Serie Progettazione tecnica e tecnologia

# Introduzione alle applicazioni di analisi della sollecitazione con SolidWorks Simulation, Guida dello studente



SolidWorks Corporation 300 Baker Avenue Concord, MA 01742 – USA Tel: +1 800 693 9000 Linea internazionale: +1 978 371 5011 Fax: +1 978 371 7303 Email: info@solidworks.com Web: www.solidworks.com/education © 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, a Dassault Systèmes S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 USA. All Rights Reserved.

The information and the software discussed in this document are subject to change without notice and are not commitments by Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

No material may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose without the express written permission of DS SolidWorks.

The software discussed in this document is furnished under a license and may be used or copied only in accordance with the terms of this license. All warranties given by DS SolidWorks as to the software and documentation are set forth in the SolidWorks Corporation License and Subscription Service Agreement, and nothing stated in, or implied by, this document or its contents shall be considered or deemed a modification or amendment of such warranties.

#### Patent Notices for SolidWorks Standard, Premium, Educational, and Professional Products

U.S. Patents 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; 7,590,497; 7,643,027; 7,672,822; 7,688,318; 7,694,238, and foreign patents, (e.g., EP 1,116,190 and JP 3,517,643). U.S. and foreign patents pending.

#### **Trademarks and Other Notices for All SolidWorks Products**

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, PDMWorks, eDrawings, and the eDrawings logo are registered trademarks and FeatureManager is a jointly owned registered trademark of DS SolidWorks.

SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation, and SolidWorks 2010 are product names of DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst, and XchangeWorks are trademarks of DS SolidWorks.

FeatureWorks is a registered trademark of Geometric Ltd.

Other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

COMMERCIAL COMPUTER SOFTWARE - PROPRIETARY

U.S. Government Restricted Rights. Use, duplication, or disclosure by the government is subject to restrictions as set forth in FAR 52.227-19 (Commercial Computer Software - Restricted Rights), DFARS 227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation), and in the license agreement, as applicable.

Contractor/Manufacturer:

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

#### Copyright Notices for SolidWorks Standard, Premium, Educational, and Professional Products

Portions of this software © 1990-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software III (GB) Ltd.

Portions of this software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Portions of this software © 1986-2010 mental images GmbH & Co. KG.

Portions of this software © 1996-2010 Microsoft Corporation. All rights reserved.

Portions of this software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Portions of this software © 1998-2010 3D connexion.

This software is based in part on the work of the Independent JPEG Group. All Rights Reserved.

Portions of this software incorporate PhysX<sup>TM</sup> by NVIDIA 2006-2010.

Portions of this software are copyrighted by and are the property of UGS Corp. © 2010.

Portions of this software © 2001 - 2010 Luxology, Inc. All Rights Reserved, Patents Pending.

Portions of this software © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. and its licensors. All rights reserved. Protected by U.S. Patents 5,929,866; 5,943,063; 6,289,364; 6,563,502; 6,639,593; 6,754,382; Patents Pending.

Adobe, the Adobe logo, Acrobat, the Adobe PDF logo, Distiller and Reader are registered trademarks or trademarks of Adobe Systems Inc. in the U.S. and other countries.

For more copyright information, in SolidWorks see Help > About SolidWorks.

Other portions of SolidWorks 2010 are licensed from DS SolidWorks licensors.

Copyright Notices for SolidWorks Simulation

Portions of this software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. All rights reserved.

Portions of this product are distributed under license from DC Micro Development, Copyright © 1994-2005 DC Micro Development, Inc. All rights reserved.

# Introduzione

## Informazioni su questo corso

L'Introduzione alle applicazioni di analisi della sollecitazione con SolidWorks Simulation ed i materiali di assistenza sono forniti per aiutare lo studente a conoscere le applicazioni SolidWorks Simulation in un ambiente accademico.

## **Tutorial online**

L'Introduzione alle applicazioni di analisi della sollecitazione con SolidWorks Simulation accompagna e complementa i Tutorial online di SolidWorks Motion.

#### Accesso ai Tutorial

Per accedere ai Tutorial online, selezionare il comando **?**, **Tutorial di SolidWorks, Tutti i tutorial di SolidWorks**. La finestra di SolidWorks si ridimensiona per dare spazio ad una seconda finestra al suo fianco, che presenta un elenco dei Tutorial disponibili. Soffermandosi con il puntatore su un link, in fondo alla finestra compare un'illustrazione del Tutorial scelto. Fare clic sul link desiderato per aprire il Tutorial.

#### Convenzioni

Per la visualizzazione ottimale dei Tutorial, impostare una risoluzione monitor di 1280 x 1024.

Le seguenti icone sono ricorrenti nei Tutorial:

Avanti Avanza alla schermata successiva del Tutorial.

Rappresenta una nota o un suggerimento. Questa icona non è un link ma le informazioni che offre appaiono alla sua destra. Le note ed i suggerimenti forniscono metodi veloci per eseguire le operazioni e altri consigli utili.



Fare clic su un pulsante della barra degli strumenti in una lezione per far lampeggiare il pulsante corrispondente in SolidWorks. La prima volta che si fa clic su quel pulsante si visualizza il messaggio seguente: An ActiveX control on this page might be unsafe to interact\_with other parts of the page. Do you want to allow this interaction? Si tratta di una misura cautelativa adottata da Windows: in realtà, i controlli ActiveX dei Tutorial online <u>non</u> sono dannosi per il sistema. Se si fa clic su **No**, gli script di tale argomento vengono disabilitati. Fare clic su **Si** per eseguire gli script in modo da far lampeggiare il pulsante.

Utilizzare il comando **Apri file** o **Imposta questa opzione** per definire automaticamente l'azione conseguente.

**Esempio video** mostra un video relativo a questa operazione.

- Un'occhiata approfondita a... collega ad ulteriori informazioni relative ad un dato argomento. Benché non sia indispensabile per completare il Tutorial, questo link offre maggiori dettagli sull'argomento trattato.
- Perché ho... collega ad altre informazioni circa una procedura e le ragioni per il metodo dato. Queste informazioni non sono obbligatorie per completare il Tutorial.

#### Stampa dei Tutorial

Per stampare i Tutorial online, attenersi alla seguente procedura:

1 Nella barra degli strumenti di navigazione del Tutorial, fare clic sul pulsante

Mostra Mostra .

Si visualizza il sommario dei Tutorial online.

2 Fare clic con il pulsante destro del mouse sul libro raffigurante la lezione che si desidera stampare e selezionare **Stampa** nel menu di scelta rapida.

Si visualizza la finestra di dialogo Stampa argomenti.

- 3 Selezionare Stampa l'intestazione selezionata e tutti gli argomenti correlati e fare clic su OK.
- 4 Ripetere la procedura per ogni lezione che si desidera stampare.

#### Linea di prodotti SolidWorks Simulation

Questo corso è una guida introduttiva alla dinamica di un corpo rigido con l'uso di SolidWorks Motion 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 sotto 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 sotto 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

Al termine di questa lezione, sarai in grado di spiegare la funzionalità di base del software SolidWorks Simulation e di eseguire l'analisi statica dell'assieme seguente.



## 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

- Fare clic su Apri i rella 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.

| Documenti recenti<br>Documenti<br>Documenti<br>Desktop | Cantileve<br>hub.SLD<br>Plate-with<br>Shaft.SLD<br>Spider.SL | r.SLOPRT<br>RT<br>Holo SLOPRT<br>OPRT<br>DPRT                       |             | Å  |
|--|--|---|-------------|--|
| Documenti  | <u>N</u> ome file:   | spider.SLDASM   | V Apri V    | Configurazioni   |
| Preferenze   | <u>T</u> ipo file:<br>Description:                           | SolidWorks Files (*.sldprt; *.sldasm; *.slddrw) <nessuno></nessuno> | ✓ Annulla   | Default<br>Stati di visualizzazione (collegati)<br>Default_Display State-2 |
| Ca mia rete<br>Ubicazioni                              |  | Vista rapida<br>Peso leggero  | Riferimenti | Non caricare i componenti nascosti   |

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:



1 Selezionare Strumenti, Aggiunte.

Si visualizza la finestra di dialogo Aggiunte.

- 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.

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

| System Options Default Options   |  |                                      |  |
|--|--|--------------------------------------|--|
| Hote     Load(Restraint     Mesh     Results     Phot     Cor Chart     Default Plots     Default Plots     Phot     Phot | Unit system<br>SI (MKS)<br>Unit:<br>Length/Displacement:<br>Temperature:<br>Angular velocity:<br>Pressue/Stress: | n Y<br>Fahenhol V<br>Hotz V<br>pri V |  |
|  | OK Cange   | Help                                 |  |

## 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.



Modello Motion Study 1 My First Study

#### Fase 2: Assegnazione del materiale

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

#### Acciaio in lega per tutti i componenti

 Nell'albero di SolidWorks Simulation Manager, fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Parts e selezionare Applica materiale a tutto.

Si visualizza la finestra di dialogo Materiale.

- 2 In Seleziona fonte del materiale:
  - a) Selezionare Dai file di libreria.

| ateriate  |                 |   |  |                              |        |                       |                 |
|---|-----------------|---|--|------------------------------|--------|-----------------------|-----------------|
| Seleziona fonte del materia   | e               |   | Proprietà  | Tabelle %                    | Curve  | Curve SN fation Pr    | roprietà per    |
| O Usa il materiale SolidWorks   |                 |   | Tropheta Tabelle & Curve SN Tatica Propheta pers |                              |        |                       |                 |
| O Definito dall'utente  |                 |   | Proprie  | età del mate                 | riale  |                       |                 |
| Dal file di libreria: solidworks materials  |                 |   | Tipo d   | li <u>m</u> odello:          | Isotro | pico elastico lineare | *               |
|   |                 | × | Tratta come:                                     |                              | Mana   |                       |                 |
|   |                 | ~ |  |                              | Ness   | uno 💌                 |                 |
| Acciaio al car  | bonio fuso      |   |  |                              |        |                       |                 |
| Acciaio al car  | bonio fuso (SN) |   | Unità:   |                              | SL     |                       | m^2 (MPa)       |
| Acciaio al carbonio semplice     Acciaio galvanizzato     Acciaio in lega     Acciaio in lega     Acciaio in lega (SS)     Acciaio in lega fuso     Acciaio in lega fuso     Acciaio in lega fuso |                 |   | 2  |                              |        |                       | in 12 (iii) (i) |
|   |                 |   | <u>C</u> ateg                                    | oria:                        | Accia  | io                    |                 |
|   |                 |   | Nome   | 6                            | Accia  | io in lega (SS)       |                 |
|   |                 |   | _  |                              |        |                       |                 |
|   |                 |   | Descrizione:                                     |                              |        |                       |                 |
|   |                 |   | Origin   | e:                           |        |                       |                 |
| 📒 Acciaio inossi  | dabile cromato  |   | Fallim   | ento di                      |        |                       | Mar In          |
| 📒 Acciaio inossi  | dabile fuso     |   | defau  | lt:                          | Solled | citazione massima von | MISE 🚩          |
| Acciaio inossidabile saldato  |                 |   | Propriet   | tà                           |        | Valore                | Unità           |
| + 🛤 Iron (5)  |                 |   | Modulo   | elastico                     |        | 2.10000005e+          | 011 N/m         |
| 🛨 👪 Leghe di alluminio (86)   |                 |   | Coeffici   | iente di Pois                | son    | 0.28                  | NA              |
| + 😝 Leghe di rame (19)  |                 |   | Modulo   | di taglio                    |        | 7.899999806e+         | 010 N/m         |
| 🖶 🔠 Leghe al titanio (1   | 7)              |   | Densità  | Densità di massa 7700.000118 |        | kg/m                  |                 |
|   | 0               | 8 | Resiste  | nza alla traz                | zione  | 723825617             | N/m′            |

- b) Selezionare solidworks materials come libreria.
- c) Fare clic sul segno più 6accanto ad Acciaio e selezionare Acciaio in lega.

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

3 Fare clic su OK.

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.

1 Ruotare l'assieme come illustrato nella figura avvalendosi delle frecce direzionali.



2 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 Fissaggio.

- 3 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 fissaggio.
- 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** (1) 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.

- 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 Anglosassone (IPS).
- 6 Nella casella Valore forza  $\bot$ , 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.

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** A e la **Tolleranza** A di default.

|          | Mesh ?                            |  |  |  |  |
|----------|-----------------------------------|--|--|--|--|
| <b>«</b> | ×                                 |  |  |  |  |
| Mes      | n Density 🔗                       |  |  |  |  |
|          |                                   |  |  |  |  |
|          | Mediocre Sottile                  |  |  |  |  |
|          | Azzera                            |  |  |  |  |
| Pa       | arametri della mesh 🛛 🔗           |  |  |  |  |
|          | <ul> <li>Mesh standard</li> </ul> |  |  |  |  |
|          | 🔿 Mesh basata su curvatura        |  |  |  |  |
| E        | in 💌                              |  |  |  |  |
| ♠        | 0.17970709in 🗸 🗘                  |  |  |  |  |
| *        | 0.00898535in 🔽 🗘                  |  |  |  |  |
|          | Transizione automatica            |  |  |  |  |



**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.

- 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 (I)** 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 **Verifica guidata del progetto** 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 di Verifica guidata del fattore di sicurezza Fase 1 di 3.

2 Come Criterio 😭, fare clic su Sollecitazione massima 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 di Verifica guidata del fattore di sicurezza Fase 2 di 3.

- 4 Impostare Unità 🛐 su psi.
- 5 Per Sollecitazione limite, selezionare Carico di snervamento.

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

6 Fare clic su Avanti 🕣

Si visualizza il PropertyManager di Verifica guidata del fattore di sicurezza Fase 3 di 3.

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

G

8 Fare clic su 🧹 per generare il grafico.

🎦 Fattore di sicurezza

Distribuzione del fattore di sicurezz
 Aree sotto il fattore di sicurezza

Risultato di sicurezza In base al criterio di sollecitazione ma:

Fattore di sicurezza: 7.63665

🧭 🗙

Punto 3 di 3

1

| ni, può deformarsi<br>umenta.     | Fattore di moltiplicaz  |
|-----------------------------------|---|
|                                   | Risultati trave:  |
|                                   | Mostra sollecit travi   |
| er di <b>Verifica guidata del</b> | Risultati shell:  |
| 3.                                | Sea Minima  |
| re di sicurezza e immettere 1.    | Materiale coinvolto<br>Acciaio in lega                          |
| grafico.                          |   |
|                                   | Snervamento:<br>89984.6 psi<br>Resistenza finale:<br>104982 psi |
|                                   |   |

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.

| 🖺 Fattore di sicurezza 🛛 💡 ?             |   |   |  |  |  |  |  |
|--|---|---|--|--|--|--|--|
| <b>V</b>                                 | × 0   | e |  |  |  |  |  |
| Messaggio 🔅                              |   |   |  |  |  |  |  |
| Per<br>mas<br>solle<br>Per<br>Moh<br>mas | i materiali duttili usare la sollecitazione<br>sima von Mises o il criterio di<br>citazione massima di taglio.<br>i materiali fragili usare la sollecitazione<br>r-Coulomb o il criterio di sollecitazione<br>sima normale. | e |  |  |  |  |  |
| Punt                                     | :o 1 di 3   | ~ |  |  |  |  |  |
|  | Tutto   |   |  |  |  |  |  |
| Ľ  | 📽 🛛 Sollecitazione massima von Mises 🛛 👻  |   |  |  |  |  |  |
|  | $rac{\sigma_{vonMises}}{\sigma_{Limit}} \leq 1$  |   |  |  |  |  |  |

**6**8

| <b>••••</b> ••• | ittori                        | e ui sicui ezza                                  | 8    |  |  |  |
|-----------------|-------------------------------|--|------|--|--|--|
| <b>~</b>        | ×                             | (  | 9 😔  |  |  |  |
| Punt            | Punto 2 di 3 🛛 🔅              |  |      |  |  |  |
| E               | psi                           |  | ~    |  |  |  |
|                 | Impos                         | sta limite di sollecitazione su                  |      |  |  |  |
|                 | 💿 Sn                          | ervamento  |      |  |  |  |
|                 | ORe                           | esistenza ultima                                 |      |  |  |  |
|                 | ODe                           | efinito dall'utente                              |      |  |  |  |
|                 |                               | 1  |      |  |  |  |
|                 | Fatto                         | re di moltiplicazione                            |      |  |  |  |
|                 |                               | 1  |      |  |  |  |
| Risult          | ati tra                       | ve:  |      |  |  |  |
|                 | Ø                             | Mostra sollecitazioni abbinat<br>travi           | e su |  |  |  |
| Risult          | ati she                       | ell :  |      |  |  |  |
|                 |                               | Minima   | ~    |  |  |  |
| Mater           | Materiale coinvolto           |  |      |  |  |  |
|                 | Accia                         | iio in lega                                      |      |  |  |  |
|                 | Sner<br>8998<br>Resis<br>1049 | vamento:<br>14.6 psi<br>stenza finale:<br>82 psi |      |  |  |  |

## Quanto è sicuro il progetto?

1 Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella Results e selezionare Definisci grafico di sollecitazione.

Si visualizza il PropertyManager di Verifica guidata del progetto Fase 1 di 3.

- 2 Come Criterio, fare clic suSollecitazione massima von Mises.
- 3 Fare clic su Avanti.

Si visualizza il PropertyManager di **Verifica guidata del progetto Fase 2 di 3**.



4 Fare clic su Avanti.

Si visualizza il PropertyManager di Verifica guidata del progetto 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 **Disponibile**.

 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 incluse per impostare una conclusione dello studio nella casella Commenti.

| Opzioni del rapporto      |  |
|---------------------------|--|
| <u>F</u> ormato rapp      | orto corrente: Default   |
| ∠Impostazioni formato ra  | pporto   |
| Stile del rapporto        | Contemporaneo  |
| Sezioni disponibili       | Secioni comprese:<br>Deckbiatt Sposta in alto Sposta in jaso Annahmen Studencipenschaften Studencipenschaften Compresentation Studencipenschaften St |
| Proprietà di sezione      |  |
| Nome: Cover               | Page   |
| <u>C</u> ommenti:         |  |
| Logo:                     | Sfoglia  |
| Autore:                   |  |
| Azienda:                  |  |
|                           |  |
| Impostazioni del docume   | ento   |
| Percorso del rapporto:    | C:\Program Files\SolidWorks (2)\COSMOSWork Stoglia   |
| Nome <u>r</u> apporto: sp | ider-My First Study-1  |
| Mostra rapporto in p      | ubblicazione   |
| Pubblica in formati       | p: OHTML ⊙Word   |
| Pubblica                  | Applica Annulla ?  |

- 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

1 Come si avvia una sessione con SolidWorks Simulation? 2 Cosa fare se il menu di SolidWorks Simulation non appare nella barra dei menu di SolidWorks? 3 Che tipo di documenti può analizzare SolidWorks Simulation? \_\_\_\_\_ 4 Cos'è l'analisi? 5 Perché è importante l'analisi? 6 Cos'è uno studio analitico? 7 Quali tipi di analisi può eseguire SolidWorks Simulation? 8 Quali sono i parametri calcolati dall'analisi statica? 9 Cos'è la sollecitazione? 10 Quali sono le fasi principali per eseguire l'analisi? 11 Come si cambia il materiale di una parte? 12 La Verifica guidata del progetto mostra un fattore di sicurezza di 0,8 in alcuni punti. Il progetto è sicuro?

## 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.
- 3 Salvare la parte con un nome diverso.
- 4 Creare uno studio **statico**.
- 5 Assegnare Acciaio in lega alla parte. Qual è il valore del modulo elastico, in psi?
  Risposta:
- 6 Fissare una delle facce finali dello sbalzo.
- 7 Applicare una forza verso il basso al bordo superiore della faccia opposta, per **100 lb**.
- 8 Creare la mesh della parte ed eseguire l'analisi.
- **9** Tracciare lo spostamento nella direzione Y. Qual è lo spostamento Y massimo all'estremità libera dello sbalzo?

#### <u>Risposta:</u>

**10** Calcolare lo spostamento verticale teorica dell'estremità libera mediante la seguente equazione:

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

dove F è la forza, L è la lunghezza della trave, E è il modulo elastico, w e h sono rispettivamente la larghezza e l'altezza della trave.

Risposta:

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

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

Risposta:



# Lezione 1 - Scheda terminologica

| N  | ome   | _Classe:                | Data:           |  |  |  |
|----|---|-------------------------|-----------------|--|--|--|
| сс | completare gli spazi bianchi con le parole mancanti.  |                         |                 |  |  |  |
| 1  | 1 Sequenza di creazione di un modello in SolidWorks, produzione di un prototipo e collaudo: |                         |                 |  |  |  |
| 2  | Scenario condizionale con tipo di analisi,  | materiali, carichi e v  | vincoli:        |  |  |  |
| 3  | 3 Metodo utilizzato da SolidWorks Simulation per eseguire l'analisi:                        |                         |                 |  |  |  |
| 4  | 4 Tipo di studio che calcola spostamenti, deformazione e sollecitazioni:                    |                         |                 |  |  |  |
| 5  | Processo di suddivisione del modello in elementi più piccoli:                               |                         |                 |  |  |  |
| 6  | Piccoli pezzi di forma semplice creati durante la mesh:                                     |                         |                 |  |  |  |
| 7  | Gli elementi condividono punti in comune detti:   |                         |                 |  |  |  |
| 8  | Forza che agisce su un'area, diviso l'area:   |                         |                 |  |  |  |
| 9  | Collasso improvviso di un modello a causa   | di carichi di compre    | ssione assiale: |  |  |  |
| 10 | <b>10</b> Studio che calcola il calore di un modello:                                       |                         |                 |  |  |  |
| 11 | Parametro che descrive in modo generale   | lo stato della sollecit | azione:         |  |  |  |
| 12 | Sollecitazioni normali sui piani ove svanise  | cono le sollecitazioni  | di taglio:      |  |  |  |
| 13 | Frequenze che provocano la vibrazione d   | i un corpo:             |                 |  |  |  |
| 14 | 14 Tipo di analisi utile per evitare la risonanza:  |                         |                 |  |  |  |

# Lezione 1 - Quiz

| Nome:    |   | _Classe:                | _ Data:                    |  |  |  |
|----------|---|-------------------------|----------------------------|--|--|--|
| Is<br>ri | truzioni: rispondere a tutte le domande pe<br>sposta.                         | r iscritto, utilizzando | o lo spazio fornito per la |  |  |  |
| 1        | Per verificare un progetto si crea uno studio. Che cos'è uno studio?          |                         |                            |  |  |  |
| 2        | Quali tipi di analisi può eseguire SolidWo                                    | orks Simulation?        |                            |  |  |  |
| 3        | Dopo aver ottenuto i risultati di uno studi<br>È necessario ricreare la mesh? | o, si cambia material   | le, carchi e/o vincoli.    |  |  |  |
| 4        | Dopo la mesh, si cambia la geometria. È                                       | necessario ricreare la  | ı mesh?                    |  |  |  |
| 5        | Come si crea uno studio statico?  |                         |                            |  |  |  |
| 6        | Cos'è la mesh?  |                         |                            |  |  |  |
| 7        | Per un assieme, quante icone si prevede d                                     | li vedere nella cartell | a Solids?                  |  |  |  |

Lezione 1 – Funzionalità di base di SolidWorks Simulation

Al termine di questa lezione, sarai in grado di (a) utilizzare i metodi adattivi per migliorare la precisione dei risultati e (b) applicare vincoli di simmetria per analizzare un quarto del modello originale.



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.

# 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 彦 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:



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 Anglosassone (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.

Materiale

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 tutto.

Si visualizza la finestra di dialogo Materiale.

- 2 In Seleziona fonte del materiale:
- Seleziona fonte del materi Proprietà Tabelle & Curve Curve SN fatica Proprietà personali O Usa il materiale <u>S</u>olidWorks Proprietà del materiale O Definito dall'utente Tipo di modello: Isotropico elastico lineare ~ Dal file di libreria: solidworks materials ~ Tratta come: Nessuno ~ 🚼 ASTM A36 Acciaio ^ 🛃 Acciaio al carbonio fuso Acciaio al carbonio fuso (SN) V/mm^2 (MPa) Unità: SL Notice al carbonio semplice Categoria: 📒 Acciaio galvanizzato Nome: 8E 4 🚛 Acciaio in lega (SS) Descrizione: 💐 = Acciaio in lega fuso Origine: Acciaio inossidabile (ferroso) 👫 Acciaio inossidabile cromato Fallimento di Sollecitazione massima von Mise 🗸 default 👫 Acciaio inossidabile fuso Valore 🗦 Acciaio inossidabile saldato Proprietà Unità 2.10000005e+011 N/m^2 🛨 🛅 Iron (5) Aodulo elastico oefficiente di Poisson 🛓 🛅 Leghe di alluminio (86) 0.28 NA 7.899999806e+010 N/m^2 Modulo di taglio 🕣 🚺 Leghe di rame (19) kg/m^3 7700.000118 )ensità di massa 🛨 🛅 Leghe al titanio (17) Resistenza alla trazione 723825617 N/m^2
- a) Selezionare Dai file di libreria.
- b) Selezionare solidworks materials come libreria.
- c) Fare clic sul segno più accanto ad Acciaio e 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 **Attrezzi per fissaggi avanzati**.

Si visualizza il PropertyManager di Fissaggio.

- 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 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 🛒 (Fixture-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 N** 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 **Attrezzi per fissaggi avanzati**.

Si visualizza il PropertyManager di Fissaggio.

- 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 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 🕅.

Faccia 3

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.
- Nell'area grafica, selezionare le quattro facce mostrate nella figura.
   Face<1> ~ Face<4> appaiono nell'elenco Facce di pressione.



- 5 Nella casella Valore di pressione III 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 III 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:

$$\sigma max = k \cdot \left(\frac{P}{t(D-2r)}\right) \qquad \qquad k = 3,0-3,13 \left(\frac{2r}{D}\right) + 3,66 \left(\frac{2r}{D}\right)^2 - 1,53 \left(\frac{2r}{D}\right)^3$$

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

Si attiva la configurazione Quarter plate.

3 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.

- 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**.

Modello | Motion Study 1 | 🐙 Whole plate | 🐙 Quarter plate |

# Fase 4: Applicazione dei vincoli

Applicare i vincoli alle facce di simmetria.

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

Si visualizza il PropertyManager di Fissaggi.

- 3 Impostare Tipo su Simmetria.
- 4 Nell'area grafica, fare clic su Face 1 visualizzata nella figura.

Face<1> appare nella casella Facce, Bordi, Vertici per vincolo.

5 Fare clic su ✓.

In modo simile, applicare il vincolo **Simmetria** a Face 2.

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 **Attrezzi per fissaggi 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 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 N. Accertarsi che gli altri due componenti siano disattivati.



5 Fare clic su 🖌.

Una volta applicati i vincoli, le tre icone di vincolo 🚅 (Fixture-1), 🚅 (Fixture-2) e 🚅 (Fixture-3) appaiono nella cartella Fixtures.



## Fase 5: Applicazione del carico di pressione

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

 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 III 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 grande 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.

| Ler                 | Duplicare                              |  |  |  |
|---------------------|--|--|--|--|
|                     | Rinomina                               |  |  |  |
|                     | Cancella                               |  |  |  |
|                     | Cancella tutti gli studi di Simulation |  |  |  |
|                     | Crea nuovo studio di movimento         |  |  |  |
|                     | Crea nuovo studio di simulazione       |  |  |  |
| ) 9¥ C              | uarter plate                           |  |  |  |
|                     |  |  |  |  |
| efine Study Na      | me 🔀                                   |  |  |  |
| Study Name :        |  |  |  |  |
| H-adaptive          |  |  |  |  |
| Configuration to us | e:                                     |  |  |  |
| Quarter plate       | *                                      |  |  |  |
| · · ·               |  |  |  |  |
| ОК                  | Cancel Help                            |  |  |  |

- 4 In Opzioni h-adattivo:
  - 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.

| Statico 🛛 🔀   |
|---|
| Opzioni Adattivo Effetti di flusso/Termici Commento   |
| Metodo adattivo   |
| ○ Nessuno   |
| Adattivo⋅h     Adattivo⋅h   |
| 🔘 p-adattiva  |
| Opzioni h-adattive  |
| Precisione di Basse Alte<br>destinazione: 99 %  |
| Errore di Locale (più veloce) Globale (più lenta)<br>precisione:                                |
| Opzioni p-adattive  |
| Eerma quando<br>la modifica Energia di deformazione totale V è 1 % o un valore minore           |
| Aggiorna elementi con relativo<br>errore di Energia di deformazione di 2 % o un valore maggiore |
| A <u>v</u> vio ordine-p   |
| Ordine-p <u>m</u> assimo 5  |
| Numero massimo di loop 4  |
| OK Annulla Applica ?  |

## 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 = 322,4 psi, più vicino alla soluzione analitica (errore approssimativo: 6,6%).

**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**.
- Nel PropertyManager, selezionare tutte le caselle di controllo e quindi fare clic su v.
   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

| 1 | Se si modificano materiale, carichi o vincoli, i risultati diventano nulli mentre la mesh<br>rimane valida. Perché?    |
|---|--|
| 2 | Modificando la dimensione degli elementi si rende nulla la mesh corrente?  |
| 3 | Come si attiva una configurazione?   |
| 4 | Cos'è il moto del corpo rigido?  |
| 5 | Cos' è il metodo Adattivo-h e quando viene usato?  |
| 6 | Qual è il vantaggio offerto dal metodo h-adattivo per migliorare la precisione rispetto all'uso dei controlli di mesh? |
| 7 | Il numero degli elementi cambia nelle iterazioni con il metodo p-adattivo?   |

# 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**.
- 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 tutto**.
  - b) Selezionare Dal file di libreria e scegliere il materiale Acciaio in lega.
  - c) Fare clic su 🗹.
- 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.

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



1

Risposta:

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

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.

- a) Fare clic con il pulsante destro del mouse sulla cartella External Loads e selezionare **Pressione**.
- b) Impostare Tipo su Usa geometria di riferimento.
- c) Nella casella Facce, Bordi per pressione selezionare il bordo verticale indicato nella figura.
- d) Nella casella Faccia, Bordo, Piano, Asse per direzione selezionare il bordo mostrato nella figura.
- e) Immettere 100 psi nel campo Valore di pressione.
- f) Fare clic su ✓.
- 12 Applicare i controlli mesh al bordo illustrato nella figura. L'uso di elementi più piccoli migliora la precisione.

- 13 Creare la mesh della parte ed eseguire l'analisi.
- 14 Tracciare il grafico della sollecitazione nella direzione X. Qual è la sollecitazione SX massima?

#### Risposta:

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

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





## Lezione 2 - Scheda terminologica

| Nome   | Classe: | Data <sup>.</sup> |
|--------|---------|-------------------|
| 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:
- 2 Metodo che migliora i risultati di sollecitazione aumentando l'ordine polinomiale:
- 3 Tipo di grado di libertà di un nodo di elemento tetraedrico:
- 4 Tipi di grado di libertà di un nodo di elemento shell:
- 5 Materiale con proprietà elastiche equivalenti in tutte le direzioni:
- 6 Tipo di mesh appropriato per modelli voluminosi:
- 7 Tipo di mesh appropriato per modelli sottili:
- 8 Tipo di mesh appropriato per modelli con parti sottili e voluminose:

# Lezione 2 - Quiz

| 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?                 |                    |                                   |  |  |
| 2  | Se si cambia lo spessore di shell, è necessario ricreare la mesh?             |                    |                                   |  |  |
| 3  | Cosa sono i metodi adattivi e qual è l'idea centrale della loro formulazione? |                    |                                   |  |  |
| 4  | Qual è il vantaggio di utilizzare più confi                                   | gurazioni in unc   | o studio?                         |  |  |
| 5  | Come si fa a creare velocemente un nuov<br>uno esistente?                     | o studio che dif   | ferisce solo leggermente da       |  |  |
| 6  | Quando i metodi adattivi non sono dispon                                      | ibili, come si può | o ottenere risultati attendibili? |  |  |
| 7  | Qual è l'ordine in cui il programma calco                                     | ola sollecitazioni | , spostamenti e deformazioni?     |  |  |
| 8  | In una soluzione adattiva, quale elemento o la sollecitazione?                | o converse più vo  | elocemente, lo spostamento        |  |  |
|  |   |                    |                                   |  |  |

Lezione 2 – Metodi adattivi in SolidWorks Simulation