

Esercitazioni Strutture per Veicoli Spaziali

De Trane Giorgio
s275514

January 18, 2021



*Anno accademico
2020-2021*

Contents

1 Esercitazione 1	3
1.1 Esempio	5
1.1.1 DATI	5
1.1.2 RISULTATI	6
1.2 Esercizio 1	7
1.2.1 DATI	7
1.2.2 File di input	8
1.2.3 RISULTATI	9
1.3 Esercizio 2	12
1.4 RISULTATI	13
1.5 Riflessioni	16
2 Esercitazione 2	18

1 Esercitazione 1

L'esercitazione é svolta utilizzando uno script in Fortran, messo a disposizione in un archivio denominato *MUL2* [3] e contenente anche un file di input ad hoc, in formato *.dat*, oltre a degli utili script di esempio per *gnuplot* [1], un libre software utilizzato poi per plottare tutti i grafici che seguono.

In campo subsonico, con ripressurizzazione nulla e temperatura dell'aria di circa 23 °C, vale:

$$\tau = 3.5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{V_c}{A_{eff}} \right) \quad (1)$$

In campo sonico, con ripressurizzazione nulla e temperatura dell'aria di circa 23 °C, vale:

$$\Omega \approx 0.025 \left(\frac{V_c}{A_{eff}} \right) \left[(0.5283\tilde{p}^o)^{\frac{1}{7}} - 1 \right] \quad (2)$$

Sono state fatte diverse assunzioni per tutta l'esercitazione:

- La depressurizzazione é:
 - *lenta* ($t > 10\text{ s}$)
 - *rapida* ($t < 10\text{ s}$)
 - *esplosiva* ($t < 500\text{ ms}$)
- Il volume delle camere é *costante*
- Il volume dell'atmosfera é supposto *infinito*
- L'aria é trattata come *gas ideale*
- Si utilizza un modello *0D*, ossia con proprietá uniformi per tutta l'aria contenuta nel volume in analisi
- La quota rimane *costante* durante la depressurizzazione
- L'effetto dell'umiditá relativa e dei calori latenti vengono trascurati
- Il modello utilizzato é di tipo quasi-stazionario, implementato attraverso un *algoritmo numerico*, il cui output fornisce del feedback sugli input forniti e sulla supercriticitá (campo supersonico) o subcriticitá (campo subsonico) del fenomeno.

```
giorgio@pop-os:/tmp/prova$ ls
Input.dat  MUL2_Rapid_Dec.zip  Plot_Dp.plt  Plot_p.plt  Rapid_Decompression.exe
giorgio@pop-os:/tmp/prova$ wine Rapid_Decompression.exe
001b:err:ntoskrnl:ZwLoadDriver failed to create driver L"\Registry\Machine\System\CurrentControlSet\Services\wineusb": c0000142
|-----|
|           Rapid Decompression analysis          |
|           for pressurized Aircraft Fuselage      |
|           and Spacecraft launch                  |
|-----   MUL2.com    ---|
|           for didattic use only                 |
|-----|
```

READING INPUT:

```
Analysis duration [s]: 0.450
Time step [micro-s]: 50.000
Number of compartments: 2
Compartments volumes [m3]: 4.000
16.000
Cabin Temperature [C]: 23.000
Ambient Temperature [C]: -10.000
Cabin Pressure [kPa]: 117.016
Ambient Pressure [kPa]: 62.881
Charact. time of launcher [s]: 0.000
Pass. vent./breach areas [m2]: 0.00000E+00 0.35000E+00 0.16000E+00
0.35000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
0.16000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
No. of hinged BOPs: 0
No. of transl.l BOPs: 0
```

RUNNING ANALYSIS:

```
Supercritical ph. duration: 0.00000
Subcritical ph. duration: 0.43105
Total decompr. duration: 0.43105
```

END. SEE OUTPUT FILES.

Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

Figure 1: stdout tipo

1.1 Esempio

Il caso esaminato é quello dell'Esempio 2, i cui dati sono quelli forniti di default nel file *input.dat*.

La configurazione in esame consiste in due camere comunicanti attraverso una ventilazione passiva, con un breach sull'ambiente esterno.

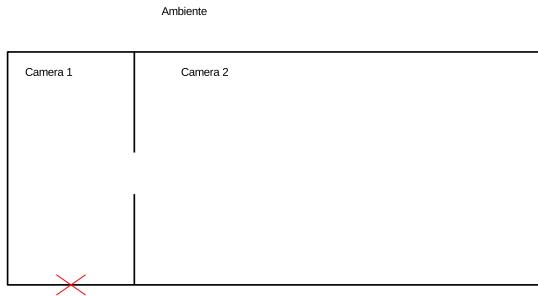


Figure 2: Esempio 2 (Disegnato con *Inkscape* [4])

1.1.1 DATI

- $T_0 = -10\text{ }C;$
- $T_{c0} = 23\text{ }C;$
- $p_0 = 62.8812\text{ }kPa;$
- $p_{c0} = 117.0162\text{ }kPa;$
- $V_{C1} = 4\text{ }m^3;$
- $V_{C2} = 16\text{ }m^3;$
- $A_{1-0} = 0.2\text{ }m^2;$
- $A_{1-2} = 0.5\text{ }m^2;$
- $CD_{1-0} = 0.8;$
- $CD_{1-2} = 0.7;$

1.1.2 RISULTATI

Sono riportati i grafici ottenuti plottando i file di output generati dallo script.

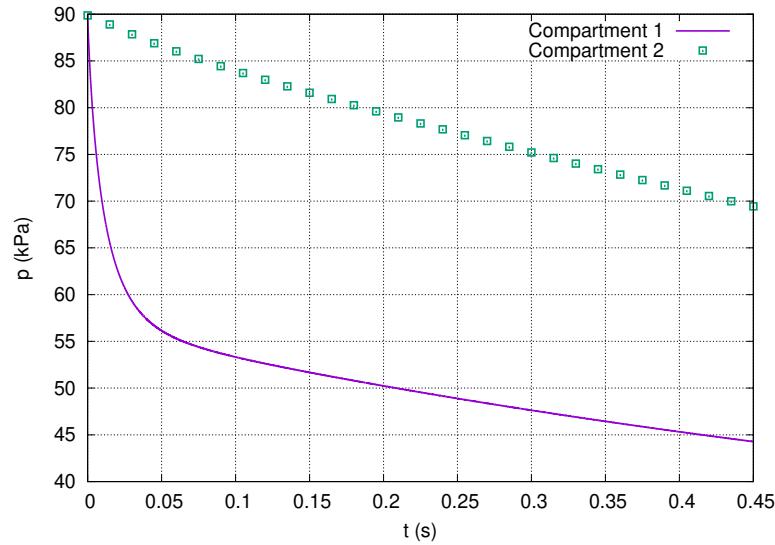


Figure 3: Pressioni di entrambe le camere nel tempo

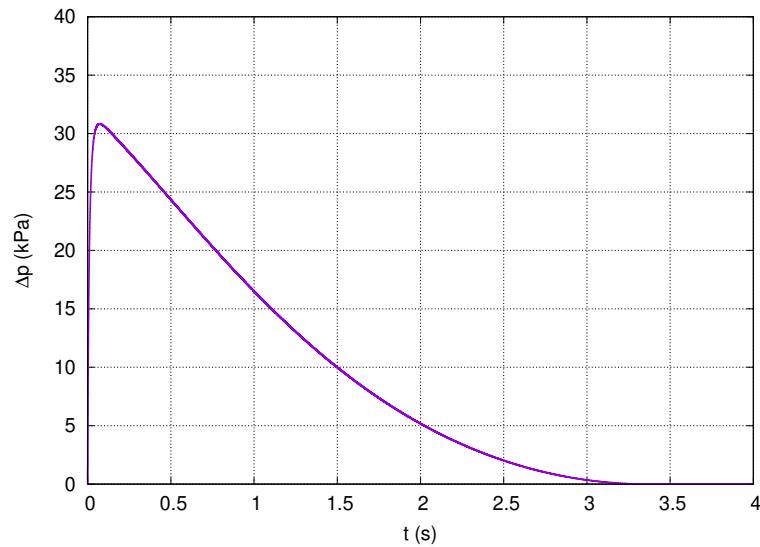


Figure 4: Gradiente di pressione tra le due camere

1.2 Esercizio 1

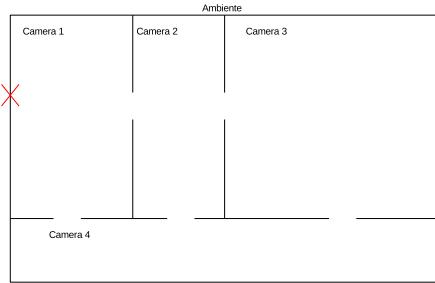


Figure 5: Esercizio 1 (Disegnato con *Inkscape* [4])

1.2.1 DATI

- $T_0 = -49.85\text{ }C;$
- $T_{c0} = 23\text{ }C;$
- $p_0 = 26.5\text{ }kPa;$
- $p_{c0} = 89.876\text{ }kPa;$
- $V_{C1} = 4\text{ }m^3;$
- $V_{C2} = 3\text{ }m^3;$
- $V_{C3} = 198\text{ }m^3;$
- $V_{C4} = 67\text{ }m^3;$
- $A_{1-0} = 1\text{ }m^2;$
- $A_{1-2} = 0.6\text{ }m^2;$
- $A_{2-3} = 0.6\text{ }m^2;$
- $A_{1-4} = 0.8\text{ }m^2;$
- $A_{3-4} = 0.8\text{ }m^2;$
- $CD_{1-0} = 0.8;$
- $CD_{1-2} = [0, 0.5, 1];$
- $CD_{2-3} = 0.7;$
- $CD_{2-4} = 0.7;$
- $CD_{1-4} = 0.7;$
- $CD_{3-4} = 0.7;$

1.2.2 File di input

Il file di input viene modificato rispetto all'esempio, inserendo ovviamente i dati forniti dal problema e rispettando la leggenda dello script.

In particolare, la matrice delle aree effettive, ossia le singole aree fisiche che separano le camere, moltiplicate per i rispettivi coefficienti di efflusso, risulta:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.56 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0.42 & 0.56 & 0 \\ 0 & 0.42 & 0 & 0.56 & 0 \\ 0.56 & 0.56 & 0.56 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Per $CD_{1-2} = 0$;

$$\begin{pmatrix} 0 & 0.3 & 0 & 0.56 & 0.8 \\ 0.3 & 0 & 0.42 & 0.56 & 0 \\ 0 & 0.42 & 0 & 0.56 & 0 \\ 0.56 & 0.56 & 0.56 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Per $CD_{1-2} = 0.5$;

$$\begin{pmatrix} 0 & 0.6 & 0 & 0.56 & 0.8 \\ 0.6 & 0 & 0.42 & 0.56 & 0 \\ 0 & 0.42 & 0 & 0.56 & 0 \\ 0.56 & 0.56 & 0.56 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Per $CD_{1-2} = 1$;

1.2.3 RISULTATI

Sono di seguito plottati gli andamenti delle pressioni e del gradiente di pressione tra le camere 1 e 2, nel dominio del tempo.

I plot sono ordinati a due a due per $CD_{1-2} = [0, 0.5, 1]$;

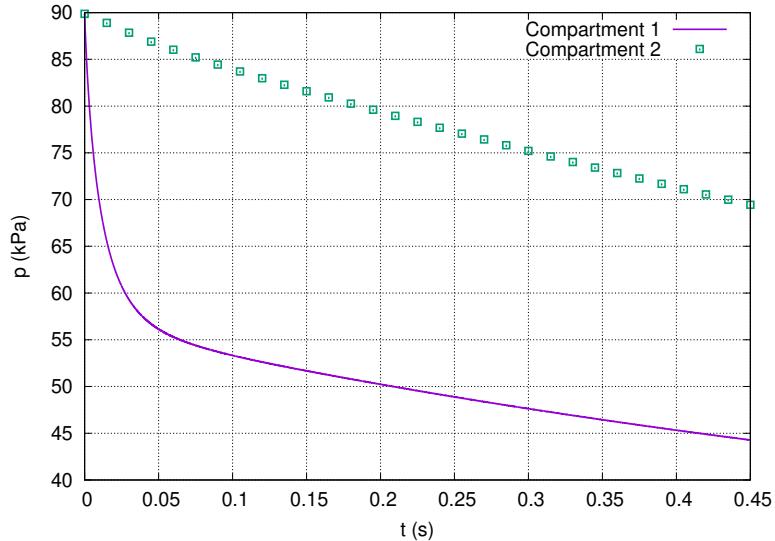


Figure 6: Pressioni di entrambe le camere nel tempo

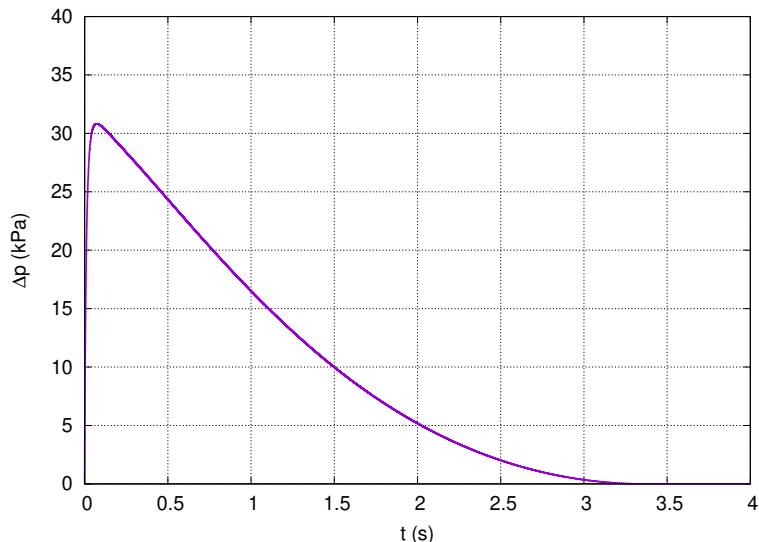


Figure 7: Gradiente di pressione tra le due camere

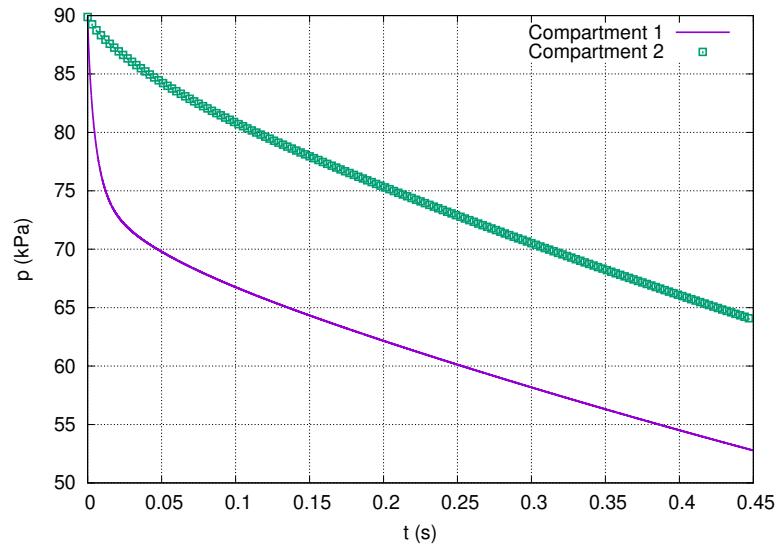


Figure 8: Pressioni di entrambe le camere nel tempo

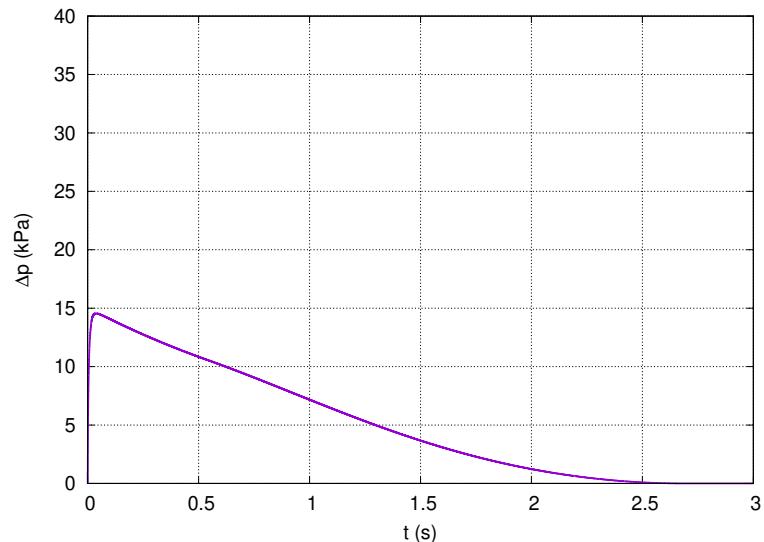


Figure 9: Gradiente di pressione tra le due camere

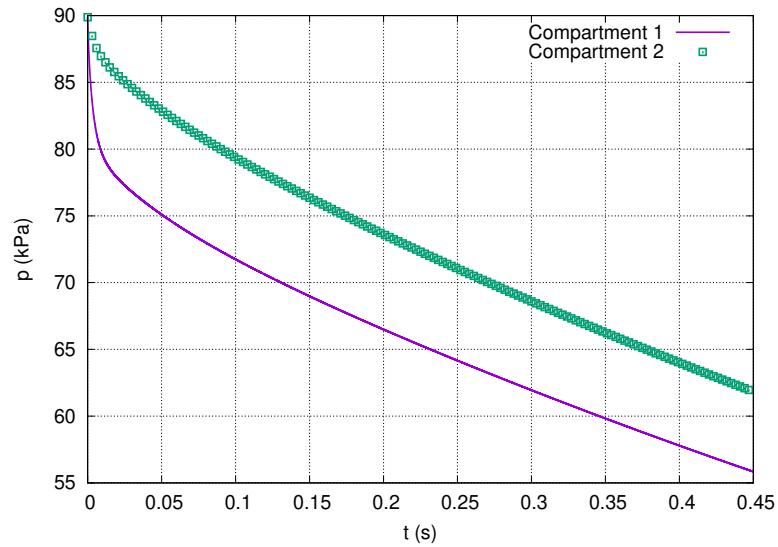


Figure 10: Pressioni di entrambe le camere nel tempo

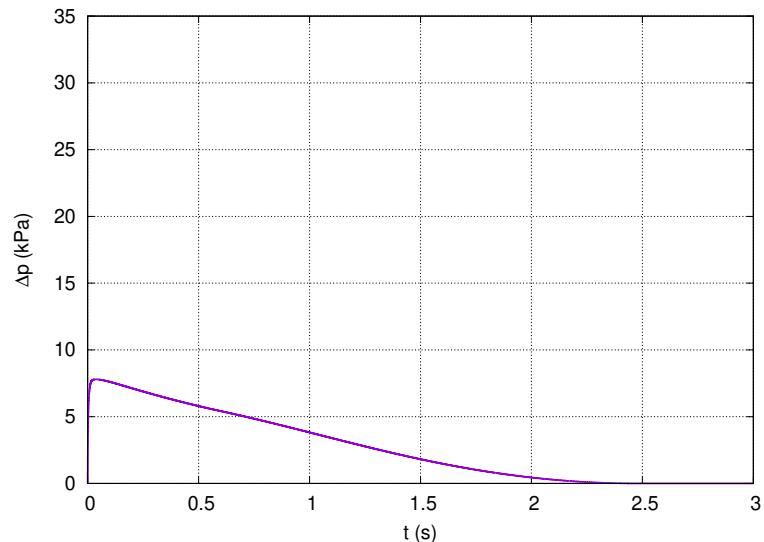


Figure 11: Gradiente di pressione tra le due camere

1.3 Esercizio 2

Viene presa in analisi la depressurizzazione dell'*UPM-Sat1* [2], in un tempo di 225 s.

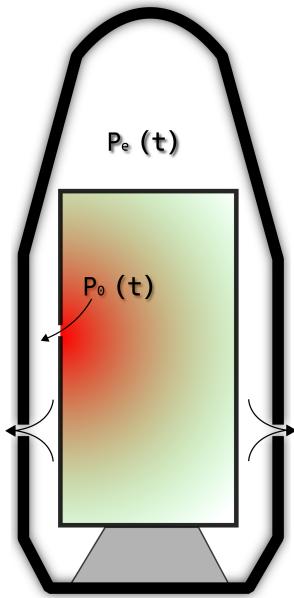


Figure 12: *UPM-Sat1* (Disegnato con *Inkscape* [4])

L'analisi é svolta assumendo un *coefficiente di efflusso* unitario, rispettando inoltre il modello fornito di depressurizzazione della camera esterna: la pressione inizialmente ha un determinato valore, che non puó piú essere considerato costante come nei casi precedenti, ma avrá un andamento esponenziale del tipo:

$$\frac{p_e}{p_i} = e^{-\left(\frac{t}{t_p}\right)^2} \quad (3)$$

Dove t_p é un tempo caratteristico, pari a 0.75 s in questo caso.

Infatti, mentre il volume esterno era assunto infinito per l'Esercizio 1 (1.2), va chiaramente considerato finito in questo caso, con la conseguenza che la pressione diminuisce.

Il volume dell'unica camera considerata é pari a 0.13 m^3 , mentre l'area che la separa dall'esterno é presa in tre valori test differenti, ossia:

$$24 \cdot [10^{-5} \text{ m}^2 \quad 10^{-6} \text{ m}^2 \quad 10^{-7} \text{ m}^2]$$

1.4 RISULTATI

Anche in questo caso, sempre tramite lo script in Fortran fornito a lezione, vengono calcolate le pressioni nel tempo e il gradiente di pressione Δp agente sulle pareti del satellite, plottando poi il tutto con *gnuplot*.

I plot sono ordinati a due a due, per ogni area considerata.

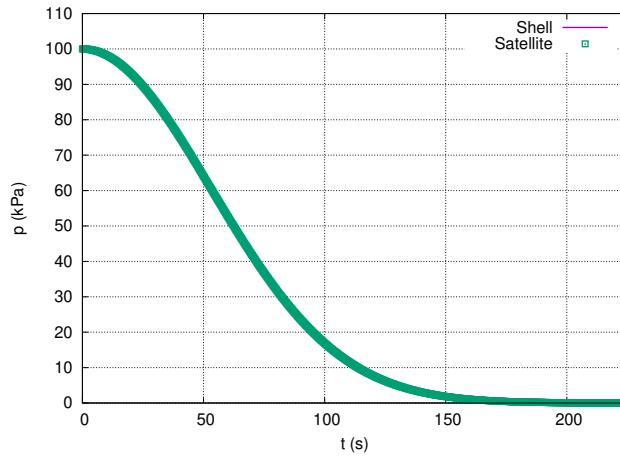


Figure 13: Andamento delle pressioni

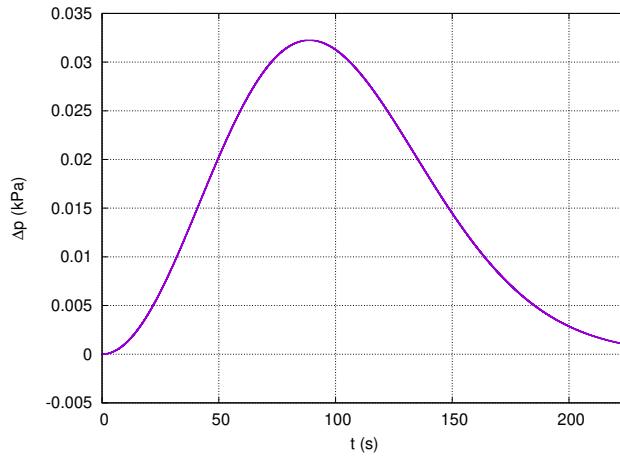


Figure 14: Andamento del gradiente di pressione

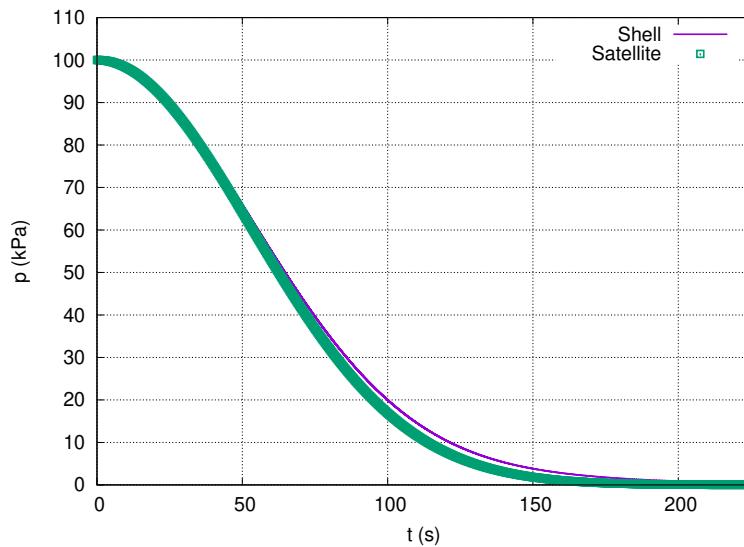


Figure 15: Andamento delle pressioni

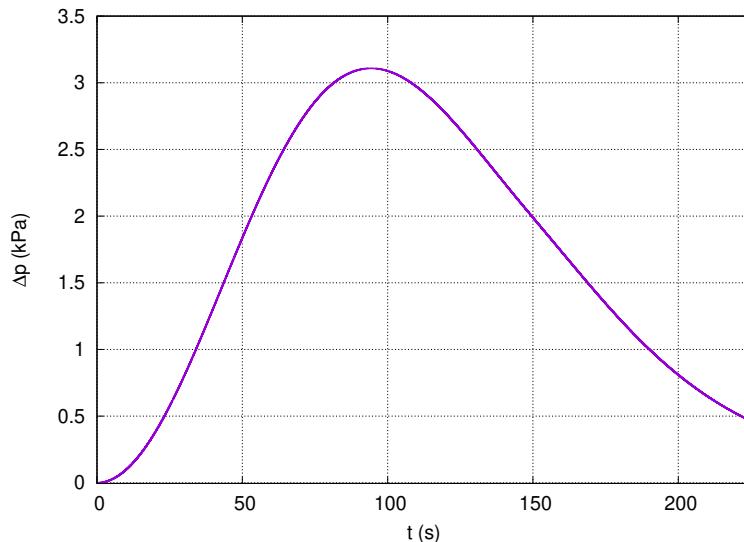


Figure 16: Andamento del gradiente di pressione

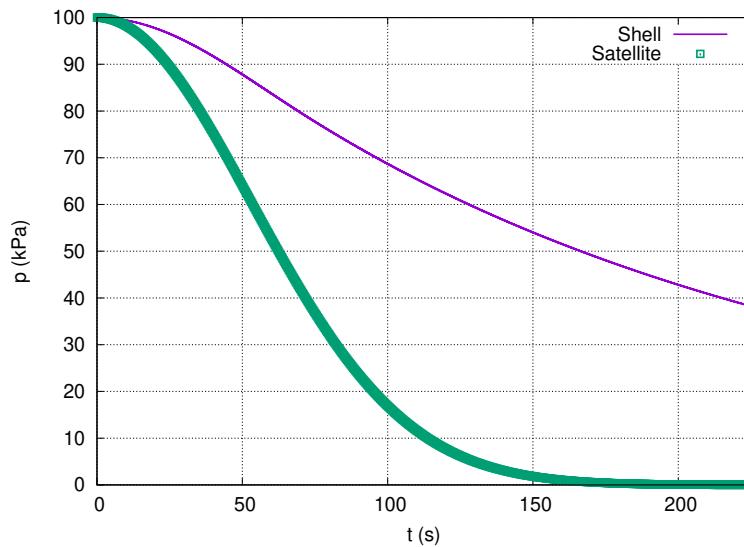


Figure 17: Andamento delle pressioni

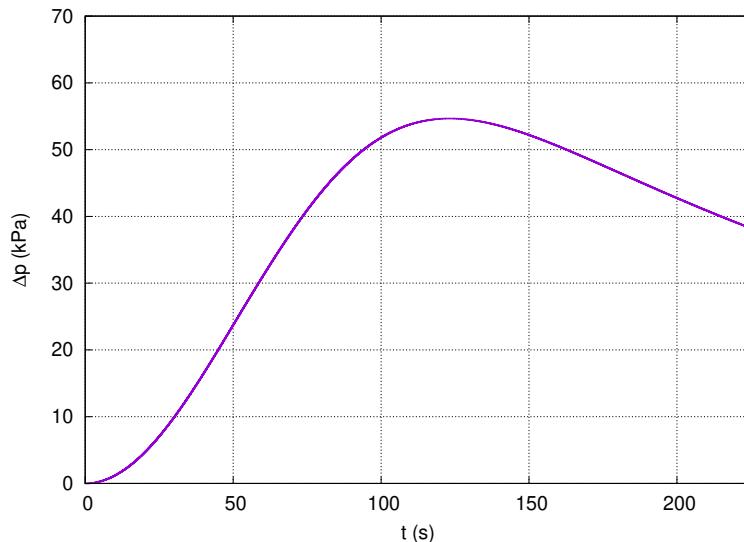


Figure 18: Andamento del gradiente di pressione

1.5 Riflessioni

Dal primo Esercizio (1.2), prendendo in analisi le prime due camere, si può immediatamente notare come, a parità di condizioni e di area comunicante tra i due volumi, il coefficiente di efflusso giochi un ruolo importante nel determinare l'andamento delle pressioni nelle due camere e, di conseguenza, il gradiente di pressione tra le due, a sua volta origine di carichi agenti sulla parete.

Sono stati considerati tre casi, ossia il caso limite di efflusso nullo, quello di efflusso totale ed un caso intermedio.

Nel caso di efflusso nullo (1.2.3), la pressione decresce vertiginosamente entro pochi istanti nella prima stanza, con un picco più elevato rispetto agli altri casi, dopodiché resta costante, mentre nella seconda camera si ha una decrescita lineare più lenta fino ad un picco più basso che negli altri casi.

Considerando un efflusso intermedio (1.2.3), si può già notare come la pressione nella prima camera decresca sì rapidamente, ma fino ad un valore di picco meno elevato, per poi stabilizzarsi brevemente e riprendere con una decrescita molto lenta, mentre nella seconda camera si ha una decrescita più rapida del caso precedente e fino ad un valore di picco più alto.

Il trend è ancora più evidente se si prende in considerazione un efflusso totale (1.2.3): la pressione della prima camera raggiunge un picco ancora più basso e tende a decrescere un po' più rapidamente dopo una breve stabilizzazione, ma comunque entro valori più bassi dei casi precedenti, mentre la seconda camera vede una decrescita di pressione ancora più rapida e fino ad un picco più alto.

Quindi, dato che il gradiente è semplicemente calcolato come il valore assoluto della differenza tra i due profili di pressione, si nota immediatamente che, all'aumentare del coefficiente di efflusso da 0 a 1, il suo valore massimo si minimizza e si ottiene anche una decrescita più rapida.

Da ciò si deduce che, avere un efflusso troppo basso (o, peggio ancora, nullo) tra cabina e altri compartimenti in presenza di una breccia verso l'ambiente esterno, genera dei carichi di sollecitazione più elevati, con possibili danni strutturali catastrofici.

Nel secondo Esercizio (1.3), il coefficiente di efflusso viene assunto unitario ed il focus è sull'area che separa i due ambienti studiati.

Nello specifico, vengono ancora una volta analizzate le pressioni tra le camere, al fine di studiarne l'andamento del gradiente di pressione, mettendo in risalto l'influenza che l'area di comunicazione può avere.

Il valore è ridotto, progressivamente nei tre casi, di un ordine di grandezza.

Nel primo caso in questione, i due profili di pressione sono pressappoco identici (si ricorda che il modello utilizzato è esponenziale (3)), per cui il gradiente ha un valore di picco molto basso (1.4).

Nel secondo caso l'area si riduce di un ordine di grandezza: i due profili di pressione cominciano a differenziarsi in maniera più evidente per la scala studiata, ed il gradiente assume, come logico aspettarsi, un andamento analogo al precedente ma con un massimo significativamente più elevato, di ben due ordini di grandezza per la precisione (1.4).

Nell'ultimo caso, l'area viene ulteriormente ridotta di un altro ordine di grandezza: stavolta gli andamenti delle pressioni si discostano sostanzialmente, con un decadimento molto più rapido per la seconda camera.

Di conseguenza, il gradiente risultante, pur mantenendo lo stesso tipo di andamento, è cresciuto ulteriormente di un ordine di grandezza (1.4).

Si può quindi intuire che, in una situazione di depressurizzazione, il ruolo dell'area di efflusso sia fondamentale nel tenere sotto controllo i carichi dovuti al gradiente di pressione: un'area troppo piccola potrebbe creare un gradiente eccessivamente alto e potenzialmente pericoloso per le strutture coinvolte.

2 Esercitazione 2

Testo blablabla

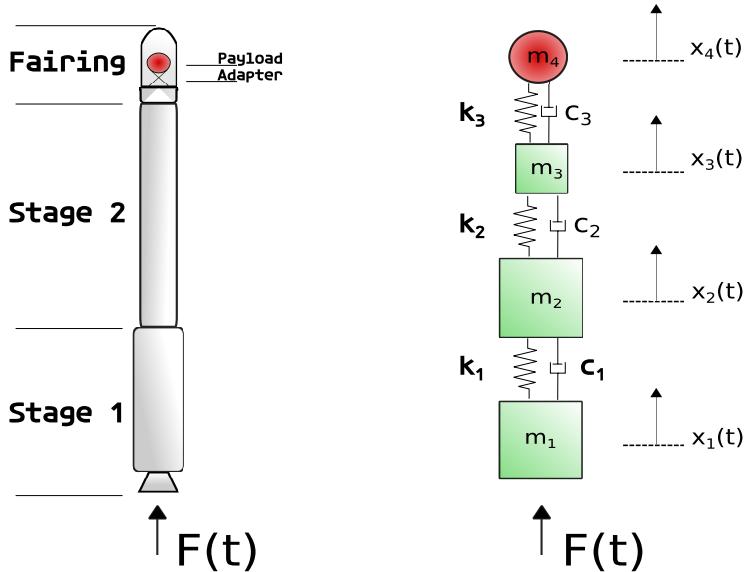
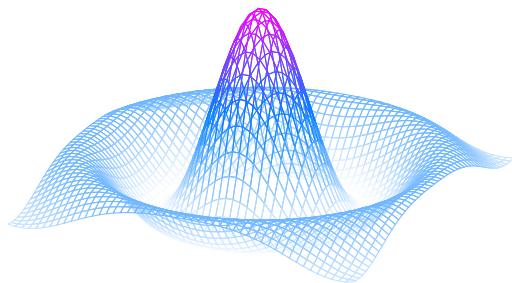


Figure 19: Lanciatore (Disegnato con *Inkscape* [4])

Exmple using the mesh parameter

$$\boxed{\text{mesh} \frac{\sin(r)}{r}}$$



References

- [1] *gnuplot*. <http://www.gnuplot.info/>. Accessed on 2020-15-11.
- [2] Universidad Politécnica de Madrid. *UPM-Sat*. <http://www.idr.upm.es/index.php/es/programas-de-satellites-upm-sat>. Accessed on 2020-20-11.
- [3] *MUL2*. <https://www.mul2.com>. Accessed on 2020-15-11.
- [4] The Inkscape Project. *Inkscape*. <https://inkscape.org/>.