonlineare.
Comparazione con tests.



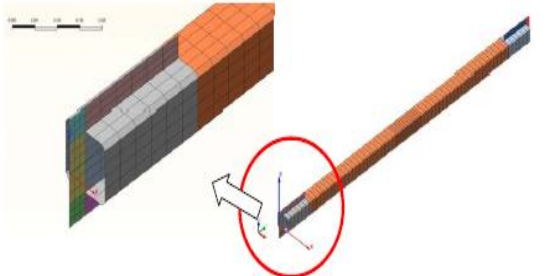
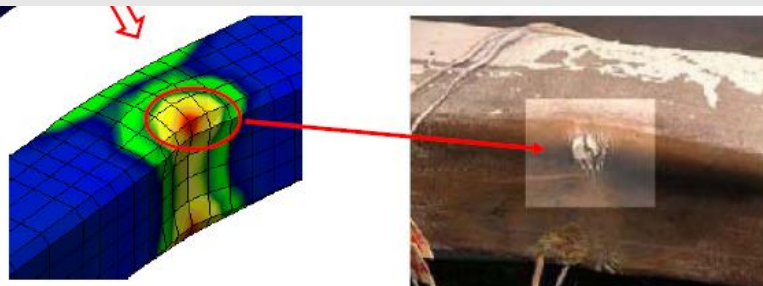
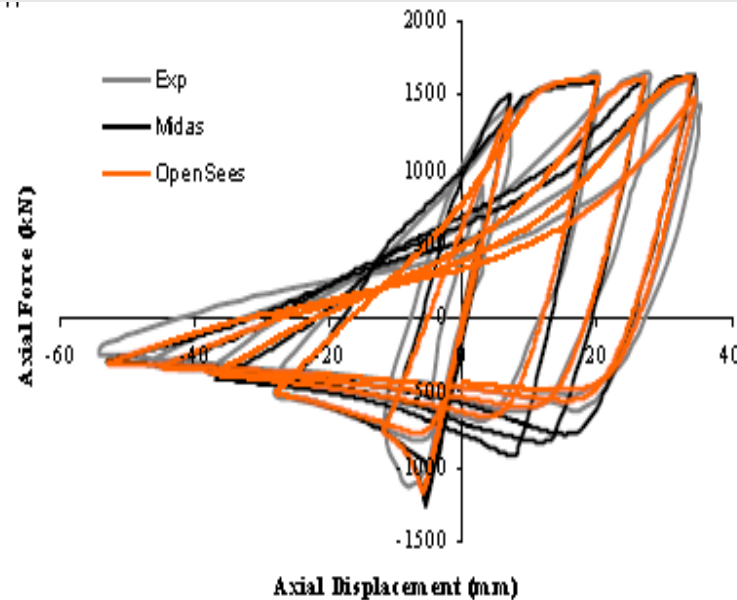


Figure 3. MIDAS finite element model of specimen 1B

Controventi in acciaio.
Analisi nonlineare.
Comparazione con tests.



The strain range 0.26-0.3 is very well matched with the range 0.271-0.306 as specified by the experimental campaign done by **J.-H. Yoo et al.(2008)**.

$$\varepsilon_{eqv}^{pl} = \frac{1}{\sqrt{2}(1+\nu)} \left[(\varepsilon_x^{pl} - \varepsilon_y^{pl})^2 + (\varepsilon_y^{pl} - \varepsilon_z^{pl})^2 + (\varepsilon_z^{pl} - \varepsilon_x^{pl})^2 + \frac{2}{3} (\gamma_{xy}^{pl^2} + \gamma_{yz}^{pl^2} + \gamma_{zx}^{pl^2}) \right]^{1/2}$$

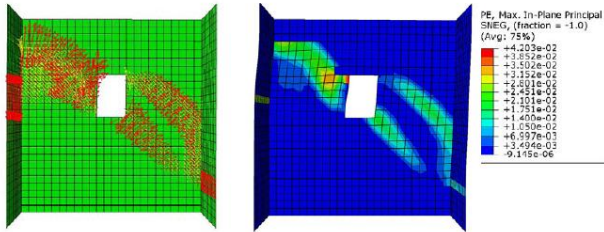


Figure 16.- Maximum plastic strain distribution in Abaqus/Standard (units in mm/mm).

Murature in mattoni.
Analisi pushover.
Comparazione con
tests.

Modello alternativo.

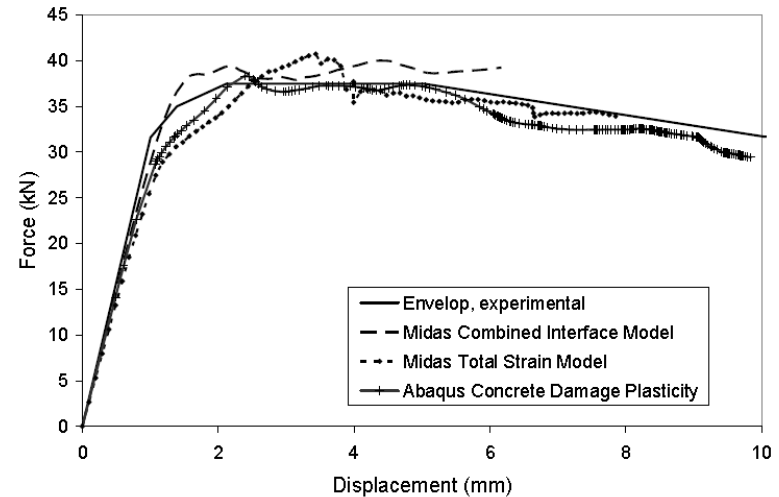


Figure 17.- Pushover curves: experimental results and numerical modelling.

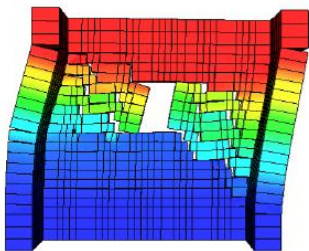
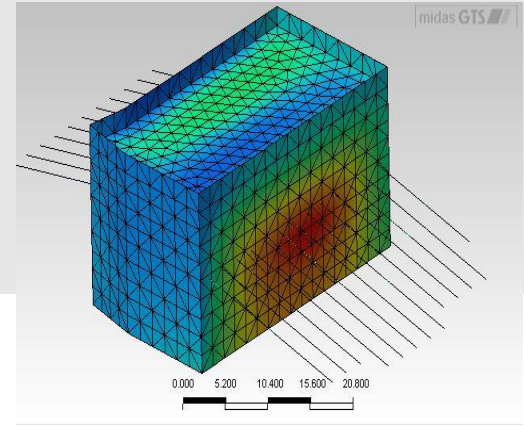
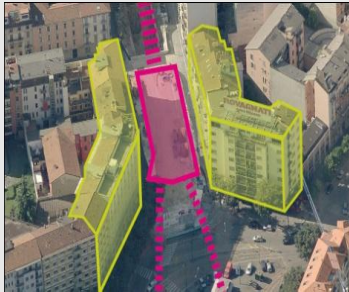


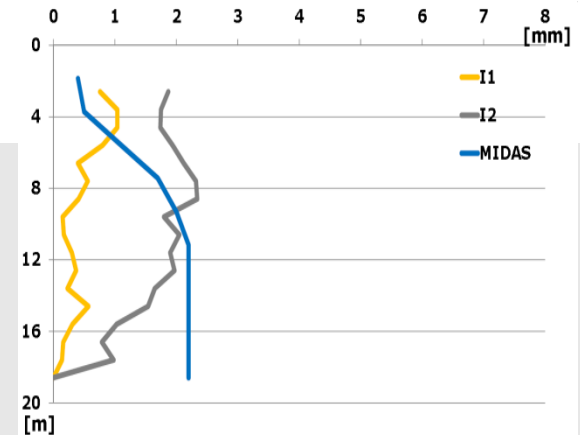
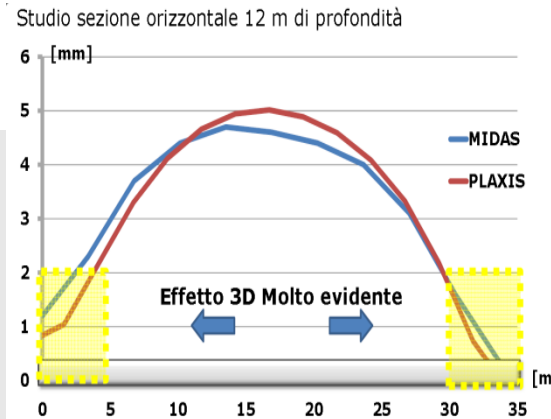
Table 3.- Adobe masonry material properties used for the total strain model.

Elastic				Tension		Compression		
E (N/mm ²)*	ν	γ_m (N/mm ³)	h (mm)	f_t (N/mm ²)*	G_{ft} (N/mm)*	f_c (N/mm ²)*	G_{fc} (N/mm)*	ϵ_p (mm/mm)*
200	0.2	2.16e-05	140	0.04	0.01	0.3	0.068	0.00325

* calibrated values.



Scavo in area urbana.
Analisi nonlineare per
valutazione di
cedimenti.
Comparazione con
tests in situ.





MIDAS/GTS

Validation

CV-GTS-002

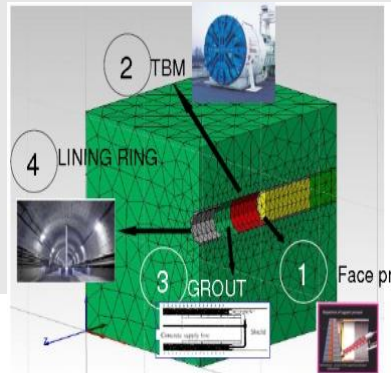


Fig.7: TBM modelling: Approach A - simple

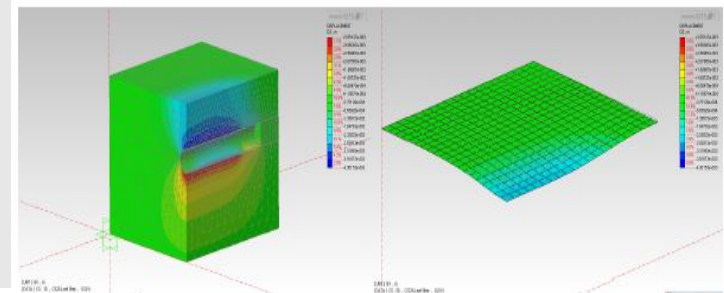
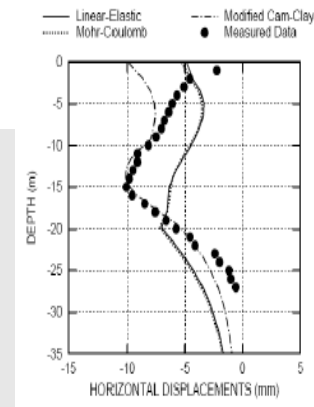
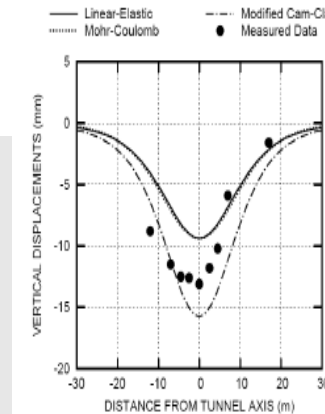
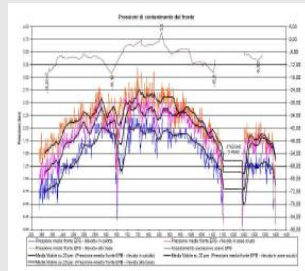
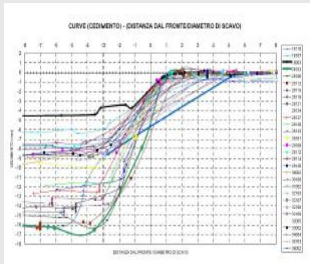


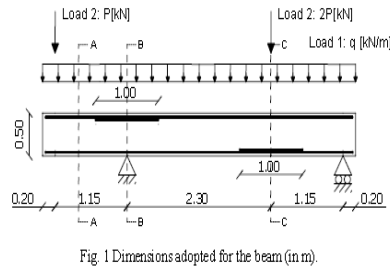
Fig.11: Approach B: vertical settlements contour

Scavo di tunnel in area urbana con TBM.

Analisi nonlineare per valutazione di cedimenti.

Comparazione con tests in situ.





Travi in CA. Analisi nonlineare per SLU a Flessione e a Taglio
Comparazione con tests

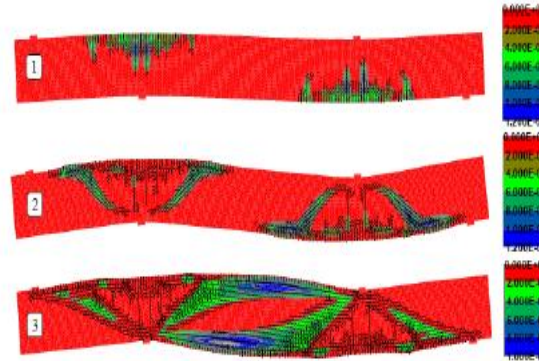


Fig. 8 Crack development and maximum principal strain in model showing ductile failure found with displacement control (Numbers refer to load levels shown in Fig. 6; Displacements: for 1 and 2 $\times 50$, for 3 $\times 10$)

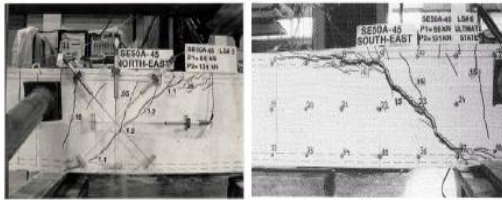
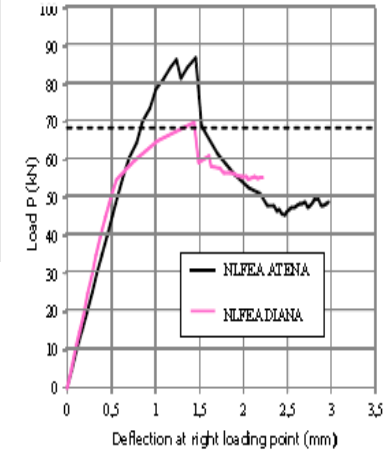


Fig. 3 Experimental crack pattern (a) just before ultimate load at front side and (b) after ultimate shear load at back side.

Central Platform Building structures (Ente pubblico olandese).

Validazione di analisi NL di travi in CA (lente e PC) con sw di analisi NL.

Obiettivo: Linee Guida Ministeriali per analisi nonlineari di strutture in CA e acciaio.

Grazie per l'attenzione!

Ing. Luigi Griggio

griggio@cspfea.net