Pressione di contatto di Hertz

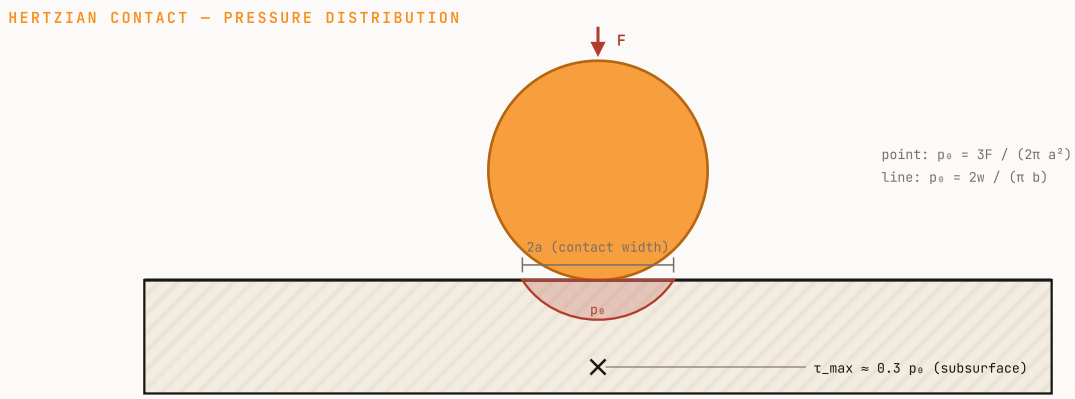
La pressione di contatto tra corpi curvi — formule per il contatto puntiforme e lineare, modulo e raggio equivalenti, la tensione tangenziale sotto la superficie che genera il pitting e i valori ammissibili.

REVISIONE	PUBBLICATO	RESPONSABILE	ALLEGATO
1.0	June 2026	Ingegneria Ideambox	Riferimento PDF

SINTESI

Quando due corpi curvi si toccano — una sfera sulla pista, un dente sul dente coniugato, una camma sulla punteria, una ruota sulla rotaia — il contatto avviene su un'area molto piccola, quindi la tensione locale (hertziana) è di gran lunga superiore a quanto lascerebbe supporre il carico nominale. La pressione di contatto massima e la tensione tangenziale che essa produce appena sotto la superficie sono ciò che limita gli elementi volventi.

La sezione 1 spiega il contatto di Hertz. La sezione 2 tratta il contatto puntiforme (sfere). La sezione 3 tratta il contatto lineare (cilindri/rulli). La sezione 4 riguarda il modulo e il raggio equivalenti. La sezione 5 tratta la tensione tangenziale sotto la superficie e la pressione ammissibile. La sezione 6 contiene note di progettazione e una checklist.



DUE CORPI CURVI SI TOCCANO SU UN'AREA MINUSCOLA, PER CUI LA PRESSIONE LOCALE È ENORME E CONCENTRATA. LA PRESSIONE MASSIMA P_0 E LA TENSIONE TANGENZIALE CHE ESSA GENERA SOTTO LA SUPERFICIE GOVERNANO IL PITTING DI CUSCINETTI, INGRANAGGI E CAMME.

INDICE

1. Che cos'è il contatto hertziano
2. Contatto puntiforme (sfere)
3. Contatto lineare (cilindri / rulli)
4. Modulo e raggio equivalenti
5. Tensione tangenziale sotto la superficie e pressione ammissibile
6. Note di progettazione e checklist

1. Che cos'è il contatto hertziano

Due superfici curve non conformi premute l'una contro l'altra si deformano elasticamente formando una piccola area di contatto — un cerchio (contatto puntiforme) o una striscia stretta (contatto lineare). Su quest'area la pressione ha andamento **semiellittico**, con il massimo $\mathbf{p_0}$ al centro. Poiché l'area è minuscola, p_0 è molto elevata, e la tensione tangenziale massima si trova poco **sotto** la superficie — proprio dove si innesca la fatica da contatto volvente (pitting/sfogliatura).

p_0	Pressione di contatto massima (al centro) — il valore da verificare
Contatto puntiforme	Sfera su piano / sfera nella pista / sfera su sfera → area circolare di raggio a
Contatto lineare	Cilindro su piano / rullo nella pista → striscia di semilarghezza b, carico per unità di lunghezza w
E*	Modulo equivalente (ridotto) che combina l'elasticità dei due corpi
R*	Raggio equivalente (relativo) che combina le curvature dei due corpi

2. Contatto puntiforme (sfere)

Per due sfere (o una sfera su un piano, $R_2 \to \infty$):

- Raggio di contatto `a = (3 F R* / 4 E*)^{1/3}`
- Pressione massima `p₀ = 3 F / (2 π a²)` (= 1.5 × la pressione media)

p_0 cresce solo con la **radice cubica** del carico, quindi raddoppiando il carico la pressione massima aumenta di circa il 26% — ma cresce rapidamente al diminuire del raggio, ed è per questo che sfere piccole e bombature accentuate sono molto sollecitate.

3. Contatto lineare (cilindri / rulli)

Per due cilindri paralleli con carico per unità di lunghezza `w = F / L`:

- Semilarghezza di contatto `b = √(4 w R* / (π E*))`
- Pressione massima $p_0 = 2\ w / (\pi\ b) = \sqrt{(w\ E^* / (\pi\ R^*))}$

Il contatto lineare distribuisce il carico lungo il rullo, quindi a parità di carico totale dà una p_0 inferiore rispetto al contatto puntiforme — il motivo per cui i cuscinetti a rulli portano più dei cuscinetti a sfere delle stesse dimensioni. Attenzione al **carico di bordo**: il disallineamento concentra w alle estremità del rullo, per questo i rulli sono bombati.

4. Modulo e raggio equivalenti

Entrambi i corpi a contatto si ripartiscono la deformazione, combinata come:

- $1/E^* = (1 - \nu_1^2)/E_1 + (1 - \nu_2^2)/E_2$
- $1/R^* = 1/R_1 \pm 1/R_2$
  usare **+** per due superfici convesse, **−** per un corpo convesso in uno concavo (una sfera nella sua pista), il che rende R* grande e riduce la tensione.

Così una sfera alloggiata in una gola di rotolamento conforme è molto meno sollecitata della stessa sfera su un piano.
Acciaio su acciaio: $E^* \approx 113$ GPa ($E = 207$ GPa, $\nu = 0.3$ ciascuno).

5. Tensione tangenziale sotto la superficie e pressione ammissibile

- La **tensione tangenziale massima** vale ≈ **0.30 · p_0** e si trova a circa **0.48 a** (puntiforme) o **0.78 b** (lineare) sotto la superficie. Le cricche di fatica da rotolamento nascono lì e risalgono in superficie formando i crateri (pit).

- **Limite statico (brinellatura):** l'impronta permanente inizia attorno a p_0 ≈ 4000–4200 MPa per l'acciaio da cuscinetti temprato
  la base del coefficiente di carico statico C_0.

- **Limite ciclico (pitting):** molto più basso; i fianchi cementati di ingranaggi e cuscinetti si progettano tipicamente per ~1300–1700 MPa di pressione di contatto per lunga durata (secondo ISO 6336 / durata L10 dei cuscinetti).

SITUAZIONE	LIMITE INDICATIVO DI P_0
Acciaio da cuscinetti temprato, statico (brinellatura)	~4000–4200 MPa
Fianco di ingranaggio cementato, lunga durata	~1300–1700 MPa
Acciaio temprato a cuore, numero di cicli moderato	~1000–1400 MPa

I valori sono indicativi — per la durata reale usare la ISO 6336 (ingranaggi) o i coefficienti L10 dei cuscinetti.

6. Note di progettazione e checklist

- **Ridurre p_0** aumentando il raggio equivalente (bombatura, gole conformi), passando al contatto lineare o riducendo il carico.
- **Alzare il limite** con acciaio più duro e più pulito (cementazione, poche inclusioni) e un buon film d'olio EHL (un film completo prolunga enormemente la durata a pitting).
- **Curare la pulizia sotto la superficie**
  le inclusioni alla profondità di taglio massimo sono nuclei di cricca; per questo gli acciai da cuscinetti sono degasati sotto vuoto.
- **Checklist:** determinare E* e R* → calcolare a/b e p_0 (puntiforme o lineare) → confrontare con il limite statico (brinellatura) e con il limite ciclico (pitting) per il materiale e la durata → se troppo alta, aggiungere bombatura/conformità, indurire o migliorare la lubrificazione. Da abbinare ai riferimenti
  Cuscinetti
  ,
  Ingranaggi
  e
  Fatica
  .

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/it/downloads/hertz-contact-stress/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact