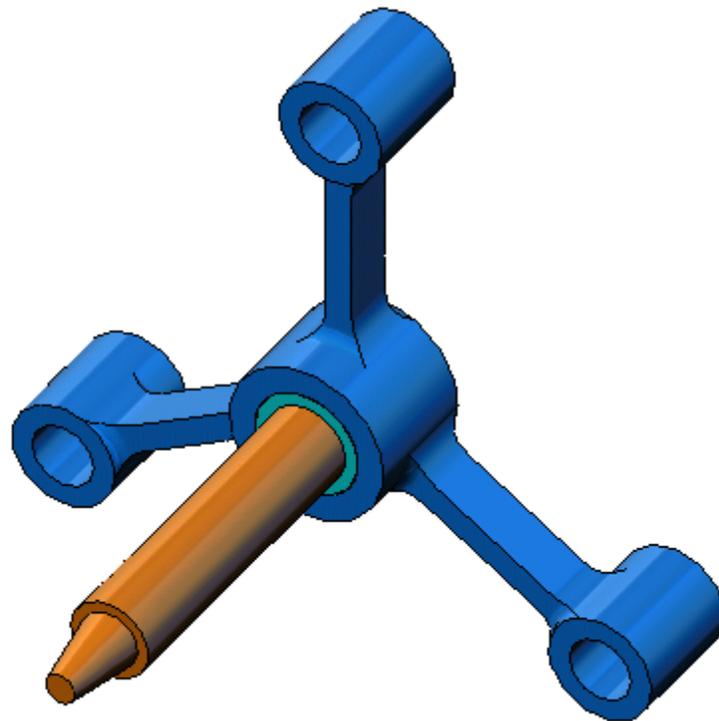




# **Introduzione alle applicazioni di analisi della sollecitazione con SolidWorks Simulation, Guida dell'istruttore**



© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, una società del gruppo Dassault Systèmes S.A. 300 Baker Avenue, Concord, MA 01742 USA.

Tutti i diritti riservati.

Le informazioni e il software ivi presentati sono soggetti a modifica senza preavviso e impegno da parte di Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

Nessun materiale può essere riprodotto o trasmesso sotto qualsiasi forma o attraverso qualsiasi mezzo, elettronico o meccanico, e per qualsiasi scopo senza il previo consenso scritto di DS SolidWorks.

Il software descritto in questo manuale è fornito in base alla licenza e può essere usato o copiato solo in ottemperanza dei termini della stessa. Ogni garanzia fornita da DS SolidWorks relativamente al software e alla documentazione è stabilita nell'Accordo di licenza e del servizio di abbonamento di Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Nessun'altra dichiarazione, esplicita o implicita in questo documento o nel suo contenuto dovrà essere considerata o ritenuta una correzione o revisione di tale garanzia.

#### **Note di brevetto per SolidWorks Standard, Premium e Professional**

Brevetti USA 5.815.154; 6.219.049; 6.219.055; 6.603.486; 6.611.725; 6.844.877; 6.898.560; 6.906.712; 7.079.990; 7.184.044; 7.477.262; 7.502.027; 7.558.705; 7.571.079, 7.643.027 e alcuni brevetti stranieri, compresi EP 1.116.190 e JP 3.517.643).

Altri brevetti USA e stranieri in corso di concessione.

#### **Marchi commerciali e altre note per tutti i prodotti SolidWorks**

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, PDMWorks, eDrawings, e il logo eDrawings sono marchi registrati e FeatureManager un marchio registrato in comune proprietà di DS SolidWorks.

SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation e SolidWorks 2010 sono nomi di prodotti DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst, e XchangeWorks sono marchi commerciali di DS SolidWorks.

FeatureWorks è un marchio depositato di Geometric Ltd.

Altre nomi di marca o di prodotto sono marchi commerciali o marchi depositati dei rispettivi titolari.

#### **SOFTWARE PER COMPUTER COMMERCIALE – PROPRIETÀ**

Limitazione dei diritti per il governo statunitense.

L'utilizzazione, la duplicazione o la divulgazione da parte del Governo sono soggette alle restrizioni contemplate in FAR 52.227-19 (Commercial Computer Software - Restricted Rights), DFARS 227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation) e in questo Accordo di licenza, a seconda del caso.

Appaltatore/Produttore:

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, MA 01742 USA

#### **Note di diritti di autore per SolidWorks Standard, Premium e Professional**

Porzioni di questo software © 1990-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software III (GB) Ltd.

Porzioni di questo software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Porzioni di questo software © 1986-2010 mental images GmbH & Co. KG.

Porzioni di questo software © 1996-2010 Microsoft Corporation. Tutti i diritti riservati.

Porzioni di questo software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Porzioni di questo software © 1998-2010 3Dconnexion.

Questo software si basa in parte sul lavoro della Independent JPEG Group. Tutti i diritti riservati.

Porzioni di questo software incorporano PhysX™ by NVIDIA, 2006-2010.

Porzioni di questo software sono protette dai diritti di autore e sono proprietà della UGS Corp. © 2010.

Porzioni di questo software © 2001-2010 Luxology, Inc. Tutti i diritti riservati, brevetti in corso di concessione.

Porzioni di questo software © 2007-2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. e suoi concessionari di licenza. Tutti i diritti riservati. Protetto dai brevetti USA 5.929.866, 5.943.063, 6.289.364, 6.563.502, 6.639.593, 6.754.382. Altri brevetti in corso di concessione.

Adobe, il logo Adobe, Acrobat, il logo Adobe PDF, Distiller e Reader sono marchi depositati o marchi commerciali di Adobe Systems Inc. negli Stati Uniti e in altri paesi.

Per ulteriori informazioni sul diritto d'autore, in SolidWorks vedere ? > Informazioni su SolidWorks.

Altre porzioni di SolidWorks 2010 sono state ottenute in licenza da concessionari di DS SolidWorks.

#### **Note diritti di autore per SolidWorks Simulation**

Porzioni di questo software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. Tutti i diritti riservati.

Porzioni di questo prodotto distribuite dietro licenza ottenuta da DC Micro Development. Copyright © 1994-2005 DC Micro Development, Inc. Tutti i diritti riservati.

## Introduzione

---

### Per l'istruttore

---

Questo documento presenta agli utenti SolidWorks la soluzione software SolidWorks Simulation. Questa lezione si prefigge di:

- 1 Presentare i concetti di base per l'analisi statica strutturale e dei suoi vantaggi.
- 2 Dimostrare la facilità d'uso e la semplicità di esecuzione di questi tipi di analisi.
- 3 Introdurre le regole fondamentali per l'analisi statica e per ottenere risultati precisi e affidabili.

Questo documento è strutturato in modo simile alle lezioni della Guida dell'istruttore di SolidWorks. Vi sono pagine corrispondenti a questa lezione nel *Materiale didattico per lo studente di SolidWorks Simulation*.

---

**Nota:** Questa lezione non intende esaurire tutte le funzionalità di SolidWorks Simulation, bensì si limita ad introdurre i concetti basilari e le regole chiave per eseguire l'analisi statica lineare, nonché a dimostrare la facilità d'uso e la velocità di tali operazioni.

---

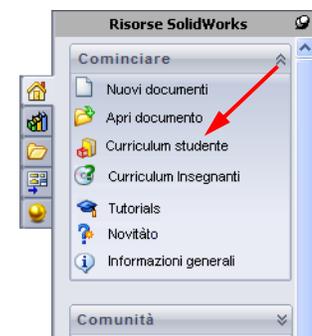
### DVD Education Edition Curriculum and Courseware

---

Il DVD *Education Edition Curriculum and Courseware* accompagna questo corso.

Installare il DVD per creare una cartella di nome SolidWorks Curriculum\_and\_Courseware\_2010, contenente le directory utilizzate in questo corso e in altri.

Il materiale per lo studente può essere scaricato direttamente dal sito SolidWorks facendo clic sulla scheda Risorse SolidWorks nel Task Pane e selezionando Curriculum studente.



Fare doppio clic sul corso che si desidera scaricare. Premere Ctrl prima di selezionare il corso per scaricare la versione ZIP. Il file Lessons contiene le parti necessarie per completare la lezione. La Guida dello studente contiene la versione PDF del corso.

Il materiale per l'istruttore può essere scaricato direttamente dal sito SolidWorks facendo clic sulla scheda Risorse SolidWorks nel Task Pane e selezionando Curriculum Insegnanti. Questo comando apre la pagina Educator Resources illustrata di seguito.

Home > Training & Support > Technical Support > Learning Resources > Educator Resources\*

### Educator Resources\*

Educator references including lesson plans, PowerPoint presentations, student goals, vocabulary, and student assessments. These materials are provided in a combination of project-based and topic-based formats.

**Note:** These educator resources are for SolidWorks 2008. For SolidWorks 2007 resources, [click here](#).

**EDU Curriculum Introduction (2008)**  
Overview of the guides and resources listed below.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Curriculum introduction		X	X	X	X	X	X	-	-	-	-

**SolidWorks Teacher Guide (2008)**  
Includes lesson plans, presentations, student goals, vocabulary, and assessments.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Student SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teacher SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**COSMOSWorks Educator Guide (2008)**  
An introduction to the principles of analysis using COSMOSWorks.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-

**COSMOSFloWorks Educator Guide (2008)**  
An introduction to the principles of fluid flow analysis using COSMOSFloWorks.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-

**COSMOSMotion Educator Guide (2008)**  
From dynamics to kinematics, incorporate theory through virtual simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	X	X	X	-	X	X	-	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	-	X	X	-	-	-

**Bridge Design Project (2008)**  
Use COSMOSWorks to analyze different loading conditions of the bridge.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	X	X	-	X	X	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**CO2 Car Design Project (2008)**  
Design and analyze a CO2 powered car. Make design changes to reduce drag.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook and SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**F1 in Schools Design Project (2008)**  
Design a model Formula 1 car then optimize it using SolidWorks Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	X	X	-	X	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Mountain Board Design Project (2008)**  
Design, analyze, and create photorealistic rendering of a mountain board.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Seabotix ROV Design Project (2008)**  
These 5-minute-long tutorials teach the fundamentals of DimXpert.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Hands-On Test Drive		X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks template files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Trebuchet Design Project (2008)**  
Construct a trebuchet and analyze to determine material and thickness.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Back to top

Print | Email

## Linea di prodotti SolidWorks Simulation

Questo corso è una guida introduttiva alla simulazione lineare statica di corpi rigidi con l'uso di SolidWorks Simulation. La linea di prodotti completa consente di eseguire una più ampia varietà di analisi progettuali. La sezione seguente elenca tutti i prodotti compresi nei pacchetti e nei moduli di SolidWorks Simulation.

Gli studi statici offrono gli strumenti per l'analisi della sollecitazione lineare di parti e assiemi soggetti a carichi statici. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

La parte si potrà rompere se sottoposta a carichi di esercizio normali?

Il modello è stato sovraprogettato?

È possibile modificare il progetto per aumentarne il fattore di sicurezza?

Gli studi del carico di punta esaminano la prestazione di parti sottili sottoposte a un carico di compressione. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

Le gambe del recipiente sono forti a sufficienza per non cedere, ma sono sufficientemente resistenti a non collassare in caso di perdita della stabilità?

È possibile modificare il progetto per assicurare la stabilità dei componenti sottili dell'assieme?

Gli studi della frequenza offrono gli strumenti per l'analisi dei modi e delle frequenze proprie, fattori essenziali nella progettazione di molti componenti soggetti a carichi statici e dinamici. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

La parte vibrerà se sottoposta a carichi di esercizio normali?

Le caratteristiche di frequenza dei componenti sono adatte per l'uso inteso del prodotto?

È possibile modificare il progetto per migliorarne le caratteristiche di frequenza?

Gli studi termici offrono gli strumenti per analizzare il trasferimento termico dovuto a conduzione, convezione e irraggiamento. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

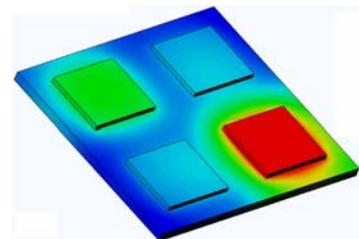
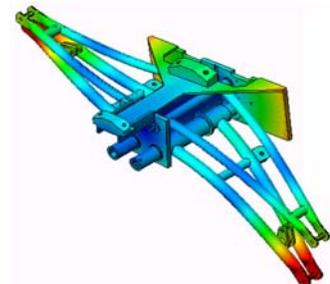
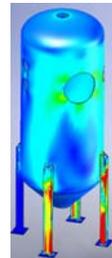
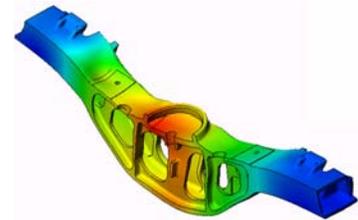
Le escursioni termiche interesseranno il modello?

Come funzionerà il modello in un ambiente soggetto a variazioni termiche?

Quanto tempo è necessario per raffreddare o surriscaldare il modello?

Una variazione della temperatura potrà provocare un'espansione del modello?

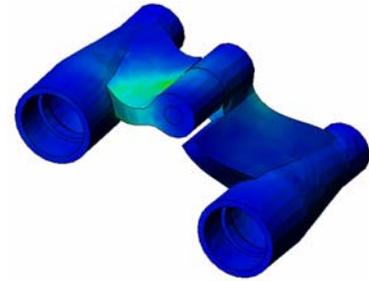
Le sollecitazioni provocate da variazioni termiche potranno determinare il cedimento del prodotto? (Per la risposta, è necessario combinare studi statici a studi termici)



I test di caduta analizzano la sollecitazione delle parti o degli assiemi in movimento nel momento dell'impatto contro un ostacolo. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

Cosa accadrà se il prodotto viene maneggiato con incuria o se viene fatto cadere?

Come si comporterà il prodotto quando cade su superfici diverse, come parquet, moquette o cemento?



Gli studi di ottimizzazione consentono di migliorare (ottimizzare) un progetto iniziale sulla base di una serie di criteri scelti, ad esempio la sollecitazione massima, il peso, la frequenza ottimale, e così via. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

È possibile alterare la forma del modello senza inficiarne la finalità progettuale?

È possibile rendere il progetto più leggero, più piccolo, meno costoso senza comprometterne la resistenza o le prestazioni?



Gli studi della fatica analizzano la resistenza delle parti e degli assiemi soggetti a carichi ripetuti nel tempo. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

È possibile stimare con precisione la durata di un prodotto?

La modifica del progetto corrente può prolungarne la durata?

Il modello è sicuro se soggetto a forze fluttuanti o carichi termici nel lungo periodo?

Rettificando il modello si potrà ridurre il danno causato dalla variazione di forze o temperature?



Gli studi non lineari offrono gli strumenti per analizzare la sollecitazione di parti e assiemi soggetti a carichi pesanti e/o forti deformazioni. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

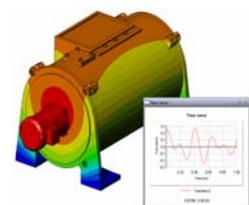
Le parti di gomma (come le guarnizioni) avranno buone prestazioni sotto il carico dato?

Il modello è sottoposto a una flessione eccessiva nelle normali condizioni operative?

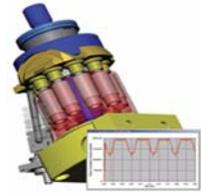


Gli studi dinamici analizzano gli oggetti soggetti a carichi variabili nel tempo. Esempi tipici sono i carichi d'urto dei componenti di un'automobile, le turbine soggette a forze oscillatorie, i componenti di un velivolo soggetti a carichi casuali, e così via. È possibile analizzare sia le deformazioni lineari (piccole deformazioni strutturali di modelli con materiali basici) sia quelle non lineari (forti deformazioni strutturali, carichi pesanti e materiali avanzati). Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

Le sospensioni sono state progettate in modo sicuro e resisteranno se una ruota colpisce una buca per strada? Qual è l'entità della deformazione in questo caso?



Motion Simulation consente di analizzare il comportamento cinematico e dinamico dei meccanismi. Le forze sui giunti e le forze inerziali possono essere quindi trasferite in studi SolidWorks Simulation per l'analisi della sollecitazione. Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:



Qual è la dimensione corretta del motore o dell'attuatore nel progetto?

La progettazione di collegamenti, ingranaggi e meccanismi è ottimale?

Quali sono i valori di spostamento, velocità e accelerazione dei componenti del meccanismo?

Il meccanismo è efficiente? È possibile migliorarlo?

Il modulo Composites consente di simulare le strutture realizzate con materiali compositi laminati.

Le tipiche domande cui questo tipo di analisi può dare risposta sono le seguenti:

Il modello composito cederà sotto il carico dato?

È possibile alleggerire la struttura utilizzando materiali compositi senza comprometterne la resistenza e la sicurezza?

Il composito a strati potrà separarsi?



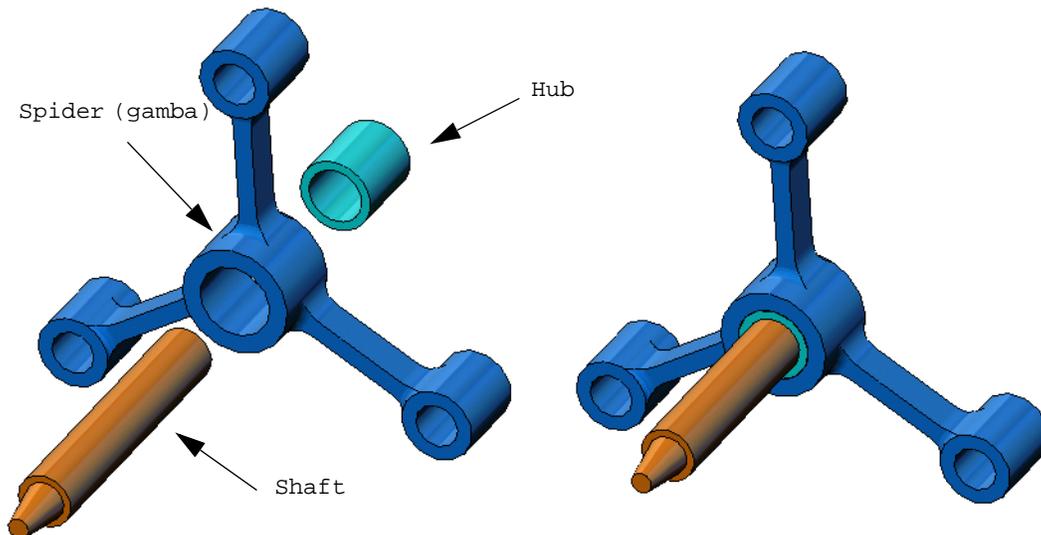
## Lezione 1 – Funzionalità di base di SolidWorks Simulation

---

### Obiettivi della lezione

---

- ❑ Introdurre l'analisi progettuale come strumento a complemento della modellazione 3D con SolidWorks. Al termine di questa lezione, gli studenti avranno appreso i concetti fondamentali riguardanti l'analisi progettuale e la sua implementazione in SolidWorks Simulation. Lo studente capirà che l'analisi può fare risparmiare tempo e denaro riducendo e ottimizzando i cicli di progettazione.
- ❑ Introdurre l'analisi progettuale avvalendosi di un esercizio pratico che in questa lezione funge da esempio semplificato e introduttivo alle fasi necessarie per l'analisi. In questo senso, le fasi per l'esecuzione dell'esercizio sono descritte in modo sommario.
- ❑ Introdurre il concetto di mesh del modello. La mesh generata dipende dalle preferenze attive. Queste opzioni non sono discusse in questa lezione. La lezione discute l'impostazione delle opzioni di mesh in modo che tutti gli studenti ottengano una mesh simile e pertanto risultati simili. Le opzioni sono descritte nella Guida in linea che si apre dal PropertyManager associato alle preferenze di mesh.  
I risultati dell'analisi possono differire leggermente in base alla versione e al build di SolidWorks e di SolidWorks Simulation.



## Schema

---

- Discussione in classe
- Esercizio pratico – Esecuzione dell'analisi statica
  - Apertura dell'assieme `spider.SLDASM`
  - Controllo del menu di SolidWorks Simulation
  - Commutazione a SolidWorks Simulation Manager
  - Impostazione delle unità per l'analisi
  - Fase 1: Creazione di uno studio statico
  - Fase 2: Assegnazione dei materiali
  - Fase 3: Applicazione dei vincoli
  - Fase 4: Applicazione dei carichi
  - Fase 5: Mesh dell'assieme
  - Fase 6: Esecuzione dell'analisi
  - Fase 7: Visualizzazione dei risultati
  - Visualizzazione della sollecitazione von Mises
  - Animazione del grafico
  - Visualizzazione degli spostamenti risultanti
  - Il progetto è sicuro?
  - Quanto è sicuro il progetto?
  - Generazione di un rapporto per lo studio
  - Salvataggio del lavoro e uscita da SolidWorks
- Verifica da 5 minuti
- Discussione in classe – Modifica del materiale assegnato
- Argomenti avanzati – Modifica della geometria
- Esercizi e progetti – Flessione di una trave a causa di una forza finale
- Riepilogo della lezione

## Discussione in classe

---

Chiedere agli studenti di identificare oggetti attorno a loro di cui possano specificare i carichi e vincoli. Ad esempio chiedere loro di stimare la sollecitazione sulle gambe della sedia.

### Risposta

- La sollecitazione è una forza per unità di area o una forza diviso l'area. Le gambe sostengono il peso dello studente più il peso della sedia. La forma della sedia e il modo in cui lo studente siede determinano la sollecitazione su ogni gamba. La sollecitazione media è il peso dello studente più il peso della sedia diviso l'area delle gambe.

### Argomenti avanzati

Lo scopo di questa sezione è incoraggiare gli studenti a pensare alle applicazioni dell'analisi della sollecitazione. Chiedere agli studenti di stimare la sollecitazione esercitata sui piedi quando stanno in piedi. La sollecitazione è uguale in tutti i punti? Cosa accade se lo studente si sporge in avanti, indietro o di lato? E la sollecitazione sulle ginocchia e sull'articolazione della caviglia? Sono utili queste informazioni per modellare articolazioni artificiali?

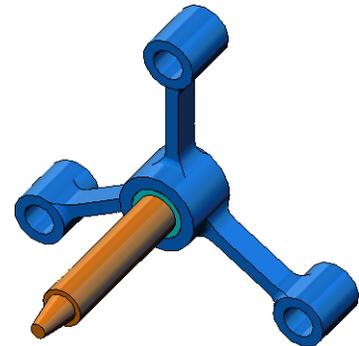
### Risposta

- La sollecitazione è una forza per unità di area o una forza diviso l'area. La forza è il peso dello studente. L'area che sostiene il peso è l'area del piede a contatto con la scarpa. La scarpa ridistribuisce il peso e lo trasmette a terra. La forza di reazione dal suolo deve essere uguale al peso dello studente.
- In posizione eretta, ogni piede sostiene circa la metà del peso. Quando si cammina, un piede sostiene tutto il peso del corpo. Lo studente può avvertire che la sollecitazione (pressione) è più alta ad un dato momento. In posizione eretta, lo studente può muovere le dita del piede e ciò indica la quasi totale assenza di sollecitazione. Ma sporgendosi in avanti, la sollecitazione si ridistribuisce e viene applicata maggiormente sulle dita e meno sul tallone. La sollecitazione media è il peso diviso l'area del piede a contatto con la scarpa.
- Si può stimare la sollecitazione media sulle ginocchia e sull'articolazione della caviglia se si conosce l'area che sostiene il peso. Per ottenere risultati precisi, è necessario eseguire l'analisi della sollecitazione. Potendo creare l'assieme di un ginocchio o di una caviglia in SolidWorks con le giuste dimensioni e conoscendo le proprietà elastiche delle varie parti, l'analisi statica calcolerebbe le sollecitazioni in ogni punto dell'articolazione in situazioni di vincolo e carico diverse. I risultati possono aiutarci a migliorare la progettazione degli arti artificiali.
- Gli studenti potrebbero domandarsi se con SolidWorks Simulation è possibile modellare le ossa. La risposta è sì e problemi di questo tipo sono già stati affrontati e risolti; SolidWorks Simulation è stato utilizzato per modellare arti artificiali.

## Esercizio pratico – Esecuzione dell'analisi statica

Utilizzare SolidWorks Simulation per eseguire l'analisi statica dell'assieme Spider .SLDASM illustrato a destra.

Di seguito sono fornite le istruzioni dettagliate.



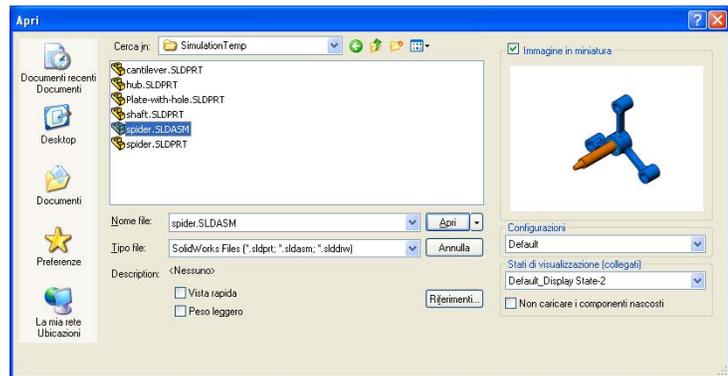
### Creazione della directory SimulationTemp

Si consiglia di salvare SolidWorks Simulation Education Examples in una directory temporanea, al fine di preservare intatta la copia originale per l'uso futuro.

- 1 Creare una directory temporanea di nome SimulationTemp nella cartella Examples della directory di installazione di SolidWorks Simulation.
- 2 Copiare la directory SolidWorks Simulation Education Examples nella cartella SimulationTemp.

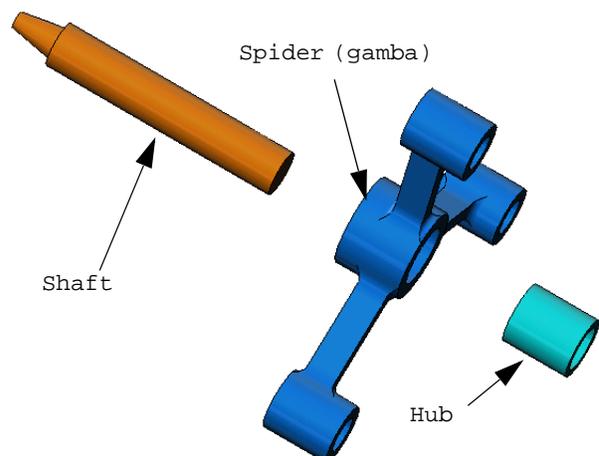
### Apertura dell'assieme Spider .SLDASM

- 1 Fare clic su **Apri**  nella barra degli strumenti Standard. Si visualizza la finestra di dialogo **Apri**.
- 2 Individuare la cartella SimulationTemp nella directory di installazione di SolidWorks Simulation.
- 3 Selezionare Spider .SLDASM.
- 4 Fare clic su **Apri**.



L'assieme spider .SLDASM si apre sullo schermo.

L'assieme spider contiene tre componenti: l'albero shaft, il mozzo hub e la gamba di spider. La figura seguente mostra i componenti nella vista esplosa.



## Controllo del menu di SolidWorks Simulation

Se SolidWorks Simulation è stato installato correttamente, il menu SolidWorks Simulation appare nella barra dei menu di SolidWorks.  
Diversamente:



Menu di SolidWorks Simulation

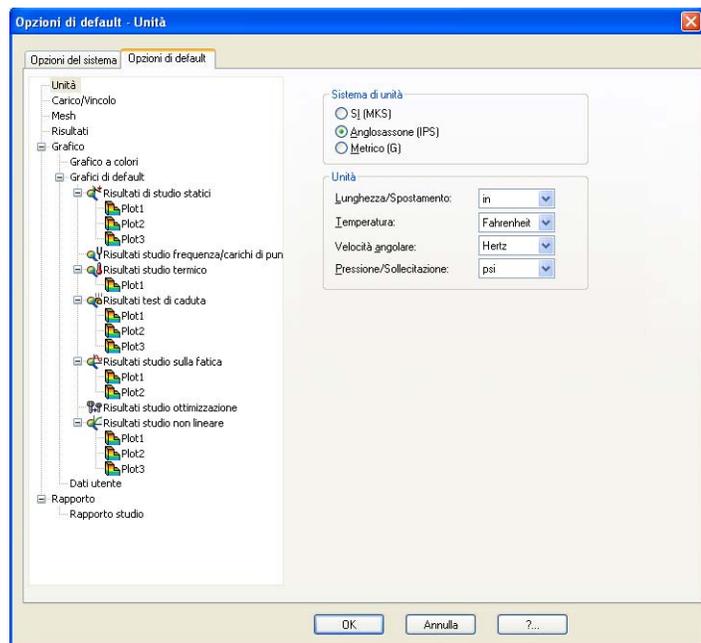
- 1 Selezionare **Strumenti, Aggiunte**.  
Si visualizza la finestra di dialogo **Aggiunte**.
- 2 Spuntare le caselle di controllo accanto a SolidWorks Simulation.  
Se SolidWorks Simulation non appare in elenco, dovrà essere installato.
- 3 Fare clic su **OK**.

Il menu di SolidWorks Simulation appare nella barra dei menu di SolidWorks.

## Impostazione delle unità per l'analisi

Prima di iniziare la lezione, è necessario impostare le unità per l'analisi.

- 1 Nella barra dei menu di SolidWorks, selezionare **Simulation, Opzioni**.
- 2 Fare clic sulla scheda **Opzioni di default**.
- 3 Selezionare **Inglese (IPS)** in **Unità**.
- 4 Selezionare **in** e **psi** come unità desiderate per **Lunghezza/Spostamento** e **Pressione/Sollecitazione**.
- 5 Fare clic su **OK**.



## Fase 1: Creazione di uno studio

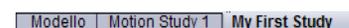
Il primo passo per eseguire l'analisi consiste nel creare uno studio.

- 1 Fare clic su **Simulation, Studio** nel menu principale di SolidWorks in alto sullo schermo.  
Si visualizza il PropertyManager di **Studio**.
- 2 In **Nome**, digitare My First Study.
- 3 Per **Tipo**, selezionare **Statico**.
- 4 Fare clic su **OK**.

SolidWorks Simulation crea l'albero dello studio di simulazione sotto l'albero di disegno FeatureManager.



Viene creata anche una scheda in fondo alla finestra che agevola la navigazione tra i diversi studi e il modello.



## Fase 2: Assegnazione del materiale

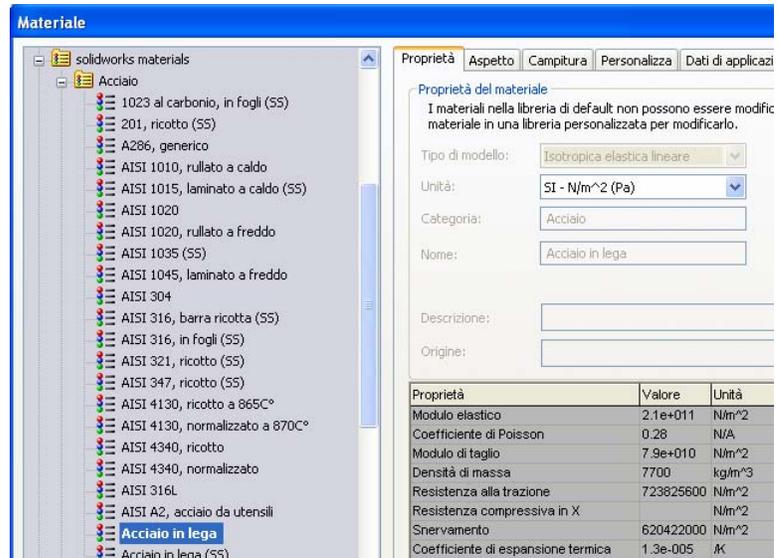
Tutti i componenti dell'assieme sono in lega di acciaio.

### Acciaio in lega per tutti i componenti

1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Parts** e selezionare **Applica materiale a tutti i corpi**. Si visualizza la finestra di dialogo **Materiale**.

2 Procedere nel modo seguente:

- Esandere **Materiali SolidWorks**.
- Esandere la categoria **Acciaio**.
- Selezionare **Acciaio in lega**.



**Nota:** Le proprietà meccaniche e fisiche dell'acciaio in lega appaiono nella tabella a destra.

- Fare clic su **Applica**.
- Chiudere la finestra **Materiali**.

L'acciaio in lega viene assegnato a tutti i componenti e un segno di spunta appare sull'icona di ogni componente. Notare che il nome del materiale assegnato si visualizza accanto al nome del componente.



## Fase 3: Applicazione dei vincoli

Fissare ora i tre fori.

- Ruotare l'assieme come illustrato nella figura avvalendosi delle **frecche direzionali**.
- Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Fixtures** e selezionare **Geometria fissa**. Si visualizza il PropertyManager di **Vincolo**.
- Accertarsi che **Tipo** sia impostato su **Geometria fissa**.



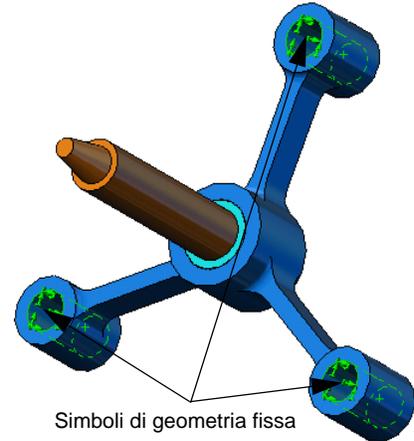
- 4 Nell'area grafica, fare clic sulle facce dei tre fori visualizzate nella figura.  
Face<1>, Face<2> e Face<3> appaiono nella casella **Facce, Bordi, Vertici per il vincolo**.

- 5 Fare clic su .

Il vincolo Fisso viene applicato e il rispettivo simbolo appare sulle facce selezionate.

Inoltre, l'elemento `Fixture-1` appare nella cartella `Fixtures` dell'albero dello studio di simulazione.

Il nome del vincolo può essere modificato a piacere.



#### Fase 4: Applicazione dei carichi

Applicare una forza di 500 lb in direzione normale alla faccia, come illustrato nella figura.

- 1 Fare clic sull'icona **Zoom area**  in alto nell'area grafica e ingrandire la parte rastremata dell'albero.

- 2 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella `External Loads` e selezionare **Forza**.

Si visualizza il PropertyManager di **Forza/Torsione**.

- 3 Nell'area grafica, selezionare la faccia illustrata nella figura.  
Face<1> appare nell'elenco **Facce e bordi shell per forza normale**.

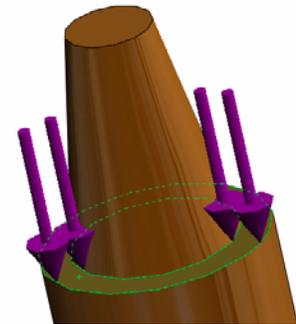
- 4 Verificare che la direzione selezionata sia **Normale**.

- 5 Accertarsi che le **Unità** siano impostate su **Inglese (IPS)**.

- 6 Nella casella **Valore forza** , immettere **500**.

- 7 Fare clic su .

SolidWorks Simulation applica la forza alla faccia selezionata e visualizza l'elemento `Force-1` nella cartella `External Loads`.



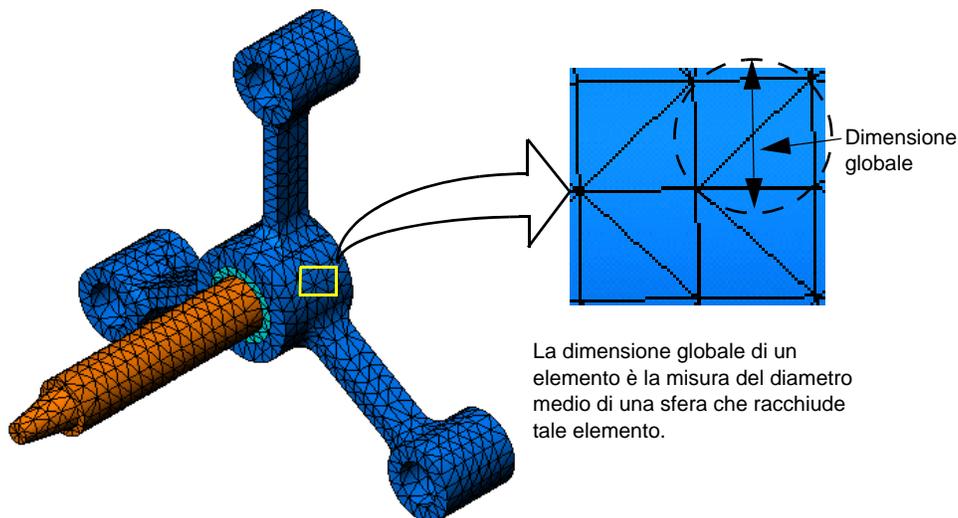
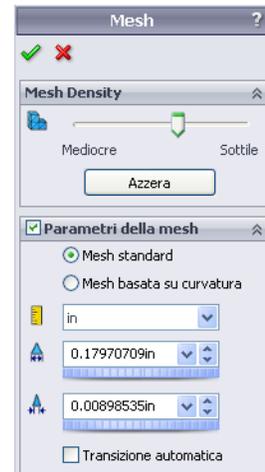
#### Per nascondere i simboli di carico e vincolo

Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella `Fixtures` o `External Loads` e selezionare **Nascondi tutto**.

## Fase 5: Mesh dell'assieme

La mesh divide il modello in piccole parti dette elementi. SolidWorks Simulation suggerisce la dimensione di default degli elementi in base alle dimensioni geometriche del modello (in questo caso 0,179707 in), anche se questa può essere modificata secondo necessità.

- 1 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Mesh e selezionare **Crea mesh**.  
Si visualizza il PropertyManager di **Mesh**.
- 2 Espandere **Parametri mesh** selezionando la casella di controllo. Accertarsi che sia selezionata l'opzione **Mesh standard** e che la casella **Transizione automatica** non sia selezionata.  
Mantenere la **Dimensione globale**  e la **Tolleranza**  di default.
- 3 Fare clic su **OK** per creare la mesh.



## Fase 6: Esecuzione dell'analisi

Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona *My First Study* e quindi su **Esegui** per avviare l'analisi.

Ultimata l'analisi, SolidWorks Simulation crea automaticamente i grafici dei risultati, nella cartella *Results*.

## Fase 7: Visualizzazione dei risultati

### Sollecitazione von Mises

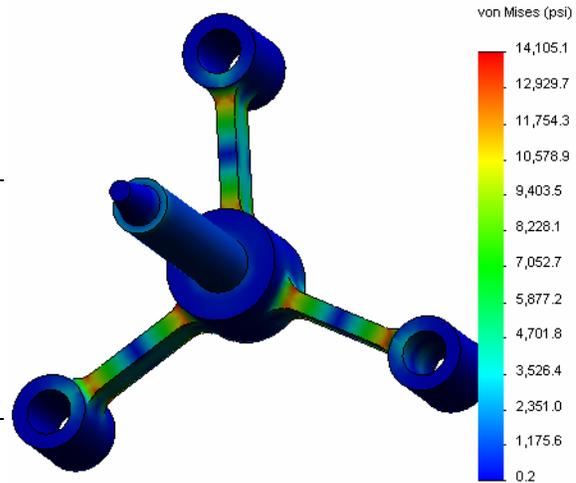
- 1 Fare clic sul segno più  accanto alla cartella Results.

Appaiono le icone di tutti i grafici di default.

---

**Nota:** Se non esistono grafici di default, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Results e selezionare **Definisci grafico di sollecitazione**. Impostare le opzioni nel PropertyManager e fare clic su .

---



- 2 Fare doppio clic su Stress1 (-von Mises-) per visualizzare il grafico della sollecitazione.

---

**Nota:** Per visualizzare l'annotazione con i valori massimo e minimo del grafico, fare doppio clic sulla legenda, selezionare **Mostra annotazione min** e **Mostra annotazione max**, quindi fare clic su .

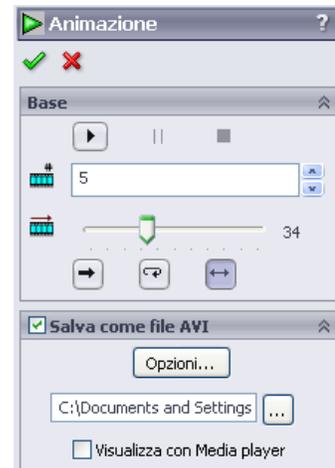
---

### Animazione del grafico

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse su Stress1 (-von Mises-) e quindi su **Animare**.

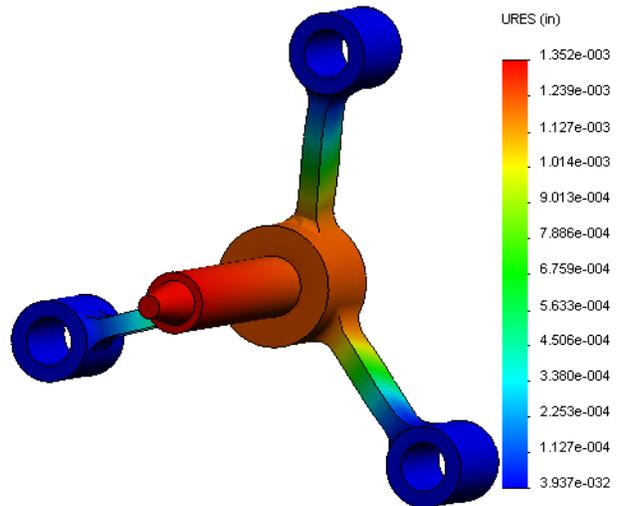
Si visualizza il PropertyManager di **Animazione** e l'animazione si avvia automaticamente.

- 2 Per fermare l'animazione fare clic sul pulsante **Stop** . È necessario fermare l'animazione per salvare il file AVI sul disco rigido del computer.
- 3 Selezionare **Salva come file AVI** e fare clic su  per individuare e selezionare una posizione in cui salvare l'animazione.
- 4 Fare clic su **Esegui**  per riprendere l'animazione. L'animazione si esegue nell'area grafica.
- 5 Fare clic su **Stop**  per fermare l'animazione.
- 6 Fare clic su  per chiudere il PropertyManager di **Animazione**.



## Visualizzazione degli spostamenti risultanti

- 1 Fare doppio clic sull'icona Displacement1- (-Res disp-) per visualizzare il grafico di spostamento risultante.



## Il progetto è sicuro?

La procedura **Fattore di sicurezza** è utile per dare risposta a questa domanda. Utilizzeremo questa procedura per stimare il fattore di sicurezza in ogni punto del modello. Durante la procedura, si dovrà selezionare un criterio di cedimento.

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Results e selezionare **Definisci grafico del fattore di sicurezza**.

Si visualizza il PropertyManager della procedura guidata **Fattore di sicurezza Fase 1 di 3**.

- 2 Come **Criterio** , fare clic su **Massima sollecitazione von Mises**.

---

**Nota:** Sono disponibili diversi criteri tra cui scegliere. La sollecitazione von Mises viene utilizzata per valutare il cedimento dei materiali duttili.

---



- 3 Fare clic su  **Avanti**.

Si visualizza il PropertyManager della procedura guidata **Fattore di sicurezza Fase 2 di 3**.

- 4 Impostare **Unità**  su **psi**.

- 5 Per **Sollecitazione limite**, selezionare **Snervamento**.

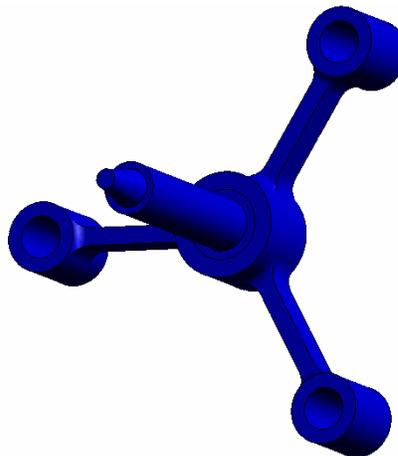
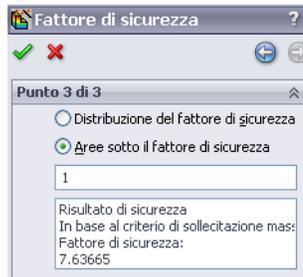
**Nota:** Quando il materiale cede, continua a deformarsi in modo plastico a una velocità maggiore. In casi estremi, può deformarsi anche se il carico non aumenta.

- 6 Fare clic su **Avanti** .

Si visualizza il PropertyManager della procedura guidata **Fattore di sicurezza Fase 3 di 3**.

- 7 Selezionare **Aree sotto il fattore di sicurezza** e immettere **1**.

- 8 Fare clic su  per generare il grafico.



Ispezionare il modello per evidenziare le aree insicure, che appaiono in rosso. Il grafico non contiene elementi in rosso, per indicare che tutti i punti sono sicuri.

### Quanto è sicuro il progetto?

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Results** e selezionare **Definisci grafico del fattore di sicurezza**.
- 2 Come **Criterio**, fare clic su **Sollecitazione massima von Mises**.

Si visualizza il PropertyManager della procedura guidata **Fattore di sicurezza Fase 1 di 3**.

- 3 Fare clic su **Avanti**.  
Si visualizza il PropertyManager della procedura guidata **Fattore di sicurezza Fase 2 di 3**.

- 4 Fare clic su **Avanti**.  
Si visualizza il PropertyManager della procedura guidata **Fattore di sicurezza Fase 3 di 3**.

- 5 Come **Rappresentazione grafica dei risultati**, fare clic su **Distribuzione fattore di sicurezza**.

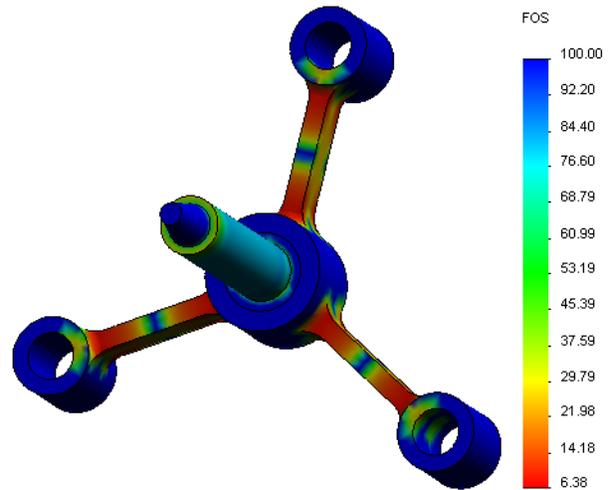
- 6 Fare clic su .

Il grafico generato mostra la distribuzione del fattore di sicurezza. Il fattore di sicurezza più piccolo è dato da 6,4 circa.

---

**Nota:** Un fattore di sicurezza di 1,0 in un punto indica che il materiale in tale punto ha appena cominciato a cedere. Un fattore di sicurezza di 2,0 significa che il progetto è sicuro in quel punto e che il materiale inizierà a cedere raddoppiando i carichi.

---



### Salvataggio di tutti i grafici generati

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona **My First Study** e selezionare **Salva tutti i grafici come file JPEG**.  
Apparirà la finestra di dialogo **Naviga alla cartella**.
- 2 Cercare la directory in cui memorizzare i grafici dei risultati.
- 3 Fare clic su **OK**.

## Generazione di un rapporto per lo studio

Lo strumento **Rapporto** consente di documentare gli studi in modo rapido e sistematico. Il programma genera rapporti in formato HTML e documenti Word che descrivono tutti gli aspetti correlati allo studio.

- 1 Fare clic su **Simulation, Rapporto** nel menu principale di SolidWorks in alto sullo schermo.

Si visualizza la finestra di dialogo **Opzioni di rapporto**.

La sezione **Formato del rapporto** consente di selezionare uno stile per il rapporto e di scegliere le sezioni da includere alla generazione. È possibile escludere alcune sezioni spostandole dal campo **Sezioni incluse** al campo **Sezioni disponibili**.

- 2 Tutte le sezioni dei rapporti sono personalizzabili. Ad esempio, selezionare **Pagina di introduzione** sotto **Sezioni incluse** e completare i campi **Nome**, **Logo**, **Autore** e **Società**.

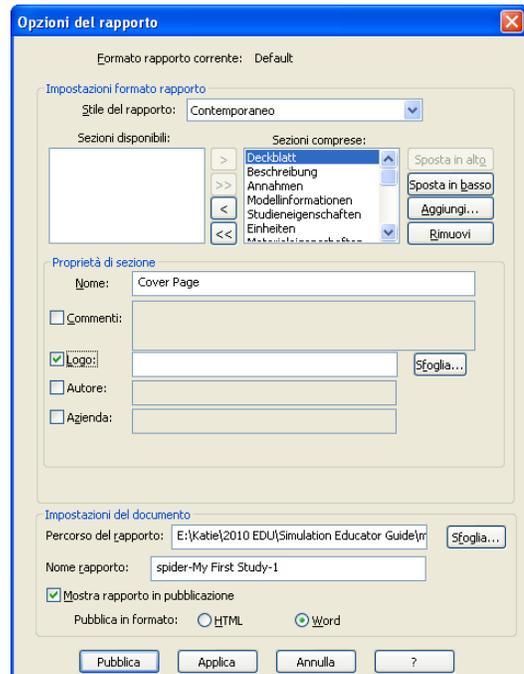
I file del logo possono essere di formato **JPEG (\*.jpg)**, **GIF (\*.gif)** o **Bitmap (\*.bmp)**.

- 3 Evidenziare **Conclusione** nell'elenco **Sezioni comprese** per impostare una conclusione dello studio nella casella **Commenti**.
- 4 Selezionare la casella di controllo **Visualizza rapporto alla pubblicazione** e l'opzione **Word**.
- 5 Fare clic su **Pubblica**.

Il rapporto si apre come documento Word.

Il programma crea inoltre l'icona  nella cartella **Report** dell'albero di SolidWorks Simulation Manager.

Per modificare una sezione del rapporto, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona del rapporto e selezionare **Modifica definizione**. Modificare la sezione e fare clic su **OK** per sostituire il rapporto esistente.



## Fase 8: Salvataggio del lavoro e uscita da SolidWorks

- 1 Fare clic su  nella barra degli strumenti **Standard** oppure selezionare **File, Salva**.
- 2 Selezionare **File, Esci** nel menu principale.

## Verifica da 5 minuti – Chiave di risposta

---

- 1 Come si avvia una sessione con SolidWorks?  
**Risposta:** Dalla barra delle applicazioni Windows, selezionare **Start, Programmi, SolidWorks, Applicazione SolidWorks** per avviare SolidWorks.
- 2 Cosa fare se il menu di SolidWorks Simulation non compare nella barra dei menu di SolidWorks quando viene aperto un file?  
**Risposta:** Selezionare **Strumenti, Aggiunte**, inserire un segno di spunta accanto a SolidWorks Simulation e fare clic su **OK**.
- 3 Che tipo di documenti può analizzare SolidWorks Simulation?  
**Risposta:** SolidWorks Simulation può analizzare parti e assiemi.
- 4 Cos'è l'analisi?  
**Risposta:** L'analisi è un processo che simula le prestazioni di un modello nel mondo reale.
- 5 Perché è importante l'analisi?  
**Risposta:** L'analisi può aiutare a progettare prodotti migliori, più sicuri e in modo più economico. Abbatte i tempi e i costi eliminando molte fasi tipiche dal ciclo di progettazione.
- 6 Cos'è uno studio analitico?  
**Risposta:** Uno studio analitico rappresenta uno scenario del tipo di analisi, con materiali, carichi e vincoli.
- 7 Che tipo di analisi può eseguire SolidWorks Simulation?  
**Risposta:** SolidWorks Simulation può eseguire l'analisi statica, frequenza, termica, carico di punta, test di caduta, fatica, ottimizzazione, recipienti a pressione, statica non lineare, dinamica lineare e non lineare.
- 8 Quali sono i parametri calcolati dall'analisi statica?  
**Risposta:** L'analisi statica calcola gli spostamenti, le deformazioni, le sollecitazioni e le forze di reazione del modello.
- 9 Cos'è la sollecitazione?  
**Risposta:** La sollecitazione è l'intensità di una forza o una forza diviso l'area.
- 10 Quali sono le fasi principali per eseguire l'analisi?  
**Risposta:** Le fasi principale sono: creare uno studio, assegnare i materiali, applicare i vincoli, applicare i carichi, creare la mesh del modello, eseguire l'analisi e visualizzare i risultati.
- 11 Come si cambia il materiale di una parte?  
**Risposta:** Nella cartella **Parts** dello studio, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona della parte, selezionare **Applica materiale a tutti i corpi**, quindi selezionare il nuovo materiale e fare clic su **OK**.
- 12 La procedura Controllo di progettazione mostra un fattore di sicurezza di 0,8 in alcuni punti. Il progetto è sicuro?  
**Risposta:** No. Il fattore di sicurezza minimo non deve essere inferiore a 1,0 perché un progetto sia ritenuto sicuro.

## Discussione in classe – Modifica del materiale assegnato

Chiedere agli studenti di assegnare materiali diversi ai componenti dell'assieme, in base alla tabella seguente, quindi di eseguire l'analisi.

Componente	Nome del materiale
Shaft	Acciaio in lega
Hub	Ghisa grigia
Spider	Lega di alluminio 6061

### Risposta

Per assegnare materiali diversi ai componenti dell'assieme:

#### Ghisa grigia per hub

- 1 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona hub-1 nella cartella **Parts** e selezionare **Applica/Modifica materiale**.  
Si visualizza la finestra di dialogo **Materiale**.
- 2 Nella cartella **Materiali SolidWorks**, sotto la categoria **Ferro**, selezionare **Ghisa grigia**.
- 3 Fare clic su **Applica**, quindi su **Chiudi**.

#### Lega di alluminio 6061 per la gamba di spider

- 1 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona spider-1 nella cartella **Parts** e selezionare **Applica/Modifica materiale**.  
Si visualizza la finestra di dialogo **Materiale**.
- 2 Nella cartella **Materiali SolidWorks**, sotto la categoria **Leghe di alluminio**, selezionare **Lega 6061**.
- 3 Fare clic su **Applica**, quindi su **Chiudi**.

#### Esecuzione dello studio e visualizzazione dei risultati

Se non esistono grafici di default, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Results** e selezionare **Definisci grafico di sollecitazione**. Impostare le opzioni nel **PropertyManager** e fare clic su .

- 1 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona **Study** e selezionare **Esegui**.

---

**Nota:** Per ottenere nuovi risultati, non è necessario ricreare la mesh del modello.

---

- 2 Nell'albero di **SolidWorks Simulation Manager**, fare clic sul segno più  accanto alla cartella **Results**.

Appaiono le icone dei grafici di default.

---

**Nota:** Se non esistono grafici di default, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Results** e selezionare **Definisci grafico di sollecitazione**. Impostare le opzioni nel **PropertyManager** e fare clic su .

---

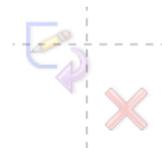
- 3 Fare doppio clic su **Stress1 (-von Mises-)** per visualizzare il grafico della sollecitazione von Mises.

## Argomenti avanzati – Modifica della geometria

Dopo aver visualizzato i risultati, è possibile che si desideri apportare modifiche al progetto. Chiedere agli studenti di modificare la geometria e di ricalcolare i risultati. È importante sottolineare che devono ricreare la mesh del modello e rieseguire lo studio dopo qualsiasi modifica della geometria. Le procedure seguenti descrivono come modificare il diametro dei tre fori e come ricalcolare i risultati.

### Risposta

- Fare clic sulla scheda FeatureManager .
- Fare clic sul segno più (+) accanto a (-)spider<1>.
- Fare clic sul segno più (+) accanto a Cut-Extrude2. Appare l'icona Sketch7.
- Fare clic con il pulsante destro del mouse su Sketch7 e selezionare **Modifica schizzo** . Si apre uno schizzo.
- Premere la barra spaziatrice e selezionare **\*Frontale** nel menu **Orientamento**.
- Fare doppio clic sulla quota **0,60**. Appare la finestra di dialogo **Modifica**.
- Digitare **0,65** nella finestra di dialogo **Modifica** e fare clic su .
- Fare clic su **OK** nell'angolo di conferma.



- Fare clic sull'icona **Modifica componente**  per uscire dalla modalità di modifica.
- L'icona di avviso  appare accanto a My First Study e accanto a Mesh. Un'icona di avviso  appare anche accanto alla cartella Results per indicare che i risultati non sono validi.

- Per ricreare la mesh del modello, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Mesh e fare clic su **Crea mesh**. L'avvertenza che compare informa che la rigenerazione della mesh eliminerà i risultati esistenti. Fare clic su **OK**.

- Utilizzare la **Dimensione globale**  e la **Tolleranza**  di default. Si noti che questi valori sono diversi da prima.
- Selezionare **Esegui (risolvi) analisi** e fare clic su .

- Al termine dell'analisi, visualizzare la sollecitazione von Mises, lo spostamento, la deformazione e altri risultati nel modo descritto in precedenza.



## Esercizi e progetti – Flessione di una trave a causa di una forza finale

Alcuni problemi semplici hanno risposte precise. Uno di questi è una trave con un carico di forza in punta illustrata nella figura. Utilizzeremo SolidWorks Simulation per risolvere questo problema e confrontare i risultati con la soluzione esatta.

### Operazioni

1 Aprire la parte  
Front\_Cantilever.sldprt dalla  
cartella Examples nella directory di  
installazione di SolidWorks Simulation.

2 Misurare la profondità, l'altezza e la  
lunghezza dello sbalzo (con lo strumento  
**Misura** ).

**Risposta:** La larghezza è 1,0 pollice,  
l'altezza è 1,0 pollice e la lunghezza è  
10,0 pollici.

3 Salvare la parte con un nome diverso.

4 Creare uno studio **statico**.

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Fare clic su **Simulation, Studio**.
- Immettere un nome per lo studio.
- Per **Tipo di analisi**, selezionare **Statico**.
- Fare clic su **OK**.

5 Assegnare Acciaio in lega alla parte. Qual è il valore del modulo elastico, in psi?

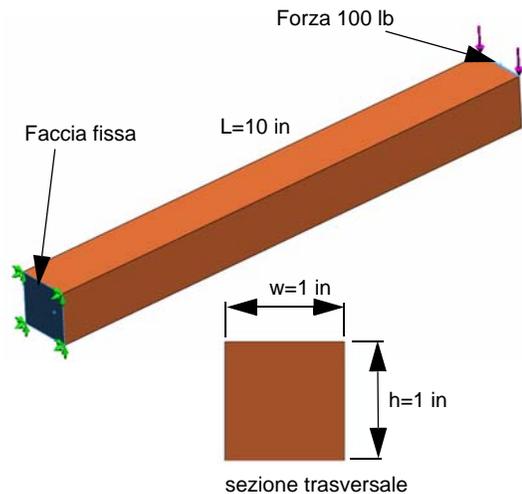
**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Front\_Cantilever e selezionare **Applica/modifica materiale**. Si visualizza la finestra di dialogo **Materiale**.
- Espandere la libreria Materiali SolidWorks.
- Espandere la categoria Acciaio e selezionare **Acciaio in lega**.
- Nel menu **Unità**, selezionare **Inglese (IPS)**. Notare il valore di **Modulo elastico in X** pari a **30.457.919 psi**.
- Fare clic su **Applica**, quindi su **Chiudi**.

6 Fissare una delle facce finali dello sbalzo.

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

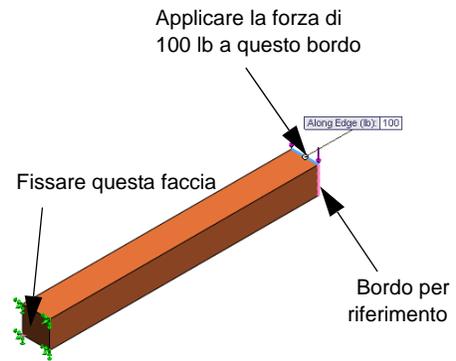
- Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Fixtures e selezionare **Geometria fissa**. Si visualizza il PropertyManager di **Vincolo**.
- Impostare il **Tipo** su **Geometria fissa**.
- Fare clic sulla faccia finale della barra illustrata nella figura.
- Fare clic su .



- 7 Applicare una forza verso il basso al bordo superiore della faccia opposta, per 100 lb.

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **External Loads** e selezionare **Forza**. Si visualizza il PropertyManager di **Forza/Torsione**.
- In **Tipo**, fare clic su **Forza**.
- Fare clic sul bordo illustrato nella figura.
- Verificare che **Edge<1>** appaia nella casella **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione**.
- Fare clic su **Direzione selezionata** e scegliere il bordo laterale della trave come **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione**.
- Selezionare **Inglese (IPS)** nel menu **Unità**.
- Per **Forza**, immettere **100**. Attivare la casella **Direzione contraria**. La forza risultante è una forza verticale verso il basso.
- Fare clic su .



- 8 Creare la mesh della parte ed eseguire l'analisi.

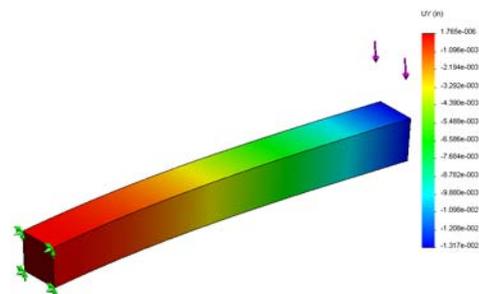
**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona **Mesh**.
- Utilizzare la **Dimensione globale**  e la **Tolleranza**  di default.
- Selezionare **Esegui (risolvi) analisi**.
- Fare clic su .

- 9 Al termine dell'analisi, visualizzare graficamente lo spostamento nella direzione Y. La direzione Y è uguale alla dir 2 di Plane1. Qual è lo spostamento Y massimo all'estremità libera dello sbalzo?

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Results** e selezionare **Definisci grafico di spostamento**. Si visualizza il PropertyManager di **Grafico di spostamento**.
- Selezionare **in** come **Unità** .
- Selezionare **UY: spostamento Y** in **Componente** .
- Fare clic su .
- Lo spostamento verticale all'estremità libera è **- 0,01317 in**.



- 10 Calcolare lo spostamento verticale teorico dell'estremità libera mediante la seguente equazione:

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

**Risposta:** Il problema dice:

$F$  = carico finale = -100 lb,

$L$  = lunghezza della trave = 10 in,

$E$  = modulo elastico = 30.457.919 psi,

$w$  = larghezza della barra = 1 in,

$h$  = altezza della barra = 1 in

Dopo aver sostituito i valori numerici nell'equazione, si ottiene:

$UY_{teorico} = -0,01313$  pollici

- 11 Calcolare l'errore di spostamento verticale utilizzando la seguente formula:

$$ErrorPercentage = \left( \frac{UY_{Theory} - UY_{COSMOS}}{UY_{Theory}} \right) 100$$

**Risposta:** La percentuale di errore nel massimo spostamento verticale è 0,3%.

Per la maggior parte delle analisi, l'errore accettabile si aggira attorno al 5%.

## Lezione 1 - Scheda terminologica – Chiave di risposta

---

Nome: \_\_\_\_\_ Classe: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*completare gli spazi bianchi con le parole mancanti.*

- 1 Sequenza di creazione di un modello in SolidWorks, produzione di un prototipo e collaudo: **ciclo di progettazione tradizionale**
- 2 Scenario *condizionale* con tipo di analisi, materiali, carichi e vincoli: **studio**
- 3 Metodo utilizzato da SolidWorks Simulation per eseguire l'analisi: **metodo agli elementi finiti**
- 4 Tipo di studio che calcola spostamenti, deformazione e sollecitazioni: **studio statico**
- 5 Processo di suddivisione del modello in elementi più piccoli: **mesh**
- 6 Piccoli pezzi di forma semplice creati durante la mesh: **elementi**
- 7 Gli elementi condividono punti in comune detti: **nodi**
- 8 Forza che agisce su un'area, diviso l'area: **sollecitazione media**
- 9 Collasso improvviso di un modello a causa di carichi di compressione assiale: **carico di punta**
- 10 Studio che calcola il calore di un modello: **studio termico**
- 11 Parametro che descrive in modo generale lo stato della sollecitazione: **sollecitazione von Mises**
- 12 Sollecitazioni normali sui piani ove svaniscono le sollecitazioni di taglio: **sollecitazioni principali**
- 13 Frequenze che provocano la vibrazione di un corpo: **frequenze proprie**
- 14 Tipo di analisi utile per evitare la risonanza: **analisi della frequenza**

## Lezione 1 - Quiz – Chiave di risposta

---

Nome: \_\_\_\_\_ Classe: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*Istruzioni: rispondere a tutte le domande per iscritto, utilizzando lo spazio fornito per la risposta.*

- 1 Per verificare un progetto si crea uno studio. Che cos'è uno studio?  
Risposta: Uno studio è uno scenario *condizionale* che definisce il tipo di analisi, i materiali, i carichi e i vincoli.
- 2 Quali tipi di analisi può eseguire SolidWorks Simulation?  
Risposta: Analisi statica, frequenza, termica, carico di punta, test di caduta, fatica, ottimizzazione, recipienti a pressione, statica non lineare, dinamica lineare e non lineare.
- 3 Dopo aver ottenuto i risultati di uno studio, si cambia materiale, carichi e/o vincoli. È necessario ricreare la mesh?  
Risposta: No. È sufficiente ripetere lo studio.
- 4 Dopo la mesh, si cambia la geometria. È necessario ricreare la mesh?  
Risposta: Sì. È necessario ricreare la mesh del modello dopo una modifica alla geometria.
- 5 Come si crea uno studio statico?  
Risposta: Per creare uno studio statico:
  - Fare clic su **Simulation, Studio**. Si visualizza la finestra di dialogo **Studio**.
  - In **Nome studio**, immettere il nome dello studio. Utilizzare un nome intuitivo.
  - Per **Tipo di studio**, selezionare **Statico**.
  - Fare clic su .
- 6 Cos'è la mesh?  
Risposta: La mesh è una raccolta di elementi e nodi generati sul modello.
- 7 Per un assieme, quante icone si prevede di vedere nella cartella **Parts**?  
Risposta: Un'icona per ogni corpo. Un componente può avere più corpi.

## Riepilogo della lezione

---

- ❑ SolidWorks Simulation è un'applicazione di analisi progettuale interamente integrata in SolidWorks.
- ❑ L'analisi progettuale può aiutare a creare prodotti migliori, più sicuri e in modo più economico.
- ❑ L'analisi statica calcola gli spostamenti, le deformazioni, le sollecitazioni e le forze di reazione del modello.
- ❑ L'analisi della frequenza calcola le frequenze proprie e le forme modali associate.
- ❑ L'analisi del carico di punta calcola i carichi di punta per le parti compresse.
- ❑ L'analisi del test di caduta calcola i carichi d'impatto sugli oggetti lasciati cadere da una superficie rigida o flessibile.
- ❑ L'analisi termica calcola la distribuzione della temperatura sotto carichi termici e le condizioni termiche al contorno.
- ❑ L'analisi di ottimizzazione affina il modello in base a determinati obiettivi (es. minimizzare il volume o la massa).
- ❑ Un materiale inizia a cedere quando la sollecitazione raggiunge un certo livello.
- ❑ La sollecitazione von Mises è un valore che dà un'idea generale sullo stato delle sollecitazioni in un punto.
- ❑ La procedura guidata Fattore di sicurezza controlla la sicurezza di un modello.
- ❑ Per simulare il modello, SolidWorks Simulation lo suddivide in una moltitudine di pezzi piccoli di forma più semplice, che prendono il nome di elementi. Questa tecnica è detta *mesh*.
- ❑ Le fasi per eseguire l'analisi in SolidWorks Simulation sono:
  - Creare uno studio.
  - Assegnare il materiale.
  - Applicare i vincoli adeguati per evitare il moto del corpo rigido.
  - Applicare i carichi.
  - Creare la mesh del modello.
  - Eseguire l'analisi.
  - Visualizzare i risultati.

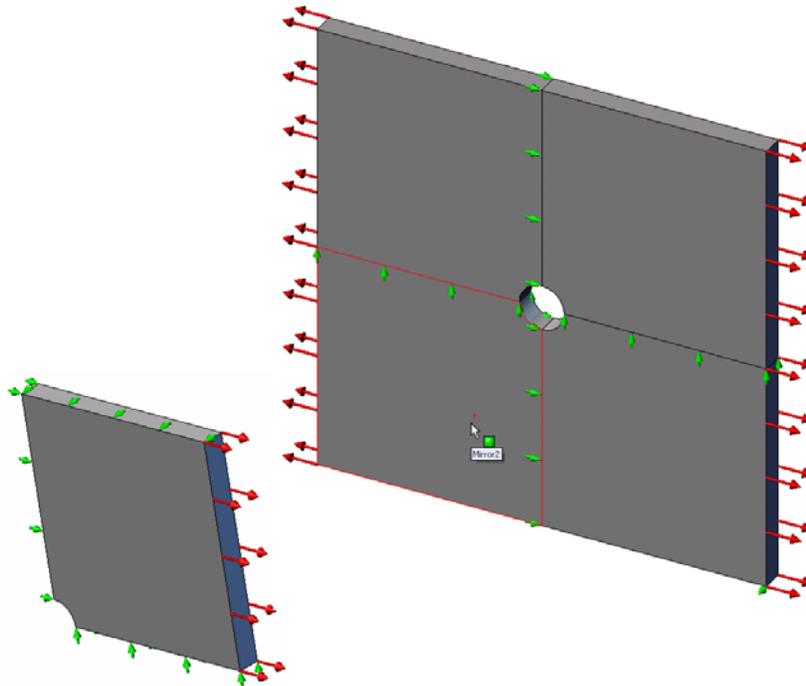
## Lezione 2 – Metodi adattivi in SolidWorks Simulation

---

### Obiettivi della lezione

---

- Introdurre il concetto di metodi adattivi per gli studi statici. Al termine di questa lezione, gli studenti avranno appreso i concetti fondamentali riguardanti i metodi adattivi e la loro implementazione in SolidWorks Simulation.
- Analizzare una porzione del modello anziché il modello intero. Nella seconda parte della lezione, gli studenti analizzeranno un quarto del modello originale avvalendosi dei vincoli di simmetria. A quel punto dovrebbero essere in grado di riconoscere le condizioni che consentono di applicare i vincoli di simmetria senza pregiudicare la precisione dei risultati.
- Introdurre il concetto di mesh shell. Le differenze tra una mesh shell e una solida sono illustrate nel corso della discussione sul progetto. Gli studenti dovrebbero essere in grado di riconoscere i modelli idonei per la mesh shell.
- Confrontare i risultati di SolidWorks Simulation con le note soluzioni teoriche. Esiste una soluzione teorica per il problema discusso in questa lezione. Per i tipi di problemi aventi soluzioni analitiche, gli studenti dovrebbero essere capaci di derivare le percentuali di errore e decidere se i risultati siano accettabili.



## Schema

---

- Esercizio pratico – Metodi adattivi in SolidWorks Simulation
  - **Parte 1**
    - Apertura della parte `Plate-with-hole.SLDPRT`
    - Controllo del menu di SolidWorks Simulation
    - Salvataggio del modello in una directory temporanea
    - Impostazione delle unità per l'analisi
    - Fase 1: Creazione di uno studio statico
    - Fase 2: Assegnazione dei materiali
    - Fase 3: Applicazione dei vincoli
    - Fase 4: Applicazione di un carico di pressione
    - Fase 5: Mesh del modello ed esecuzione dell'analisi
    - Fase 6: Visualizzazione dei risultati
    - Fase 7: Verifica dei risultati
  - **Parte 2**
    - Modellazione di un quarto della piastra applicando i vincoli di simmetria
  - **Parte 3**
    - Applicazione del metodo h-adattivo
- Verifica da 5 minuti
- Discussione in classe – Creazione di uno studio della frequenza
- Esercizi e progetti – Modellazione di un quarto della piastra con una mesh shell
- Riepilogo della lezione

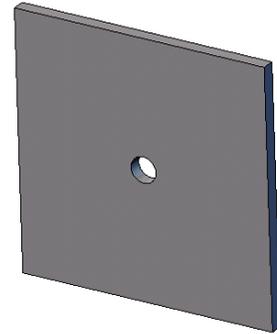
## Esercizio pratico — Parte 1

Utilizzare SolidWorks Simulation per eseguire l'analisi statica della parte `Plate-with-hole.SLDPRT` illustrata a destra.

Si dovrà calcolare la sollecitazione di una piastra quadrata di 20 x 20 x 1 pollici avente un foro con raggio 1" al centro. La piastra è soggetta a una pressione di trazione di 100 psi.

Si confronterà la concentrazione della sollecitazione sul foro con i risultati teorici noti.

Di seguito sono fornite le istruzioni dettagliate.



### Creazione della directory `SimulationTemp`

Si consiglia di salvare `SolidWorks Simulation Education Examples` in una directory temporanea, al fine di preservare intatta la copia originale per l'uso futuro.

- 1 Creare una directory temporanea di nome `SimulationTemp` nella cartella `Examples` della directory di installazione di `SolidWorks Simulation`.
- 2 Copiare la directory `SolidWorks Simulation Education Examples` nella cartella `SimulationTemp`.

### Apertura della parte `Plate-with-hole.SLDPRT`

- 1 Fare clic su **Apri**  nella barra degli strumenti Standard. Si visualizza la finestra di dialogo **Apri**.
- 2 Individuare la cartella `SimulationTemp` nella directory di installazione di `SolidWorks Simulation`.
- 3 Selezionare la parte `Plate-with-hole.SLDPRT`.
- 4 Fare clic su **Apri**.

La parte `Plate-with-hole.SLDPRT` si visualizza sullo schermo.

Si noti che la parte ha due configurazioni: (a) `Quarter plate` e (b) `Whole plate`. Verificare di aver attivato la configurazione `Whole plate`.

---

**Nota:** Le configurazioni della parte sono elencate nella scheda `ConfigurationManager`  nella parte superiore del riquadro di sinistra.

---

## Controllo del menu di SolidWorks Simulation

Se SolidWorks Simulation è stato installato correttamente, il menu SolidWorks Simulation appare nella barra dei menu di SolidWorks. Diversamente:



Menu di SolidWorks Simulation

- 1 Selezionare **Strumenti, Aggiunte**.  
Si visualizza la finestra di dialogo **Aggiunte**.
- 2 Spuntare le caselle di controllo accanto a SolidWorks Simulation.  
Se SolidWorks Simulation non appare in elenco, dovrà essere installato.
- 3 Fare clic su **OK**.  
Il menu di SolidWorks Simulation appare nella barra dei menu di SolidWorks.

## Impostazione delle unità per l'analisi

Prima di iniziare la lezione, è necessario impostare le unità per l'analisi.

- 1 Fare clic su **Simulation, Opzioni**.
- 2 Fare clic sulla scheda **Opzioni di default**.
- 3 Selezionare **Inglese (IPS)** come **Sistema di unità** e **in** e **psi** rispettivamente come unità per lunghezza e sollecitazione.
- 4 Fare clic su .

## Fase 1: Creazione di uno studio

Il primo passo per eseguire l'analisi consiste nel creare uno studio.

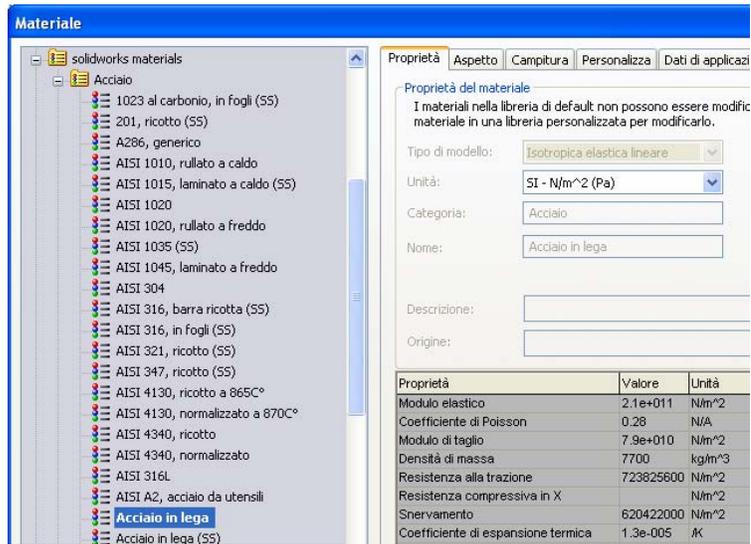
- 1 Fare clic su **Simulation, Studio** nel menu principale di SolidWorks in alto sullo schermo.  
Si visualizza il PropertyManager di **Studio**.
- 2 Per **Nome**, digitare *Whole plate*.
- 3 Per **Tipo**, selezionare **Statico**.
- 4 Fare clic su .

SolidWorks Simulation crea l'albero dello studio di simulazione sotto l'albero di disegno FeatureManager.

## Fase 2: Assegnazione del materiale

### Acciaio in lega

- 1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Plate-with-hole** e selezionare **Applica materiale a tutti i corpi**. Si visualizza la finestra di dialogo **Materiale**.
- 2 Procedere nel modo seguente:
  - a) Espandere **Materiali SolidWorks**.
  - b) Espandere la categoria **Acciaio**.
  - c) Selezionare **Acciaio in lega**.



**Nota:** Le proprietà meccaniche e fisiche dell'acciaio in lega appaiono nella tabella a destra.

- 3 Fare clic su **OK**.

## Fase 3: Applicazione dei vincoli

I vincoli si applicano per impedire rotazione fuori del piano e il moto libero dei corpi.

- 1 Premere la barra spaziatrice e selezionare **\*Trimetrico** nel menu **Orientamento**.

Il modello si porta nell'orientamento illustrato nella figura.

- 2 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Fixtures** e selezionare **Vincoli avanzati**.

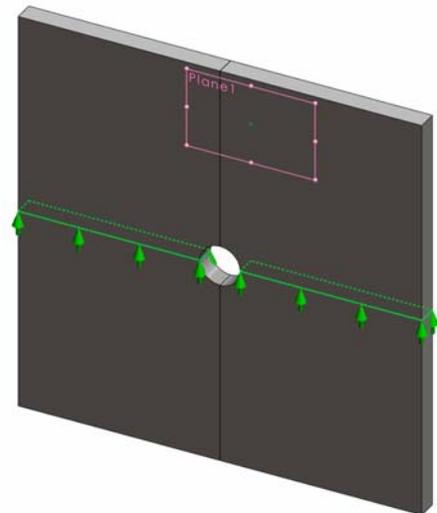
Si visualizza il PropertyManager di **Vincolo**.

- 3 Accertarsi che **Tipo** sia impostato su **Usa geometria di riferimento**.

- 4 Nell'area grafica, selezionare gli otto bordi illustrati nella figura.

Edge<1> ~ Edge<8> appaiono nella casella **Facce, Bordi, Vertici per il vincolo**.

- 5 Fare clic nella casella **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione**, quindi selezionare **Plane1** nell'albero di disegno **FeatureManager mobile**.



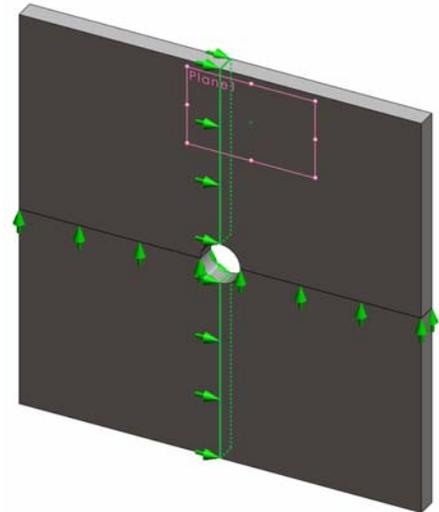
6 Sotto **Traslazioni**, selezionare **Lungo il piano dir 2** .

7 Fare clic su .

I vincoli vengono applicati e i rispettivi simboli appaiono sui bordi selezionati.

Inoltre, l'icona di vincolo  (Fixed-1) appare nella cartella **Fixtures**.

In modo analogo, ripetere i passaggi da 2 a 7 per applicare i vincoli al gruppo verticale di bordi illustrati per vincolare gli otto bordi **Lungo il piano dir 1**  di **Plane1**.



Per impedire lo spostamento del modello nella direzione Z globale, è necessario anzitutto definire un vincolo sul vertice illustrato nella figura.

1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Fixtures** e selezionare **Vincoli avanzati**.

Si visualizza il PropertyManager di **Vincolo**.

2 Accertarsi che **Tipo** sia impostato su **Usa geometria di riferimento**.

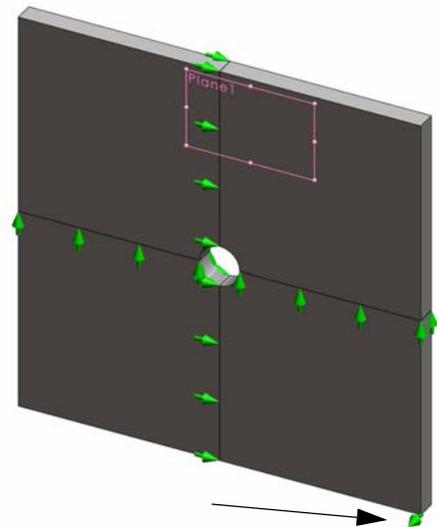
3 Nell'area grafica, fare clic sul vertice illustrato nella figura.

Vertex<1> appare nella casella **Facce, Bordi, Vertici per il vincolo**.

4 Fare clic nella casella **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione**, quindi selezionare **Plane1** nell'albero di disegno **FeatureManager** mobile.

5 Sotto **Traslazioni**, selezionare **Normale al piano** .

6 Fare clic su .



### Fase 4: Applicazione di un carico di pressione

Applicare una pressione di 100 psi in direzione normale alle facce mostrate nella figura.

- 1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **External Loads** e selezionare **Pressione**.

Si visualizza il PropertyManager di **Pressione**.

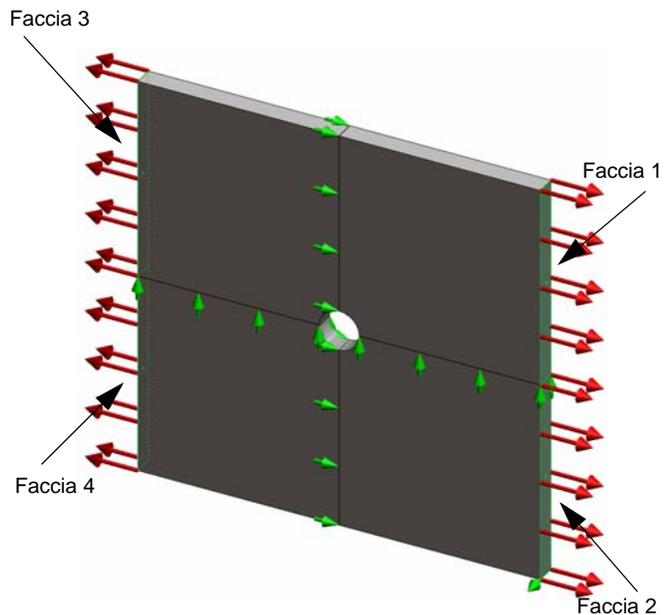
- 2 In **Tipo**, fare clic su **Normale alla faccia selezionata**.

- 3 Nell'area grafica, selezionare le quattro facce mostrate nella figura.

Face<1> ~ Face<4> appaiono nell'elenco **Facce di pressione**.

- 4 Accertarsi che le **Unità** siano impostate su **Inglese (psi)**.
- 5 Nella casella **Valore di pressione**  digitare **100**.
- 6 Attivare la casella **Direzione contraria**.
- 7 Fare clic su .

SolidWorks Simulation applica la pressione normale alle facce selezionate e visualizza l'icona **Pressure-1**  nella cartella **External Loads**.



#### Per nascondere i simboli di carico e vincolo

Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Fixtures** o **External Loads** e selezionare **Nascondi tutto**.

### Fase 5: Mesh del modello ed esecuzione dello studio

La mesh divide il modello in piccole parti dette elementi. SolidWorks Simulation suggerisce la dimensione di default degli elementi in base alle dimensioni geometriche del modello, anche se questa può essere modificata secondo necessità.

- 1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona **Mesh** e selezionare **Crea mesh**.

Si visualizza il PropertyManager di **Mesh**.

- 2 Espandere **Parametri mesh** selezionando la casella di controllo.

Accertarsi che sia selezionata l'opzione **Mesh standard** e che la casella **Transizione automatica** non sia selezionata.

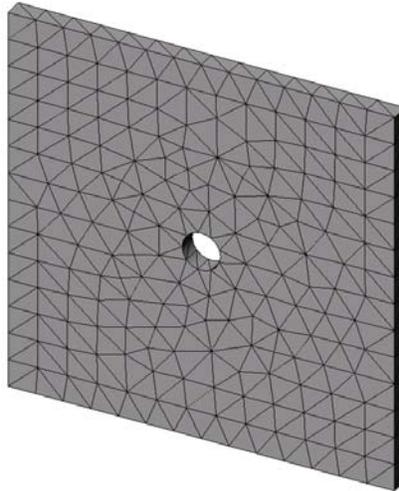
- 3 Digitare **1,5** (pollici) per **Dimensione globale**  e accettare la **Tolleranza**  suggerita.

- 4 Selezionare **Esegui (risolvi) analisi** in **Opzioni** e fare clic su .

---

**Nota:** Per visualizzare il grafico della mesh, fare clic con il pulsante destro del mouse su Mesh e selezionare **Mostra mesh**.

---

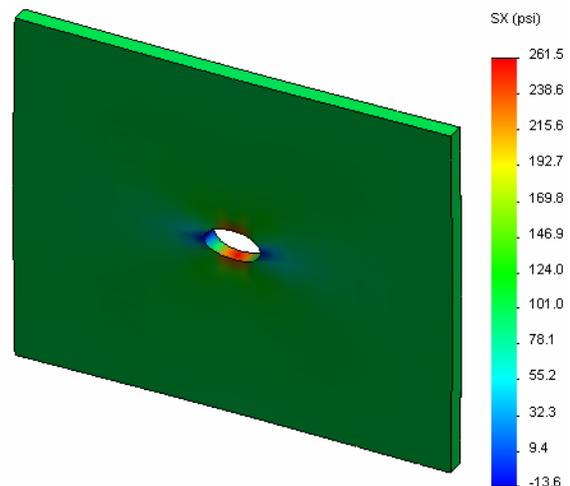


#### Fase 6: Visualizzazione dei risultati

##### Sollecitazione normale nella direzione X globale

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Results  e selezionare **Definisci grafico di sollecitazione**.  
Si visualizza il PropertyManager di **Grafico di sollecitazione**.
- 2 In **Visualizzazione**:
  - a) Selezionare **SX: sollecitazione normale X** per **Componente**.
  - b) Selezionare **psi** per **Unità**.
- 3 Fare clic su .

Si visualizza il grafico della sollecitazione normale nella direzione X.  
Osservare la concentrazione delle sollecitazioni nell'area circostante il foro.



**Fase 7: Verifica dei risultati**

La massima sollecitazione normale  $\sigma_{\max}$  di una piastra con sezione trasversale rettangolare e un foro circolare al centro è data da:

$$\sigma_{\max} = k \cdot \left( \frac{P}{t(D-2r)} \right) \qquad k = 3.0 - 3.13 \left( \frac{2r}{D} \right) + 3.66 \left( \frac{2r}{D} \right)^2 - 1.53 \left( \frac{2r}{D} \right)^3$$

dove:

D = larghezza della piastra = 20 in

r = raggio del foro = 1 in

t = spessore della piastra = 1 in

P = forza assiale di trazione = pressione \* (D \* t)

Il valore analitico per la massima sollecitazione normale è  $\sigma_{\max} = 302,452$  psi

Il risultato offerto da SolidWorks Simulation, senza l'uso di alcun metodo adattivo, è SX = 253,6 psi.

Questo risultato devia dalla soluzione teorica del 16,1% circa. Vedremo in seguito che questa deviazione significativa può essere attribuita alla grossezza di trama della mesh.

## Esercizio pratico – Parte 2

Nella seconda parte dell'esercizio, verrà modellato un quarto della piastra con l'aiuto dei vincoli di simmetria.

**Nota:** I vincoli di simmetria possono essere utilizzati per analizzare una porzione limitata dell'intero modello ed è un approccio molto economico soprattutto se il modello ha grandi dimensioni.

Le condizioni di simmetria richiedono che la geometria, i carichi, le proprietà del materiale e i vincoli siano uguali attraverso il piano di simmetria.

### Fase 1: Attivazione di una nuova configurazione

1 Fare clic sulla scheda ConfigurationManager .

2 Nell'albero **ConfigurationManager** fare doppio clic sull'icona Quarter plate.

Si attiva la configurazione Quarter plate.

Nell'area grafica si visualizza il modello del quarto di piastra.



**Nota:** Per accedere a uno studio associato a una configurazione non attiva, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla sua icona e selezionare **Attivare configurazione SW**.



### Fase 2: Creazione di uno studio

Il nuovo studio creato si basa sulla configurazione attiva Quarter plate.

1 Fare clic su **Simulation, Studio** nel menu principale di SolidWorks in alto sullo schermo.

Si visualizza il PropertyManager di **Studio**.

2 Per **Nome**, digitare Quarter plate.

3 Per **Tipo**, selezionare **Statico**.

4 Fare clic su .

SolidWorks Simulation crea un albero rappresentativo dello studio in una cartella in fondo allo schermo.



### Fase 3: Assegnazione del materiale

Attenersi alla procedura descritta alla fase 2 della Parte 1 per assegnare il materiale **Acciaio in lega**.

#### Fase 4: Applicazione dei vincoli

Applicare i vincoli alle facce di simmetria.

- 1 Ruotare il modello come illustrato nella figura avvalendosi delle **freccette direzionali**.
- 2 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Fixtures** e selezionare **Vincoli avanzati**.

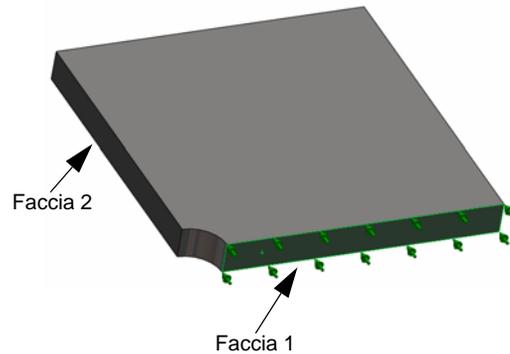
Si visualizza il PropertyManager di **Vincoli**.

- 3 Impostare **Tipo** su **Simmetria**.
- 4 Nell'area grafica, fare clic su Face 1 e Face 2 visualizzate nella figura.

Face<1> e Face<2> appaiono nella casella **Facce, Bordi, Vertici per il vincolo**.

- 5 Fare clic su .

Quindi, vincolare il bordo superiore della piastra per impedirne lo spostamento nella direzione Z globale.



#### Per vincolare il bordo superiore:

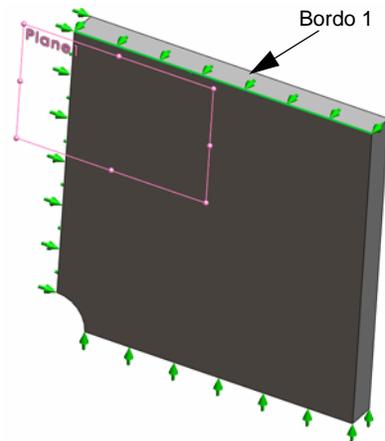
- 1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Fixtures** e selezionare **Vincoli avanzati**.

Impostare **Tipo** su **Usa geometria di riferimento**.

- 2 Nell'area grafica, fare clic sul bordo superiore della piastra, come illustrato nella figura.

Edge<1> appare nella casella **Facce, Bordi, Vertici per il vincolo**.

- 3 Fare clic nella casella **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione**, quindi selezionare Plane1 nell'albero di disegno FeatureManager mobile.
- 4 Sotto **Traslazioni**, selezionare **Normale al piano** .
- 5 Fare clic su .



Dopo aver applicato tutti i vincoli appaiono i nuovi elementi (Symmetry-1) e (Reference Geometry-1) nella cartella **Fixtures**.

### Fase 5: Applicazione del carico di pressione

Applicare una pressione di 100 psi come illustra la figura seguente:

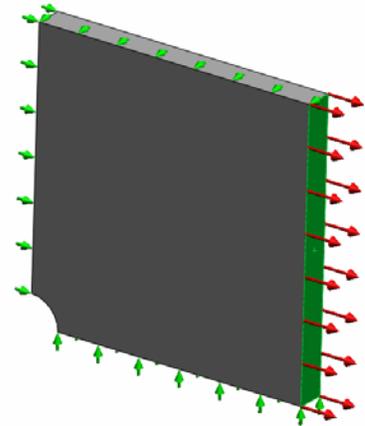
- 1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse su **External Loads** e selezionare **Pressione**.

Si visualizza il PropertyManager di **Pressione**.

- 2 In **Tipo**, fare clic su **Normale alla faccia selezionata**.
- 3 Nell'area grafica, selezionare la faccia illustrata nella figura.

- 1 Face<1> appare nell'elenco **Facce di pressione**.
- 2 Impostare **Unità**  su **psi**.
- 3 Nella casella **Valore di pressione**  digitare **100**.
- 4 Attivare la casella **Direzione contraria**.
- 5 Fare clic su .

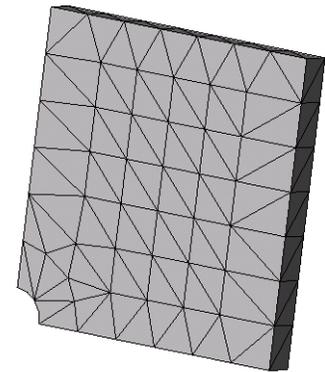
SolidWorks Simulation applica la pressione normale alla faccia selezionata e visualizza l'icona **Pressure-1**  nella cartella **External Loads**.



### Fase 6: Mesh del modello ed esecuzione dell'analisi

Applicare alla mesh le stesse impostazioni della procedura descritta alla fase 5 della Parte 1 di pagina 2-7. Quindi **eseguire** l'analisi.

Il grafico della mesh risultante ha l'aspetto illustrato nella figura.

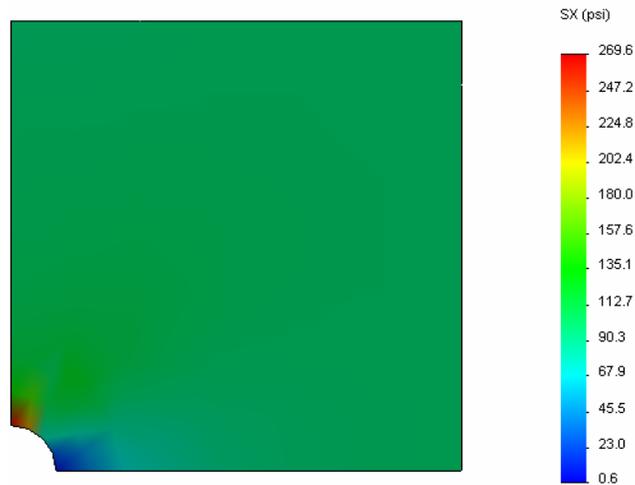


### Fase 7: Visualizzazione delle sollecitazioni normali nella direzione X globale

- 1 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Results**  e selezionare **Definisci grafico di sollecitazione**.
- 2 Nel PropertyManager di **Grafico di sollecitazione**, in **Visualizzazione**:
  - a) Selezionare **SX = Sollecitazione normale X**.
  - b) Selezionare **psi** per **Unità**.
- 3 In **Sagoma deformata**, fare clic su **Scala reale**.
- 4 In **Proprietà**:
  - a) Selezionare **Associa grafico con orientamento di vista con nome**.
  - b) Selezionare **\*Frontale** dal menu.

5 Fare clic su .

Si visualizza la sollecitazione normale nella direzione X, sulla forma deformata reale della piastra.



### Fase 8: Verifica dei risultati

Per il quarto del modello, la massima sollecitazione normale SX è 269,6 psi. Questo risultato è in linea con i risultati dell'intera piastra.

Questo risultato devia dalla soluzione teorica del 10,8% circa. Come già detto al termine della Parte 1 di questa lezione, si vedrà più avanti che la deviazione può essere attribuita alla grossezza di trama della mesh calcolata. È possibile aumentare la precisione specificando manualmente elementi più piccoli oppure utilizzando un metodo adattivo automatico.

Nella Parte 3 vedremo come migliorare la precisione con il metodo h-adattivo.

## Esercizio pratico — Parte 3

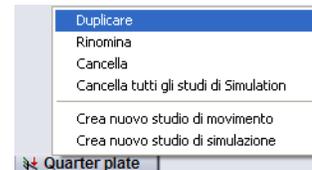
Nella terza parte dell'esercizio verrà applicato il metodo adattivo per risolvere lo stesso problema presentato dalla configurazione *Quarter plate*.

Per dimostrare la potenza del metodo h-adattivo, creare anzitutto la mesh del modello con elementi di grandi dimensioni, quindi osservare come il metodo h-adattivo cambia la dimensione della mesh per aumentare la precisione dei risultati.

### Fase 1: Definizione di un nuovo studio

Creare un nuovo studio duplicando uno degli studi precedenti.

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona *Quarter plate* in fondo allo schermo e selezionare **Duplica**.



Si visualizza la finestra di dialogo **Definisci nome studio**.

- 2 Nella casella **Nome dello studio**, immettere *H-adaptive*.
- 3 Per **Configurazione da usare** selezionare **Quarter plate**.
- 4 Fare clic su **OK**.



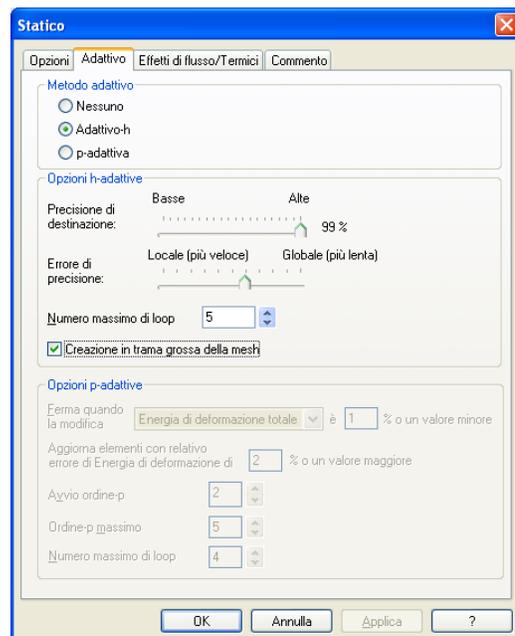
### Fase 2: Impostazione dei parametri h-adattivi

- 1 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse su *H-adaptive* e selezionare **Proprietà**.
- 2 Nella finestra di dialogo, nella scheda **Opzioni**, selezionare **FFEPlus** come **Solutore**.
- 3 Nella scheda **Adattivo**, per **Metodo adattivo**, selezionare **h-adattivo**.
- 4 In **Opzioni h-adattive**:
  - a) Spostare il dispositivo di scorrimento **Precisione di destinazione** a **99%**.
  - b) Impostare **Num massimo di loop** su **5**.
  - c) Selezionare **Creazione in trama grossa della mesh**.
- 5 Fare clic su **OK**.

---

**Nota:** La duplicazione di uno studio copia tutte le cartelle dello studio originale nel nuovo studio. Fintantoché le proprietà del nuovo studio non cambiano, non è necessario ridefinire le proprietà del materiale, i carichi, i vincoli, ecc.

---



**Fase 3: Ricreazione della mesh del modello ed esecuzione dello studio**

- 1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Mesh e selezionare **Crea mesh**.

Un messaggio avvisa che la ricreazione della mesh eliminerà i risultati esistenti dello studio.

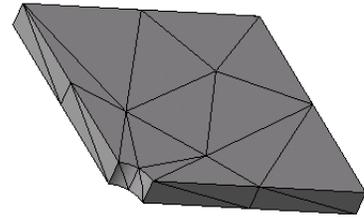
- 2 Fare clic su **OK**.

Si visualizza il PropertyManager di **Mesh**.

- 3 Digitare **5,0** (pollici) per **Dimensione globale**  e accettare la **Tolleranza**  suggerita.

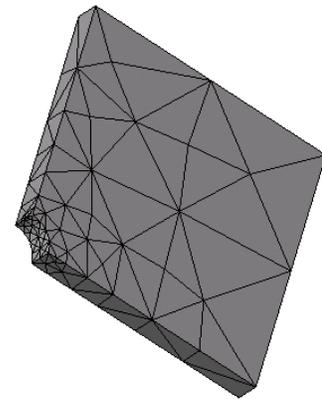
Questo valore per la dimensione globale degli elementi serve per dimostrare come viene affinata la mesh dal metodo h-adattivo per migliorare la precisione dei risultati.

- 4 Fare clic su . L'immagine precedente mostra la mesh iniziale (grossolana).
- 5 Fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona **H-adaptive** e selezionare **Esegui**.

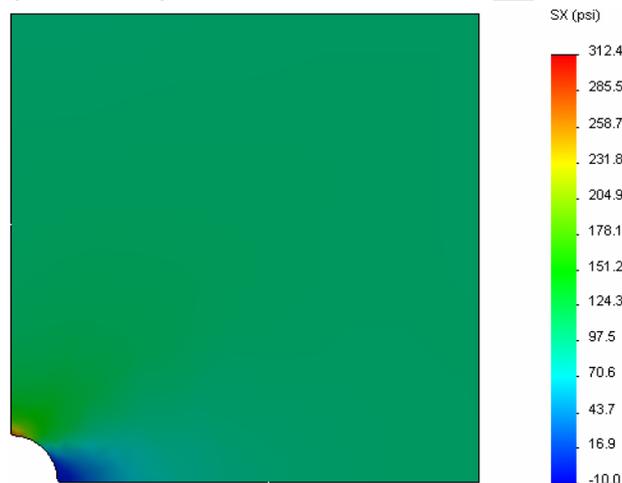
**Fase 4: Visualizzazione dei risultati**

Con l'applicazione del metodo h-adattivo, la dimensione originale della mesh si è ridotta. Osservare la transizione della mesh da grossolana (limiti della piastra) a fine nel punto del foro centrale.

Per visualizzare la mesh convertita, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Mesh e selezionare **Mostra mesh**.

**Sollecitazione normale nella direzione X globale**

Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare doppio clic sul grafico **Sollecitazione2 (normale X)** della cartella Results .



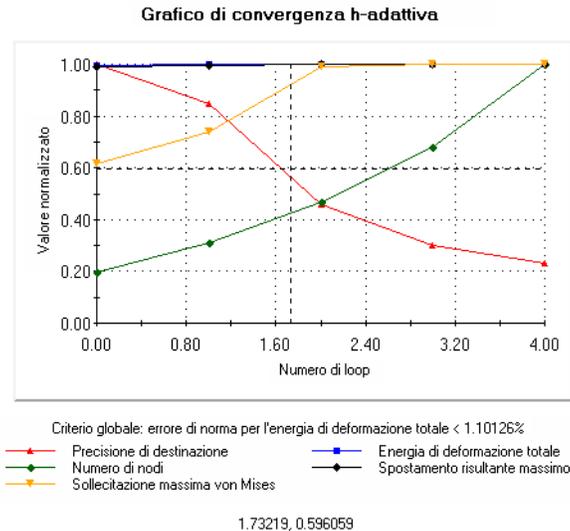
Il valore analitico per la massima sollecitazione normale è  $\sigma_{\max} = 302,452$  psi.

Il risultato di SolidWorks Simulation con l'applicazione del metodo adattivo è  $SX = 312,4$  psi, più vicino alla soluzione analitica (errore approssimativo: 3,2%).

**Nota:** La precisione desiderata, impostata nelle proprietà dello studio (99% in questo caso) non significa che le sollecitazioni risultanti devono rientrare in un errore massimo dell'1%. Nell'analisi agli elementi finiti sono utilizzate altre misure oltre alle sollecitazioni per valutare la precisione di una soluzione. Si può tuttavia concludere che quanto più l'algoritmo adattivo affina la mesh, più la soluzione di sollecitazione si fa precisa.

### Fase 9: Visualizzazione dei grafici di convergenza

- 1 Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Results  e selezionare **Definisci grafico convergenza adattiva**.
- 2 Nel PropertyManager, selezionare tutte le caselle di controllo e quindi fare clic su . Si visualizza il grafico di convergenza di tutte le quantità selezionate.



**Nota:** Per aumentare ulteriormente la precisione della soluzione, è possibile continuare a rieseguire lo studio con iterazioni successive del metodo h-adattivo. Ogni nuova iterazione dello studio utilizza la mesh finale dell'iterazione precedente come mesh iniziale. Per provare, **eseguire** nuovamente lo studio H-adaptive.

## Verifica da 5 minuti – Chiave di risposta

---

- 1 Se si modificano materiale, carichi o vincoli, i risultati diventano nulli mentre la mesh rimane valida. Perché?

**Risposta:** I materiali, i carichi e i vincoli vengono applicati alla geometria. La mesh resta valida fintantoché la geometria e i parametri di mesh non cambiano. I risultati diventano nulli a qualsiasi modifica di materiale, carichi o vincoli.

- 2 Modificando la dimensione degli elementi si rende nulla la mesh corrente?

**Risposta:** Sì. La mesh approssima la geometria, pertanto qualsiasi modifica alla geometria richiede la rigenerazione della mesh.

- 3 Come si attiva una configurazione?

**Risposta:** Fare clic sulla scheda ConfigurationManager  e fare doppio clic sulla configurazione desiderata dall'elenco. È anche possibile attivare la configurazione associata a uno studio facendo clic con il pulsante destro del mouse sulla sua icona e selezionando **Attivare configurazione SW**.

- 4 Cos'è il moto del corpo rigido?

**Risposta:** Il moto del corpo rigido si riferisce al corpo nella sua totalità senza deformazioni. La distanza tra due punti dal corpo rimane sempre costante. Il movimento non induce sollecitazioni o deformazioni.

- 5 Cos'è il metodo h-adattivo e quando viene usato?

**Risposta:** Il metodo h-adattivo tenta di migliorare automaticamente i risultati degli studi statici stimando gli errori di sollecitazione e affinando progressivamente la mesh nelle regioni di errore elevato fino a ottenere il livello di precisione desiderato.

- 6 Qual è il vantaggio offerto dal metodo h-adattivo per migliorare la precisione rispetto all'uso dei controlli di mesh?

**Risposta:** Con i controlli di mesh, l'utente deve specificare la dimensione della mesh e le regioni in cui è necessario migliorare manualmente i risultati. Il metodo h-adattivo identifica automaticamente le regioni a errore elevato e continua ad affinare la mesh fino al livello di precisione desiderato o fino al numero massimo consentito di iterazioni.

- 7 Il numero degli elementi cambia nelle iterazioni con il metodo p-adattivo?

**Risposta:** No. Il metodo p-adattivo aumenta l'ordine polinomiale per migliorare i risultati nelle aree con errori elevati di sollecitazione.

## Discussione in classe – Creazione di uno studio della frequenza

---

Chiedere agli studenti di creare studi della frequenza per il modello Plate-with-hole nelle configurazioni Whole plate e Quarter plate. Per estrarre le frequenze proprie della piastra, non saranno applicati vincoli di alcun tipo (tranne quelli per il controllo di simmetria del modello del quarto di piastra).

Spiegare che i vincoli di simmetria dovrebbero essere evitati negli studi della frequenza e del carico di punta, perché vengono estratti solo i modi simmetrici. Tutti i modi anti-simmetria sono trascurati. Spiegare inoltre la presenza di modi del corpo rigido a causa della mancanza di vincoli.

### Creazione di uno studio della frequenza in base alla configurazione Whole plate

- 1 Attivare la configurazione Whole plate.
- 2 Fare clic su **Simulation, Studio** nel menu principale di SolidWorks in alto sullo schermo.  
Si visualizza il PropertyManager di **Studio**.
- 3 Per **Nome**, digitare Freq-Whole.
- 4 Per **Tipo**, selezionare **Frequenza**.
- 5 Fare clic su .

### Impostare le proprietà dello studio della frequenza.

- 1 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Freq-Whole e selezionare **Proprietà**.  
Si visualizza la finestra di dialogo **Frequenza**.
- 2 Impostare il **Numero di frequenze** su **15**.
- 3 Per **Solutore**, selezionare **FFEPlus**.
- 4 Fare clic su **OK**.

### Applicazione del materiale

Trascinare la cartella Plate-with-hole dello studio Whole plate nello studio Freq-Whole.

Le proprietà del materiale dello studio Whole plate vengono copiate nel nuovo studio.

## Applicazione di carichi e vincoli

**Nota:** Sia i vincoli che la pressione verranno ignorati nello studio della frequenza. A noi interessano le frequenze proprie della piastra totalmente senza vincoli e carichi.

I modelli senza vincoli applicati sono permessi solo negli studi della frequenza e del carico di punta. In tutti gli altri tipi di studio devono essere applicati vincoli appropriati.

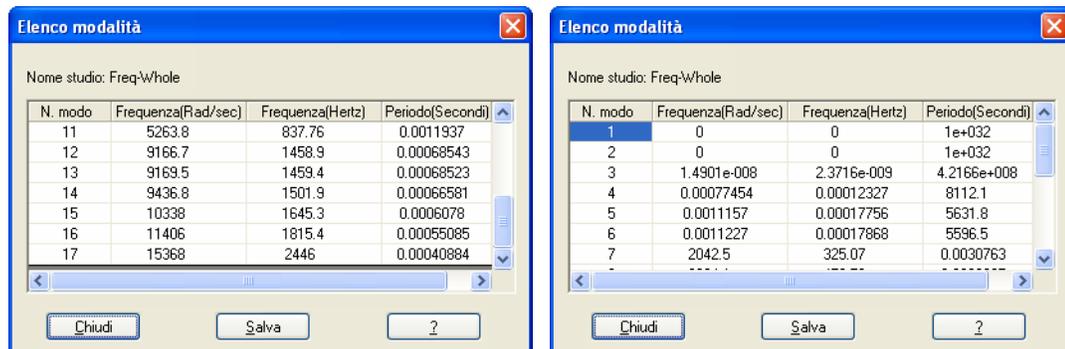
### Creazione della mesh del modello ed esecuzione dello studio

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Mesh e selezionare **Crea mesh**.
- 2 Espandere **Opzioni**.
- 3 Selezionare **Esegui (risolvi) analisi**.
- 4 Espandere **Parametri di mesh**.
- 5 Accertarsi che l'opzione **Transizione automatica** non sia selezionata.
- 6 Fare clic su  per accettare la **Dimensione globale**  e la **Tolleranza**  di default.

### Elenco delle frequenze di risonanza e visualizzazione delle forme modali

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Results e selezionare **Elenca frequenze di risonanza**.

La tabella **Modalità elenco** elenca le prime quindici frequenze diverse da zero.



N. modo	Frequenza(Rad/sec)	Frequenza(Hertz)	Periodo(Secondi)
11	5263.8	837.76	0.0011937
12	9166.7	1458.9	0.00068543
13	9169.5	1459.4	0.00068523
14	9436.8	1501.9	0.00066581
15	10338	1645.3	0.0006078
16	11406	1815.4	0.00055085
17	15368	2446	0.00040884

N. modo	Frequenza(Rad/sec)	Frequenza(Hertz)	Periodo(Secondi)
1	0	0	1e+032
2	0	0	1e+032
3	1.4901e-008	2.3716e-009	4.2166e+008
4	0.00077454	0.00012327	8112.1
5	0.0011157	0.00017756	5631.8
6	0.0011227	0.00017868	5596.5
7	2042.5	325.07	0.0030763

**Nota:** Le prime frequenze hanno valori zero o quasi zero. Questo risultato indica che i modi del corpo rigido erano stati rilevati e avevano assunto valori molto piccoli (o zero). Dato che il modello è totalmente svincolato, sono stati trovati sei modi del corpo rigido.

Il primo valore diverso da zero corrisponde alla frequenza n.7 e ha un modulo di 2042,5 Hz. Questa è la prima frequenza propria della piastra svincolata.

**Chiudere** la finestra **Modalità elenco**.

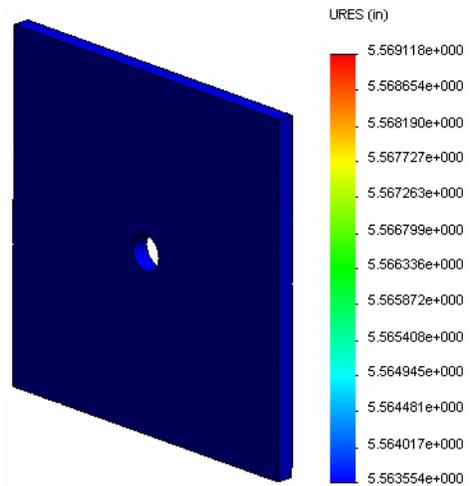
- 2 Espandere Results e fare doppio clic sul grafico Displacement1.

La prima forma modale del corpo rigido viene visualizzata nell'area grafica.

---

**Nota:** La frequenza n.1 corrisponde al modo del corpo rigido nel punto in cui la piastra trasla lungo la direzione X globale come corpo rigido. Non viene visualizzata alcuna deformazione.

---



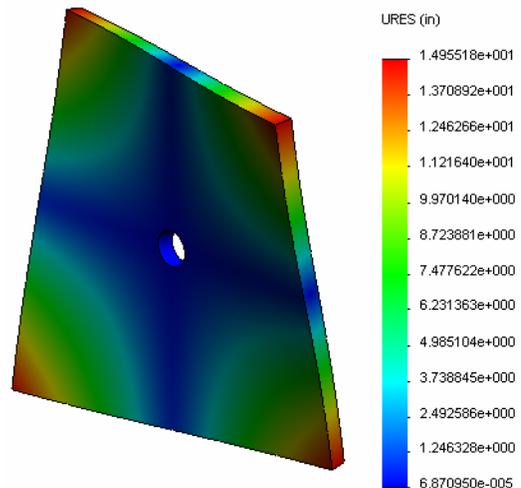
### Visualizzazione della prima vera frequenza propria della piastra

- 1 Fare clic con il pulsante destro del mouse su **Results** e selezionare **Crea grafico di spostamento/forma**.
- 2 Sotto **Passi grafico**, inserire **7** per **Forma modale**.
- 3 Fare clic su **OK**.

---

**Nota:** La frequenza n.7 corrisponde alla prima vera frequenza propria della piastra.

---



### Animazione dei grafici delle forme modali

- 1 Fare doppio clic sull'icona della forma modale (es., **Displacement6**) per attivarla, quindi fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona e selezionare **Animare**.  
Si visualizza il PropertyManager di **Animazione**.
- 2 Fare clic su .  
L'animazione si attiva nell'area grafica.
- 3 Fare clic su  per interrompere l'animazione.
- 4 Fare clic su  per uscire dalla modalità di animazione.

**Animazione di altri grafici delle forme modali**

- 1 Fare doppio clic sull'icona della forma modale di altre frequenze (o definire i grafici della nuova forma modale per i modi superiori), quindi fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona e selezionare **Animare**.
- 2 Analizzare anche le animazioni del modo di corpo rigido delle frequenze dalla n.1 alla n.6.

**Creazione di uno studio della frequenza in base alla configurazione Quarter plate**

- 1 Attivare la configurazione Quarter plate.
- 2 Attenersi ai passaggi descritti in precedenza per creare uno studio della frequenza di nome Freq-quarter.

---

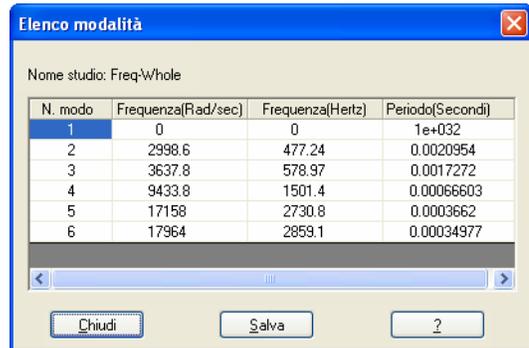
**Nota:** Trascinare la cartella *Fixtures* dello studio Quarter plate nello studio Freq-quarter e sospendere il vincolo Reference Geometry-1.

---

**Elenco frequenze di risonanza**

L'elenco visualizza le prime cinque frequenze di risonanza.

Animare i grafici della forma modale dello studio Freq-quarter e confrontarli a quelli dello studio Freq-Whole.



N. modo	Frequenza(Rad/sec)	Frequenza(Hertz)	Periodo(Secondi)
1	0	0	1e+032
2	2998.6	477.24	0.0020954
3	3637.8	578.97	0.0017272
4	9433.8	1501.4	0.00066603
5	17158	2730.8	0.0003662
6	17964	2859.1	0.00034977

---

**Nota:** Dato che è stato analizzato solo un quarto del modello, non tutti i modi anti-simmetria sono stati documentati nello studio Freq-quarter. Per questo motivo si consiglia vivamente di eseguire l'analisi della frequenza dell'intero modello.

Poiché il vincolo *Symmetry-1* fissa il modello in determinate direzioni, è stato rilevato un solo modo del corpo rigido (modo di frequenza zero).

---

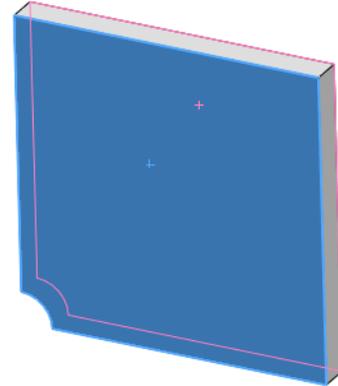
## Progetti – Modellazione di un quarto della piastra con una mesh shell

---

Utilizzare la mesh shell per risolvere il modello del quarto di piastra. Verranno applicati i controlli mesh per migliorare la precisione dei risultati.

### Operazioni

- 1 Fare clic su **Inserisci, Superficie, Superficie intermedia** nel menu principale di SolidWorks in alto sullo schermo.
- 2 Selezionare le superfici anteriore e posteriore della piastra, come indicato.
- 3 Fare clic su **OK**.
- 4 Creare uno studio **statico** di nome Shells-quarter.
- 5 Espandere la cartella Plate-with-hole, fare clic con il pulsante destro del mouse su SolidBody e selezionare **Escludi dall'analisi**.
- 6 Nell'albero di disegno FeatureManager, espandere la cartella Solid Bodies e **nascondere** il corpo solido esistente.
- 7 Impostare **1 in** (formulazione **Sottile**) per la shell. A tale fine:
  - a) Fare clic con il pulsante destro del mouse su SurfaceBody nella cartella Plate-with-hole dell'albero dello studio di simulazione e selezionare **Modifica definizione**.
  - b) Nel PropertyManager di **Definizione shell**, selezionare **in** e immettere **1 in** come **Spessore di shell**.
  - c) Fare clic su .
- 8 Assegnare **Acciaio in lega** alla shell. A tale fine:
  - a) Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Plate-with-hole e selezionare **Applica materiale a tutti i corpi**.
  - b) Espandere la libreria Materiali SolidWorks e selezionare **Acciaio in lega** nella categoria Acciaio.
  - c) Fare clic su **Applica**, quindi su **Chiudi**.

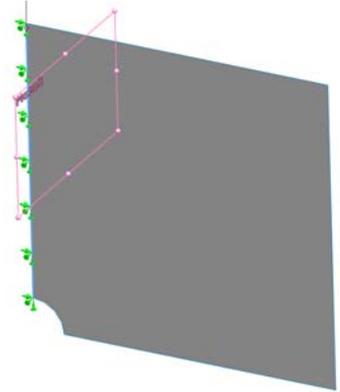


- 9 Applicare i vincoli di simmetria ai due bordi mostrati nella figura.

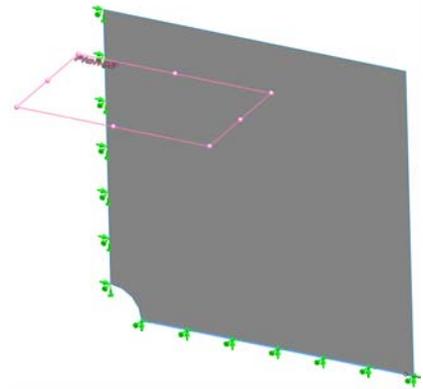
**Nota:** Per una mesh shell, è sufficiente vincolare un bordo anziché la faccia.

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **Fixtures** e selezionare **Vincoli avanzati**.
- Nella casella **Facce, Bordi, Vertici per il vincolo** selezionare il bordo indicato nella figura.
- Nella casella **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione**, selezionare **Plane3**.
- Vincolare la traslazione **Normale al piano** e le rotazioni **Lungo il piano dir 1** e **Lungo il piano dir 2**.
- Fare clic su .



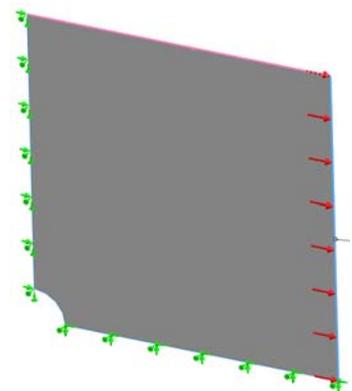
- 10 Con la stessa procedura, applicare un vincolo di simmetria al bordo esterno mostrato nella figura. Questa volta, utilizzare la funzione **Plane2** nella casella **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione**.



- 11 Applicare una **Pressione** di **100 psi** al bordo mostrato nella figura.

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

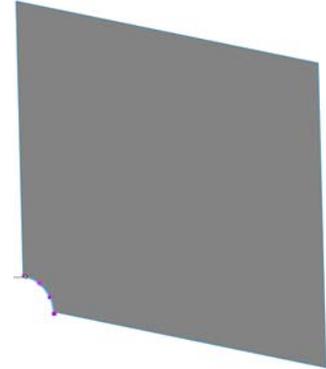
- Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella **External Loads** e selezionare **Pressione**.
- Impostare **Tipo** su **Usa geometria di riferimento**.
- Nella casella **Facce, Bordi per pressione** selezionare il bordo verticale indicato nella figura.
- Nella casella **Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione** selezionare il bordo mostrato nella figura.
- Immettere **100 psi** nel campo **Valore di pressione** e selezionare la casella di controllo **Direzione contraria**.
- Fare clic su .



12 Applicare i controlli mesh al bordo illustrato nella figura.

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Nell'albero dello studio di simulazione, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Mesh e selezionare **Applica controllo mesh**. Si visualizza il PropertyManager di **Controllo mesh**.
- Selezionare il bordo del foro illustrato nella figura.
- Fare clic su .



13 Creare la mesh della parte ed eseguire l'analisi.

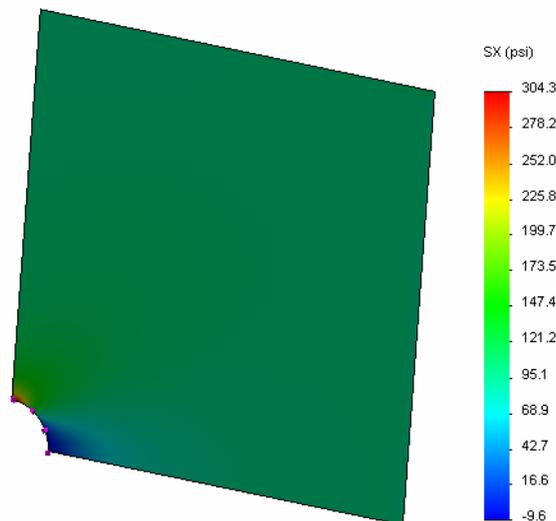
**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'icona Mesh e selezionare **Crea mesh**.
- Utilizzare la **Dimensione globale**  e la **Tolleranza**  di default.
- Selezionare **Esegui (risolvi) analisi**.
- Fare clic su .

14 Tracciare il grafico della sollecitazione nella direzione X. Qual è la sollecitazione SX massima?

**Risposta:** Effettuare le seguenti operazioni:

- Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Results e selezionare **Definisci grafico di sollecitazione**. Si visualizza la finestra di dialogo **Grafico di sollecitazione**.
- Selezionare **SX: sollecitazione normale X** per **Componente**.
- Selezionare **psi** per **Unità**.
- Fare clic su .
- La massima sollecitazione normale SX è **304,3 psi**.



15 Calcolare l'errore di sollecitazione normale SX utilizzando la formula seguente:

$$ErrorPercentage = \left( \frac{SX_{Theory} - SX_{COSMOS}}{SX_{Theory}} \right) 100$$

**Risposta:**

La soluzione teorica per la massima sollecitazione SX è:  $SX_{max} = 302,452$  psi.

La percentuale di errore nella massima sollecitazione SX normale è 0,6%.

Per la maggior parte delle analisi, l'errore accettabile si aggira attorno al 5%.

## Lezione 2 - Scheda terminologica – Chiave di risposta

---

Nome: \_\_\_\_\_ Classe: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*completare gli spazi bianchi con le parole mancanti.*

- 1 Metodo che migliora i risultati di sollecitazione affinando automaticamente la mesh nelle regioni con sollecitazioni concentrate: **adattivo-h**
- 2 Metodo che migliora i risultati di sollecitazione aumentando l'ordine polinomiale: **adattivo-p**
- 3 Tipo di grado di libertà di un nodo di elemento tetraedrico: **traslazionale**
- 4 Tipi di grado di libertà di un nodo di elemento shell: **traslazionale e rotazionale**
- 5 Materiale con proprietà elastiche equivalenti in tutte le direzioni: **isotropo**
- 6 Tipo di mesh appropriato per modelli voluminosi: **mesh di elementi solidi**
- 7 Tipo di mesh appropriato per modelli sottili: **mesh di shell**
- 8 Tipo di mesh appropriato per modelli con parti sottili e voluminose: **mesh mista**

## Lezione 2 - Quiz – Chiave di risposta

---

Nome: \_\_\_\_\_ Classe: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

*Istruzioni: rispondere a tutte le domande per iscritto, utilizzando lo spazio fornito per la risposta.*

1 Quanti sono i nodi di elementi shell in qualità bozza e alta?

**Risposta:** 3 in qualità bozza e 6 in qualità alta

2 Se si cambia lo spessore di shell, è necessario ricreare la mesh?

**Risposta:** No.

3 Cosa sono i metodi adattivi e qual è l'idea centrale della loro formulazione?

**Risposta:** I metodi adattivi sono metodi iterativi per migliorare automaticamente la precisione degli studi statici. Si basano sulla stima del profilo d'errore in un campo di sollecitazione: se un nodo è comune a più elementi, il solutore fornisce risposte diverse per lo stesso nodo per ogni elemento. La variazione del risultato offre una stima dell'errore; quanto più i valori sono tra loro vicini, tanto più precisi sono i risultati del nodo.

4 Qual è il vantaggio dato dall'utilizzare più configurazioni in uno studio?

**Risposta:** È possibile sperimentare con la geometria del modello in un unico documento. Ogni studio è associato a una configurazione. Cambiando la geometria di una configurazione si hanno conseguenze solo per gli studi associati.

5 Come si fa a creare velocemente un nuovo studio che differisce solo leggermente da uno esistente?

**Risposta:** Trascinare e rilasciare l'icona dello studio esistente sopra l'icona dell'albero di SolidWorks Simulation Manager per poi modificare, aggiungere o eliminare le funzioni che definiscono lo studio.

6 Quando i metodi adattivi non sono disponibili, come si possono ottenere risultati attendibili?

**Risposta:** Rigenerando la mesh del modello come elementi di dimensioni ridotta e ripetendo lo studio. Se i cambiamenti nei risultati sono significativi, ripetere la procedura finché non convergono.

7 Qual è l'ordine in cui il programma calcola sollecitazioni, spostamenti e deformazioni?

**Risposta:** Il programma calcola spostamenti, deformazione e sollecitazioni in questo ordine.

8 In una soluzione adattiva, quale elemento converge più velocemente, lo spostamento o la sollecitazione?

**Risposta:** Lo spostamento converge più velocemente della sollecitazione, perché la sollecitazione è la seconda derivata dello spostamento.

## Riepilogo della lezione

---

- ❑ L'applicazione dei metodi adattivi si basa su una stima dell'errore nella continuità del campo di sollecitazione. I metodi adattivi sono disponibili solo per gli studi statici.
- ❑ I metodi adattivi migliorano la precisione senza intervento da parte dell'utente.
- ❑ La sollecitazione teorica al punto di applicazione di un carico concentrato è infinita. Le sollecitazioni aumentano continuamente via via che si riduce la mesh attorno alla singolarità o con l'uso del metodo h-adattivo.
- ❑ L'applicazione di un controllo mesh richiede l'identificazione delle regioni critiche prima di eseguire lo studio. I metodi adattivi non richiedono l'identificazione manuale delle regioni critiche.
- ❑ La simmetria può essere usata, se opportuno, per ridurre la dimensione del problema. Il modello deve essere simmetrico in relazione alla geometria, ai vincoli, ai carichi e alle proprietà del materiale attraverso i piani di simmetria.
- ❑ Non sono ammessi vincoli nell'analisi della frequenza e questo si manifesta dalla presenza di modi del corpo rigido (frequenze di valore zero o quasi zero).
- ❑ I vincoli di simmetria dovrebbero essere evitati negli studi della frequenza e del carico di punta, perché vengono estratti solo i modi simmetrici.
- ❑ È meglio utilizzare elementi shell per modellare le parti sottili. Gli elementi shell resistono alle forze flessionali e sulla membrana.
- ❑ I modelli voluminosi devono essere rappresentati solo con una mesh di elementi solidi.
- ❑ La mesh mista deve essere usata quando il modello contiene parti voluminose e parti sottili.