



**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**

**Sezione di Genova**

---

**INFN/TC-05-01**  
**24 Gennaio 2005**

**ESPERIMENTO THALAS: RELAZIONE TECNICA PROGETTAZIONE  
MECCANICA PROTOTIPO BIOSUSCETTOMETRO**

S. Cuneo<sup>•</sup>, B. Gianesin, M. Marinelli, R. Puppo, G. Sobrero

*INFN-Sezione di Genova, Dip. Fisica Università di Genova, I-16143 Genova, Italy*

**Sintesi**

Il documento descrive i calcoli strutturali eseguiti a verifica della stabilità meccanica dell'apparato denominato "biosuscettometro", così come progettato per la realizzazione di un prototipo destinato all'applicazione su pazienti volontari presso l'Ospedale Galliera di Genova.

*Published by SIS-Pubblicazioni  
Laboratori Nazionali di Frascati*

---

<sup>•</sup> Corresponding author, e-mail: [stefano.cuneo@ge.infn.it](mailto:stefano.cuneo@ge.infn.it)

## 1. Descrizione dell'apparato

Il biosuscettometro é costituito da una struttura fissa ed ancorata al suolo, configurata con cavità per l'introduzione del paziente, movimentato a bordo di una lettiga mobile, all'interno della zona di misura, come descritto nelle tavole elencate più avanti. Si sottolinea il carattere prototipale e sperimentale dell'apparecchiatura.

### *1.1. Elenco tavole costruttive, organizzato gerarchicamente per assiemi e sottoassiemi*

SUS0030: Assieme Generale

SUS0022: Assieme suscettometro

SUS0023: Schermo termico anteriore

SUS0025: Pannello anteriore

SUS0026: Pannello laterale

SUS0027: Cornice

SUS0024: Schermo termico posteriore

SUS0028: Pannello di chiusura

SUS0009: Suscettometro – struttura portante strumentazione

SUS0010: Telaio incollato

SUS0012: Piastra chiusura

SUS0016: Base

SUS0017: Pannello laterale

SUS0018: Pannelli irrigidimento centrali

SUS0019: Pannello irrigidimento basso

SUS0011: Pannello chiusura posteriore

SUS0013: Supporto pick-up

SUS0014: Assieme magnete principale

SUS0020: Piastra

SUS0021: Interconnessione avvolgimenti

SUS0015: Perno

SUS0034: Assieme magnete secondario

SUS0040: Supporto magnete secondario

SUS0037: Distanziale pick-up

SUS0038: Assieme pick-up

SUS0039: Distanziale kapton

SUS0041: Spessori pick-up

SUS0032: Striscia Lubriflon

SUS0031: Assieme lettiga mobile

SUS0033: Assieme parti incollate lettiga

SUS0045: Traverse

SUS0049 Montanti

SUS0042: Assieme angolare di chiusura

SUS0043: Barella

SUS0044: Perno

SUS0046: Ruota

SUS0047: Boccola  
SUS0050: Dado M18  
SUS0056: Ancoraggio lettiga a rotaia  
SUS0057: Piastra bloccaggio cinghia dentata  
SUS0052: Assieme gruppo motore  
SUS0053: Puleggia Z42  
SUS0054: Supporto motore  
SUS0055: Assieme gruppo rinvio

### *1.2. Corpo principale*

Il corpo principale dell'apparecchiatura è costituito da una struttura fissa (disegni SUS0009÷SUS0021, SUS0034, SUS0037÷SUS0039), ancorata al suolo, destinata ad alloggiare i componenti del circuito di misura (magneti e pick-up). Tale struttura è circondata da uno schermo termico autoportante (disegni SUS0022÷SUS0028), soggetto cioè al solo peso proprio e strutturalmente indipendente dalla struttura fissa interna. Il suddetto schermo è dotato di una camicia per circolazione di acqua a bassissima pressione, ed è mobile su pattini per agevolare lo spostamento e quindi l'accesso agli organi interni. Il corpo principale è sagomato in modo da configurare due "cavità", in cui il paziente viene introdotto per le misure.

### *1.3. Lettiga mobile*

La movimentazione del paziente dentro e fuori le cavità del corpo principale viene realizzata alloggiando lo stesso sulla lettiga mobile (disegni SUS0030÷SUS0033 e SUS0042÷SUS0050). Essa è costituita da una struttura a portale, scorrevole su ruote lungo 2 rotaie ancorate al pavimento. Il paziente trova posto su una barella in composito, solidale con il portale stesso, di cui costituisce parte strutturale integrante. La movimentazione della lettiga può avvenire manualmente, a seguito di spinta da parte di operatori esterni, oppure, in un'evoluzione successiva (disegni SUS0033 e SUS0040 in rev. 01, SUS0052÷SUS0057), in quanto resa solidale ad una cinghia dentata, collocata nella parte alta ed azionata da un piccolo motore passo-passo controllato via software.

### *1.4. Operazioni*

Durante la vita dell'apparato, sono previste (e quindi consentite) le seguenti operazioni:

- Assemblaggio/smontaggio
- Salita/discesa paziente
- Movimentazione lettiga mobile
- Manutenzione

## 2. Specifiche: condizioni operative e limiti di applicazione

Trattandosi di un prototipo costruito per scopi sperimentali, le specifiche sono, ove possibile, generiche, in modo da lasciare alla progettazione l'individuazione del miglior compromesso tra budget disponibile e prestazioni.

### *2.1. Materiali*

Le peculiarità delle misure da eseguire vietano l'impiego di parti metalliche per gli organi che possono variare la propria posizione nello spazio relativamente ai magneti; parti metalliche non ferromagnetiche possono essere impiegate solo se fisse, comunque limitandone al minimo possibile la presenza.

### *2.2. Carichi*

Il biosuscettometro deve consentire l'alloggiamento, all'interno della struttura principale, di 2 magneti della massa complessiva, accessori inclusi, di circa 120 Kg.

L'apparato deve consentire la diagnostica su un paziente alla volta, avente massa corporea massima di 80 Kg.

Le strutture devono essere caratterizzate da alta stabilità e rigidità, in modo da garantire la costanza di geometria nel tempo e il rispetto dei ridotti spazi di accesso richiesti (vedi 2.4).

### *2.3. Movimentazione e velocità*

La movimentazione della lettiga mobile (con o senza paziente a bordo), sarà in una prima fase manuale, e motorizzata solo in un secondo tempo. Ferme restando l'adozione di tutte le misure di sicurezza necessarie a minimizzare i rischi e le conseguenze di incidenti sul paziente, la lettiga dovrà muoversi a velocità molto limitata, che si stima non superiore a 0.4 m/s. L'introduzione della motorizzazione comporterà l'adozione di ulteriori dispositivi di sicurezza: fine-corsa elettrici e meccanici, limitatori di coppia sul motore, sensori di prossimità localizzati sugli spigoli di ingresso del paziente nelle cavità.

### *2.4. Accessibilità*

Le strutture dovranno essere progettate in modo da ridurre al minimo praticamente raggiungibile la distanza tra il corpo del paziente e la struttura fissa.

La struttura fissa dovrà essere smontabile fino a consentire l'accesso per manutenzione a tutti gli organi interni.

La lettiga mobile dovrà consentire l'introduzione totale del corpo del paziente all'interno delle cavità di misura; si richiede la possibilità di accesso "non contemporaneo" a ciascuna delle due cavità previste sulla struttura fissa; la riconfigurazione della posizione della barella sulla lettiga, per consentire l'accesso alla cavità superiore od inferiore, dovrà avvenire senza il paziente a bordo.

## 3. Verifica strutturale

Visti i requisiti di stabilità e rigidità, il sistema è stato dimensionato a deformazione. Le sollecitazioni risultanti sono in generale estremamente basse, e di conseguenza i coefficienti di sicurezza risultano largamente sufficienti per tenere conto sia delle incertezze derivanti dal calcolo con formule approssimate [1] che di quelle legate alle proprietà dei materiali impiegati ed alla lavorazione degli stessi. E' prescritto inoltre un collaudo statico al carico nominale di esercizio prima dell'impiego sui pazienti.

### *3.1. Supporto magneti*

La struttura di supporto dei magneti non corre rischi di ribaltamento, in quanto deve essere ancorata al suolo con 4 viti su tasselli a espansione in presa sul pavimento della sala di installazione.

Le mensole superiore ed inferiore, che ospitano i pick-ups ed i piccoli magneti di correzione, sono soggette a carichi trascurabili.

La mensola centrale invece deve supportare, con deformazioni minime, il peso dei magneti principali, pari a 600 N ciascuno (disegno SUS0014). Assimiliamo la mensola ad una trave incastrata caricata con una forza (peso magneti + struttura) distribuita uniformemente

$$F = 1200 \text{ [N]}$$

La struttura è realizzata a partire da lastre di tela “bachelizzata” in resina fenolica, materiale noto con il nome commerciale di “Celeron” e caratterizzato dalle seguenti caratteristiche meccaniche “tipiche”:

$$\text{densità } \rho = 1420 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{modulo di Young } E = 6000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\text{tensione di rottura per flessione } \sigma_R = 80 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Trascurando l'effetto collaborante delle piastre che integrano i magneti, si sono considerati i “bracci” di supporto della mensola (disegno SUS0017) come travi incastrate aventi i seguenti parametri geometrici

$$L = 1100 \text{ [mm]}$$

$$A = 2160 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$J = 3732480 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$W = 51840 \text{ [mm}^3\text{]}$$

e soggetti ad un carico distribuito

$$p = 600/1100 = 0.55 \text{ [N/mm]}$$

che si traduce, nella sezione d'incastro, nelle seguenti azioni

$$M = p \times L^2/2 = 332750 \text{ [Nmm]}$$

$$T = 600 \text{ [N]}$$

vale a dire nelle seguenti tensioni

$$\sigma = M / W = 332750 / 51840 = 6.4 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = 3 \times T / 2 \times A = (3 \times 600) / (2 \times 2160) = 0.4 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Combinando le 2 tensioni con il criterio di Guest, si ottiene la seguente

$$\sigma_{eq} = (\sigma^2 + 4 \times \tau^2)^{0.5} = 6.5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

ed il coefficiente di sicurezza

$$i = 80 / 6.5 = 12.3$$

largamente sufficiente a garantire la resistenza dei bracci di supporto dei magneti. Si osserva che, per evitare fenomeni di concentrazione degli sforzi, sono stati previsti abbondanti raggi di raccordo (30 mm) con le pareti verticali.

### 3.2. Schermo termico

Lo schermo esterno è soggetto solo al peso proprio e dell'acqua che vi circola all'interno, e alla pressione dell'acqua stessa. Esso è realizzato con pannelli piani di fibra di vetro laminata in resina epossidica, opportunamente incollati tra di loro mediante l'interposizione di elementi spaziatori a creare l'intercapedine per la circolazione dell'acqua. Il dimensionamento è stato verificato a posteriori, con collaudo sotto carico (peso proprio e pressione acqua), che ha dato esito soddisfacente.

La resistenza dei giunti incollati impone però che la pressione di alimentazione dell'acqua non superi il valore cautelativo di 0.20 bar.

### 3.3. Lettiga mobile

#### 3.3.1. Colonne (disegno SUS0049)

Le 4 colonne portanti sono soggette flessione e a carico di punta. Il dimensionamento è stato verificato confrontandole, cautelativamente, con il primo carico critico secondo Eulero, ed assumendone metà lunghezza come lunghezza libera di calcolo.

Le colonne, di lunghezza totale

$$l_0 = 2700 \text{ [mm]}$$

sono realizzate in laminato di tessuto in fibra di vetro in resina epossidica, materiale per cui si attende un modulo elastico a compressione

$$E_c = 17000 \text{ [MPa]}$$

La sezione, a "C", di dimensioni 100 x 100 x 5 [mm], è caratterizzata da un momento di inerzia inferiore

$$J_{\min} = 1522983 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Ciascuna colonna risulta sollecitata con un carico di punta (barella + paziente + 1/4 struttura)

$$P = (14+80+75/4) \times 9.81 = 1106 \text{ [N]}$$

Il carico critico secondo Eulero è

$$P_c = \pi^2 \times E_c \times J_{\min} / (4 \times l_0^2/4) = 35052 \text{ [N]}$$

e il conseguente coefficiente di sicurezza è

$$i = P_c / P = 35052 / 1106 = 31.7$$

adeguato anche in considerazione delle incertezze sul calcolo e sui materiali.

Le colonne sono state verificate anche a flessione, assimilandole a travi a sbalzo soggette ad un'azione trasversale (bruschi movimenti laterali del paziente sulla lettiga). In tal senso, si è assunto che il paziente potesse imprimere al proprio corpo un'accelerazione orizzontale pari alla gravità, nella direzione più sfavorevole per quanto riguarda la rigidità delle strutture.

Essendo pertanto

$$F = 80 \times 9.81 = 785 \text{ [N]}$$

$$W = 30460 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$A = 1477 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$M = 785 \times 1250 = 981250 \text{ [Nmm]}$$

Si avrà quindi

$$\sigma = M / W = 981250 / 30460 = 32.2 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = 3 \times T / 2 \times A = (3 \times 785) / (2 \times 1477) = 0.8 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Combinando le 2 tensioni con il criterio di Guest, si ottiene la seguente

$$\sigma_{\text{eq}} = (\sigma^2 + 4 \times \tau^2)^{0.5} = 32.2 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Essendo le traverse realizzate in laminato di tessuto in fibra di vetro in resina epossidica, il valore tipico atteso per la tensione di rottura è pari a 600 [N/mm<sup>2</sup>] ed il coefficiente di sicurezza

$$i = 600 / 32.2 = 18.6$$

largamente sufficiente a garantire la resistenza delle traverse di sostegno della barella.

### 3.3.2. Perni (disegno SUS0044)

I perni di sostegno della barella sulla lettiga sono realizzati in Nylon caricato al 30% in fibra di vetro. Assumiamo cautelativamente il limite di rottura tipico del Nylon semplice, pari a 50 N/mm<sup>2</sup>.

Assumendo un carico di 80 Kg (paziente) + 14 Kg (barella), e considerando i 4 perni diametro 18 mm su cui grava la barella, questi risultano sollecitati, nella sezione più gravata, ad un taglio (vedi schema seguente)

$$T = (80+14) \times 9.81 / (4 \times 2) = 115 \text{ [N]}$$

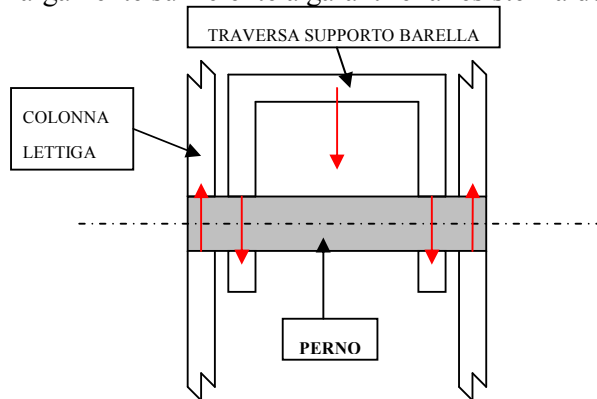
La tensione di taglio agente sulle suddette sezioni risulta quindi

$$\tau = 4 \times 115 / (3 \times \pi \times 18^2 / 4) = 0.61 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

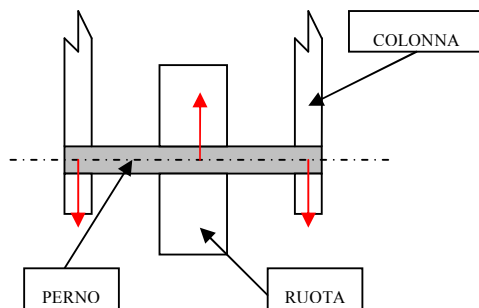
ed il coefficiente di sicurezza

$$i = 50 / 0.61 = 82$$

largamente sufficiente a garantire la resistenza dei perni di sostegno della barella.



I perni di supporto delle 4 ruote che consentono il movimento della lettiga lungo le rotaie sono anch'essi realizzati in Nylon caricato al 30% in fibra di vetro ed hanno diametro 18 mm e lunghezza 134 mm. Tali organi risultano sollecitati a taglio e flessione, secondo lo schema seguente (trave appoggiata agli estremi soggetta ad un carico applicato in mezzeria).



Su ciascuna delle 4 ruote grava il carico (barella + paziente + struttura)

$$F = (14 + 80 + 75) \times 9.81 / 4 = 415 \text{ [N]}$$

La reazione F produce sulla sezione di mezzzeria del perno le seguenti sollecitazioni di momento e taglio

$$M = 415 \times 134 / 4 = 13903 \text{ [N mm]}$$

$$T = 415 \text{ [N]}$$

La sezione del perno è caratterizzata dai seguenti parametri geometrici

$$W = \pi \times 18^3 / 32 = 573 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$A = \pi \times 18^2 / 4 = 255 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Le sollecitazioni di tensione normale e taglio risultano pertanto

$$\sigma = M / W = 13903 / 573 = 24.3 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = 4 \times T / 3 \times A = (415 \times 4) / (3 \times 255) = 2.2 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Combinando le 2 tensioni con il criterio di Guest si ottiene la seguente

$$\sigma_{eq} = (\sigma^2 + 4 \times \tau^2)^{0.5} = 24.7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

ed il coefficiente di sicurezza

$$i = 50 / 24.7 = 2.0$$

sufficiente a garantire la resistenza dei perni di sostegno delle ruote. Durante la movimentazione si attende, su una coppia di ruote, un aumento del carico a 488 N (vedi 3.3.5. più avanti), che comporta una riduzione del coefficiente di sicurezza a 1.7. comunque sufficiente.

### 3.3.3. Traverse (disegno SUS0045)

Le 2 traverse di sostegno della barella sono assimilabili a travi appoggiate alle estremità e caricate in mezzzeria con una forza (paziente + barella)

$$F = 9.81 \times (80 + 14) / 2 = 461 \text{ [N]}$$

Le traverse, di lunghezza pari a 1140 mm, sono caratterizzate da una sezione a “C” di dimensioni 100 x 100 x 5 mm, avente i seguenti parametri geometrici

$$W = 29916 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$A = 1418 \text{ [mm}^2\text{]}$$

La sezione più sollecitata si trova in corrispondenza del piano di mezzzeria della trave, dove sono applicate le seguenti azioni (memento e taglio)

$$M = 461 \times 1140 / 4 = 131385 \text{ [N mm]}$$

$$T = 461 \text{ [N]}$$

Le corrispondenti sollecitazioni massime sono

$$\sigma = M / W = 131385 / 29916 = 4.4 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = 3 \times T / 2 \times A = (3 \times 461) / (2 \times 1418) = 0.49 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Combinando le 2 tensioni con il criterio di Guest, si ottiene la seguente

$$\sigma_{eq} = (\sigma^2 + 4 \times \tau^2)^{0.5} = 4.5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Essendo le traverse realizzate in laminato di tessuto in fibra di vetro in resina epossidica, il valore tipico atteso per la tensione di rottura è pari a 600 [N/mm<sup>2</sup>] ed il coefficiente di sicurezza

$$i = 600 / 4.5 = 133$$

largamente sufficiente a garantire la resistenza delle traverse di sostegno della barella.



### 3.3.4. Barella (disegno SUS0043)

La barella è realizzata con una struttura a “sandwich” composta da pelli in fibra di vetro (laminati simmetrici a 8 strati unidirezionali 90/0/90/0/0/90/0/90 di fibre di vetro “E” in matrice di resina epossidica in proporzione 1:1 per uno spessore totale di pelle  $t_f = 1.6$  mm ) e da un’anima centrale in struttura a nido d’ape di Nomex Hexcel HRH-10 con celle da 1/8”, densità 144 Kg/m<sup>3</sup> e spessore  $t_c = 8$  mm, che consente di raggiungere un soddisfacente compromesso tra rigidità e leggerezza. Le caratteristiche tipiche attese dei materiali, così come le formule pratiche di calcolo semplificato sono tratti da [2]. In particolare, per l’anima in nido d’ape si sono considerati i seguenti valori delle caratteristiche strutturali:

$$E_c = \text{modulo di elasticità a compressione} = 600 \text{ [MPa]}$$

$$G_L = \text{modulo di elasticità tangenziale in direzione longitudinale} = 115 \text{ [MPa]}$$

$$G_W = \text{modulo di elasticità tangenziale in direzione trasversale} = 69 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{cr} = \text{tensione di rottura a compressione} = 15 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{crl} = \text{tensione di rottura a taglio in direzione longitudinale} = 3.5 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{crw} = \text{tensione di rottura a taglio in direzione trasversale} = 1.9 \text{ [MPa]}$$

Le proprietà delle pelli laminate sono state derivate dalla teoria della laminazione [3], ottenendo i seguenti valori delle caratteristiche strutturali:

$$E_x = E_y = \text{modulo di elasticità nel piano} = 23000 \text{ [MPa]}$$

$$G_{xy} = \text{modulo di elasticità tangenziale nel piano} = 3600 \text{ [MPa]}$$

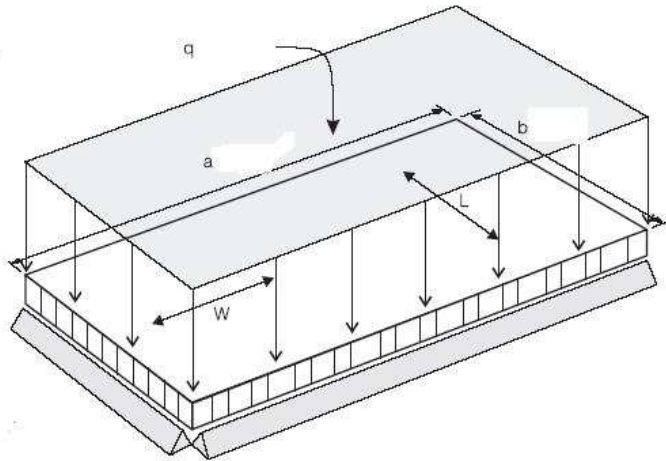
$$\nu_{xy} = \text{modulo di Poisson nel piano} = 0.099$$

Quale valore di confronto per le tensioni nelle pelli, si è considerato il valore minimo (compressione) tipico atteso tabulato in [2]

$$\sigma_c = \text{tensione di rottura a compressione} = 550 \text{ [MPa]}$$

La complessità della struttura, dotata di “ali” laterali per il contenimento del paziente e l’ottimizzazione del rapporto peso/deflessione, ha richiesto, per verificare correttamente l’entità della deflessione, l’esecuzione di calcoli agli elementi finiti. La simulazione ha calcolato una deflessione, nelle peggiori condizioni di carico (paziente seduto al centro della barella) pari a 2 mm, con valori di sollecitazione molto bassi.

Un altro calcolo di verifica è stato eseguito su una geometria cautelativamente semplificata (piano senza “ali” laterali di rinforzo, quindi meno rigido, appoggiato sul perimetro e soggetto ad un carico distribuito uniformemente, come nello schema di carico seguente)



applicando le formule pratiche consigliate in [2]

Si ritiene che la semplificazione adottata sia ragionevole e realistica, in quanto le “ali” di rinforzo sono assimilabili agli appoggi sui lati lunghi, mentre la distribuzione del carico, in analogia a quanto avviene nel calcolo delle travi, non dovrebbe influenzare i valori massimi delle sollecitazioni.

Considerando la porzione di barella compresa tra le traverse di supporto della struttura della lettiga mobile, si hanno le seguenti dimensioni del piano sollecitato

$$a = 1140 \text{ [mm]}$$

$$b = 600 \text{ [mm]}$$

ed un rapporto tra le due dimensioni

$$b / a = 0.53$$

Il piano risulta soggetto ad un carico distribuito equivalente

$$q = (14 + 80) \times 9.81 / (a \times b) = 1.35e-3 \text{ [MPa]}$$

L’anima in nido d’ape è caratterizzata dal rapporto

$$R = G_L / G_W = 115 / 69 = 1.67$$

e dal parametro

$$h = t_c + t_f = 1.6 + 8.4 = 9.6 \text{ [mm]}$$

Seguendo le istruzioni espote in [2], si calcola il parametro

$$V = \pi^2 \times E_x \times t_f \times h / [2 \times b^2 \times G_W \times (1 - \nu_{xy}^2)] = 6.2e-5$$

Entrando con il valore di V (approssimato a 0) nei grafici delle figure 1, 2 e 3 riportate in [2], si ottengono i seguenti valori per i parametri dimensionali di calcolo (cautelativamente approssimati per eccesso):

$$K_1 = 0.01$$

$$K_2 = 0.105$$

$$K_3 = 0.45$$

Si calcola quindi la deflessione secondo [2]

$$\delta = 2 \times K_1 \times q \times b^4 \times (1 - \nu_{xy}^2) / (E_x \times t_f \times h^2) = 1.3 \text{ [mm]}$$

che risulta prossima al valore stimato con la simulazione agli elementi finiti.

Si calcola poi la tensione normale nelle pelli (“facing stress”) secondo [2]

$$\sigma_f = K_2 \times q \times b^2 / (h \times t_f) = 3.19 \text{ [MPa]}$$

ed il corrispondente coefficiente di sicurezza

$$i = \sigma_c / \sigma_c = 550 / 3.19 = 172$$

Si calcola infine la tensione di taglio nell'anima in honeycomb secondo [2]

$$\tau_c = K_3 \times q \times b / h = 0.036 \text{ [MPa]}$$

ed il corrispondente coefficiente di sicurezza

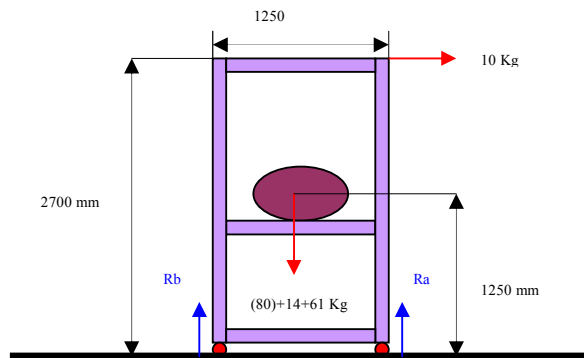
$$i = \tau_{crw} / \tau_c = 1.9 / 0.036 = 53$$

Si osserva infine che la pressione distribuita  $q$  è inferiore di diversi ordini di grandezza rispetto al valore limite di rottura dell'anima in honeycomb, pari a 15 MPa

L'entità dei coefficienti di sicurezza stimati giustifica a posteriori l'approssimazione introdotta nei calcoli.

### 3.3.5. Equilibrio statico (disegno SUS0031)

La struttura della lettiga mobile deve prevenire il rischio di ribaltamento in tutte le condizioni di funzionamento.



In particolare, si vuole verificare la stabilità durante la traslazione servoassistita (vedi schema precedente). Misure effettuate sulla struttura hanno evidenziato che la forza necessaria ad assicurare la traslazione alla velocità richiesta è di circa 100 N.

Si stima inoltre la massa dell'intera struttura in circa 75 Kg (barella + lettiga). Trascuriamo cautelativamente il peso del paziente, che avrebbe un effetto stabilizzante, e consideriamo il movimento della lettiga "a vuoto".

L'equilibrio nel piano, ad accelerazione orizzontale trascurabile comporta le seguenti equazioni

$$R_a + R_b = 736 \text{ [N]} \text{ (equilibrio verticale)}$$

$$R_b \times 1250 = 736 \times 625 - 100 \times 2700 \text{ [N mm]} \text{ (equilibrio rotazionale)}$$

Si ottiene quindi

$$R_a = 584 \text{ [N]}$$

$$R_b = 152 \text{ [N]}$$

Essendo entrambe le reazioni positive, esse sono concordi con i versi ipotizzati nello schema di calcolo. Pertanto si osserva che la condizione limite per il ribaltamento ( $R_b = 0$ ) non si raggiunge.

La presenza del paziente comporterebbe per le 2 reazioni i seguenti valori

$$R_a = 977 \text{ [N]}$$

$$R_b = 544 \text{ [N]}$$

da cui si conferma che la massa addizionale ha un effetto stabilizzante sulla struttura.

Il ribaltamento potrebbe però verificarsi a seguito di movimenti bruschi ed improvvisi del paziente, e durante le operazioni di salita e di discesa dello stesso. Sono stati pertanto previsti dispositivi di aggancio alle rotaie (disegno SUS0056) che consentano a queste di trasmettere alla lettiga anche reazioni vincolari verticali rivolte verso il basso. Si prescrive inoltre che:

- Il paziente venga aiutato a salire e scendere dalla barella da personale opportunamente addestrato;
- Venga predisposta un'adeguata scaletta mobile di accesso per facilitare al paziente la salita sulla barella;
- La salita e la discesa avvenga solo frontalmente, vale a dire dall'area compresa fra le due rotaie;
- Il paziente venga immobilizzato sulla barella, in modo da contenerne imprevedibili movimenti bruschi.

#### 4. Riferimenti bibliografici

[1] “Manuale del costruttore meccanico”, Malavasi, Hoepli,

[2] “HexWeb Honeycomb sandwich design technology”, Hexcel Composites publication n° AGU 075b, December 2000

[3] “Tecnologie dei materiali compositi”, editoriale ESA, 1991