

# Progettare Involucri di Forma Libera: (4) - Problemi Applicativi

Davide Tonelli

Maggio 2013

Per dare una rappresentazione concreta ai concetti esposti nei tre articoli precedenti, sviluppiamo il caso studio riportato in Figura 1. In prima istanza si richiede di computare una superficie (evidentemente complessa) che rispetti i vincoli riportati in Figura 1(a), ovvero che abbia:

- le curve in nero come contorno;
- altezza massima pari ad  $h$  metri in corrispondenza del punto centrale.

Successivamente si richiede inoltre che la superficie ottenuta venga pannellizzata secondo il pattern a “Paglia di Vienna” riportato in Figura 1(b).

**Generazione della Forma** Così posto il problema è sottovincolato, ovvero presenta più di una soluzione. Le condizioni poste non sono sufficienti a definire la superficie in modo univoco, e difatti esistono infinite superfici rispettose dei contorni e passanti per un punto predefinito: questa condizione di parziale indeterminazione semplifica notevolmente la soluzione del problema.

Con gli strumenti attuali si può sostanzialmente procedere in due modi: disegnare più superfici semplici parziali e raccordarle, oppure disegnare alcune curve intermedie e generare una superficie che interpoli queste curve e quelle di contorno. Il secondo approccio pare il più adeguato (anche se la scelta è ampiamente soggettiva), perciò nel seguito si riportano i risultati ottenuti con questa procedura.

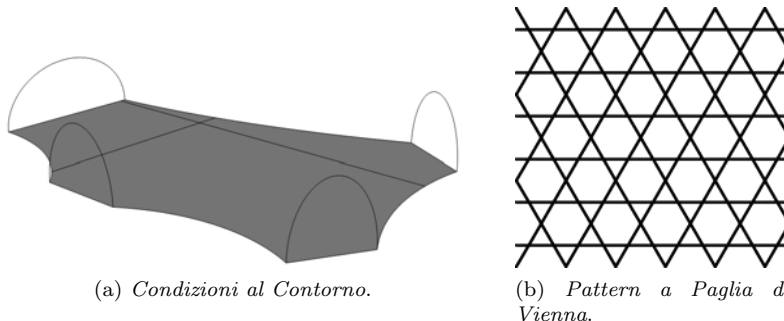


Figura 1: Caso Studio di Involucro a Forma Libera - Posizione del Problema.

Innanzitutto si procede a disegnare le quattro curve intermedie passanti rispettivamente per il vertice di una apertura sul contorno, per il punto centrale a quota  $h$  e per un punto della curva di contorno opposta all'apertura in esame (Figura 2). A questo punto si può creare direttamente la superficie selezionando sia le quattro curve appena create che quelle di contorno, ed applicando il comando "Patch" (in Rhinoceros<sup>©</sup> [1]) (Figura 3(a)).

Come detto in precedenza però, il problema così posto è sottovincolato e difatti, modificando leggermente i valori dei parametri del comando *patch* riportati in Figura 3(b), si ottengono ulteriori superfici come quelle mostrate in Figura 4.

Quel che risulta evidente dall'analisi delle Figure 3 e 4 è che innanzitutto il risultato raggiunto non è in alcun caso ottimale, ma soprattutto che c'è una *pressochè totale mancanza di controllo sul processo di definizione della forma*. Il comando *patch* non è molto versatile, ed inoltre il risultato resta profondamente influenzato dalla scelta delle 4 curve intermedie iniziali (vedi Figura 2), disegnate di fatto con larga arbitrarietà.

Se il problema fosse stato più vincolato lo spazio delle soluzioni sarebbe stato senz'altro più ristretto, ma al contempo, probabilmente, con lo strumento "patch" non saremmo riusciti a trovare neppure una superficie calzante. Dunque questo semplice esempio assieme a queste banali considerazioni rimarcano e confermano quanto affermato nei precedenti articoli, ovvero che attualmen-

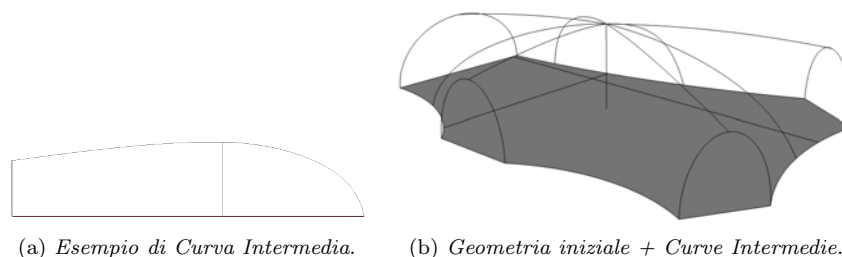


Figura 2: Disegno delle Curve Intermedie della Superficie.

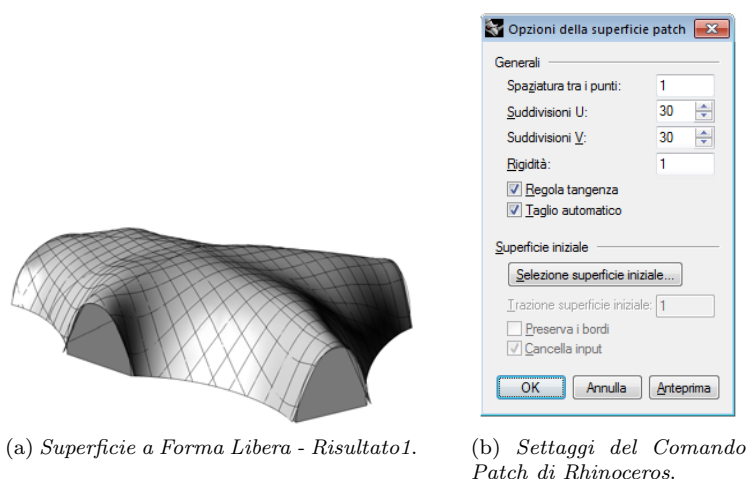
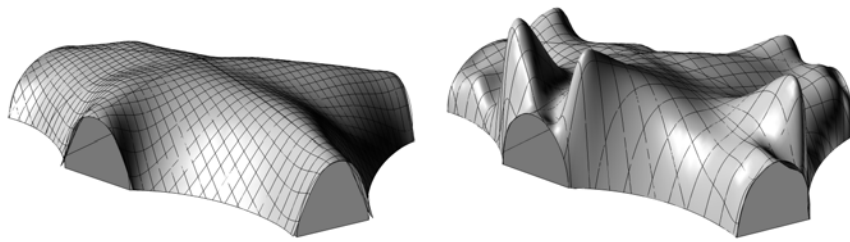


Figura 3: Risultato del Progetto della Superficie a Forma Libera.



(a) *Superficie a Forma Libera - Risultato2* (rigidità:5, suddivisioni:50). (b) *Superficie a Forma Libera - Risultato3* (rigidità:0.1, suddivisioni:30).

Figura 4: Ulteriori Risultati del Progetto della Superficie a Forma Libera.

te mancano degli strumenti idonei per il progetto delle superfici a forma libera. Strumenti capaci di individuare una soluzione a problemi geometrici anche complessi, e che al contempo permettano di implementare tutta una serie di vincoli (di natura geometrica) pregni di conseguenze e di ricadute sostanziali sulla struttura portante, sul processo di pannellizzazione e sulla fase realizzativa in genere, quali ad esempio:

- valori estremi delle curvature principali;
- valori limite del volume racchiuso;
- pseudo funicularità della superficie etc...

Attualmente esistono softwares in grado di dare risposta ad alcuni dei succitati argomenti presi singolarmente<sup>1</sup>, ma non c'è alcun software commerciale capace di generare un risultato che tenga conto di tutti i suddetti aspetti contemporaneamente. A conferma di quanto appena affermato si veda la superficie di Figura 5, ottenuta con il plug-in per Rhinoceros<sup>©</sup> *SMARTForm*: la superficie è funicolare, ma non garantisce nessun'altra prescrizione - neppure quella inderogabile del rispetto delle curve di contorno.

Applicando invece le tecniche proprie del *surface smoothing*, e dunque gli strumenti del calcolo variazionale discreto e dell'ottimizzazione vincolata, l'implementazione simultanea di più condizioni è possibile ed il problema si riduce sostanzialmente alla risoluzione di un sistema di equazioni lineari.

<sup>1</sup>Vedi il plug-in per Rhinoceros<sup>©</sup> *Evolute Tool* [2] per quanto riguarda gli aspetti geometrici, ed il plug-in *SMARTForm* [3] per gli aspetti statici.

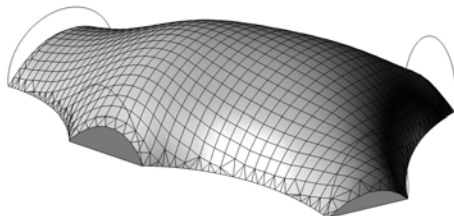
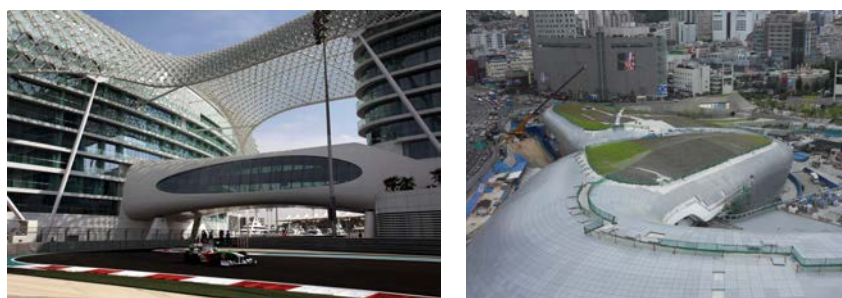


Figura 5: Superficie Funicolare, non rispettosa delle condizioni al contorno iniziali.

**Pannellizzazione della Superficie** Tra i softwares commerciali attualmente adoperati per la pannellizzazione di superfici complesse, uno dei più potenti è senz'altro il plug-in per Rhinoceros<sup>©</sup> *Evolvate Tool* [2]. Sfruttando le piene potenzialità di questo strumento<sup>2</sup> si possono raggiungere risultati eccellenti (Figura 6).

Esso implementa un numero discreto, seppur limitato, di *patterns*: triangolare, quadrilatero, esagonale (per il quale attualmente c'è un supporto limitato) ed

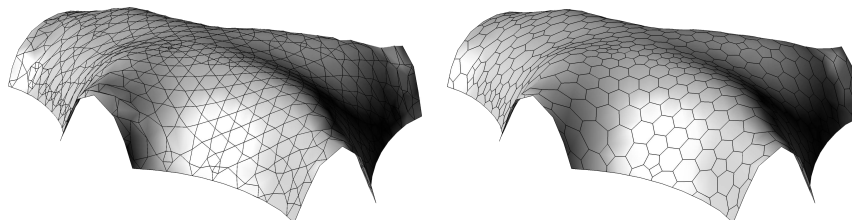
<sup>2</sup>Che implementa i risultati del nutrito filone di ricerca portata avanti al T.U. di Vienna, sotto il coordinamento del Prof. Helmut Pottmann.



(a) Copertura “Free Form” dello Yas Marina Hotel - Abu Dhabi.

(b) Involucro del nuovo edificio in Piazza Dongdaemum - Seoul.

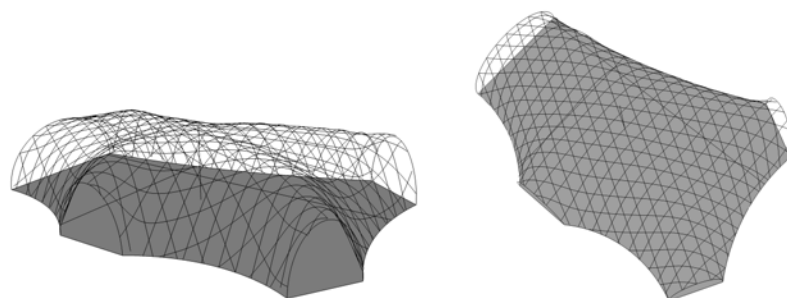
Figura 6: Esempi eccellenti di pannellizzazione realizzati con *Evolvate Tool* [2].



(a) Pattern a Paglia di Vienna.

(b) Pattern Esagonale.

Figura 7: Pannellizzazione della Superficie di Figura 3 con *Evolvate Tool* [2].



(a) Pannellizzazione con Pattern a Paglia di Vienna, vista 1.

(b) Pannellizzazione con Pattern a Paglia di Vienna, vista 2.

Figura 8: Pannellizzazione della Superficie di Figura 3 con il Comando “Proietta” (in Rhinoceros<sup>©</sup> [1]).

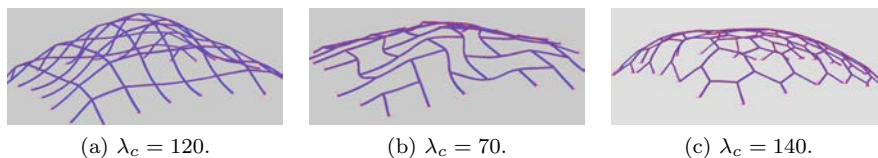


Figura 9: Risultati dell'Analisi FEM di Confronto tra Pattern.

alcuni tipi misti tra cui anche quello di Figura 1(b). É dunque possibile pannellizzare la superficie di Figura 3 con il pattern a *Paglia di Vienna*: il risultato della procedura è mostrato in Figura 7. Si notano a colpo d'occhio la variabilità dimensionale e la forte distorsione dei pannelli, particolarmente sensibili nel caso (a), che sebbene siano in parte imputabili ad una scarsa accuratezza nel processo di discretizzazione, denunciano quantomeno una ridotta versatilità dello strumento. Tant'è vero che la qualità della pannellizzazione di Figura 7(a) non è superiore a quella che si ottiene applicando il semplice comando “*Proietta*” (in Rhinoceros<sup>©</sup> [1]). La Figura 8 riporta appunto il risultato della proiezione del pattern planare di Figura 1(b) sulla superficie di Figura 3.

**Sviluppi Futuri** É proprio per la carenza di software specialistico dedicato alla progettazione degli involucri a forma libera che il *G.R.I.F.F.*<sup>3</sup> dell'Università di Pisa, fondato e coordinato da Maurizio Froli, lavora allo sviluppo di nuovi strumenti di progetto.

Si stanno sperimentando applicazioni di pattern di suddivisione innovativi - in primis quello esagonale, e nuove varianti a quelli esistenti - modificandone i parametri di densità, orientazione ed allineamento delle facce, in ragione di considerazioni statiche e di fattibilità in genere. Ad esempio attraverso analisi FEM sono stati confrontati tre patterns di suddivisione: quadrilatera regolare, “a spina di pesce con T-Joints” ed esagonale regolare. I risultati hanno evidenziato alcuni punti di forza del *pattern esagonale*: tra questi senz'altro un *maggior moltiplicatore di collasso* per instabilità ed un *comportamento resistente totalmente tridimensionale* in cui non sono presenti vie di carico preferenziali (Figura 9).

La speranza è quella di poter disporre nell'immediato futuro di uno strumento completo ed intuitivo, che compendi la gran parte dei contenuti esposti in questo articolo e nei precedenti.

## Riferimenti bibliografici

- [1] Robert McNeel & Associates. “NURBS Modeler for Windows - Rhinoceros”.
- [2] Evolute GmbH. “Evolute Plugin for Rhinoceros”.
- [3] SMART Solutions Network. “SMARTForm Plugin for Rhinoceros”.

---

<sup>3</sup>G.R.I.F.F. - Gruppo di Ricerca sulle Free Forms. <http://www2.ing.unipi.it/griff/>