



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	102007901535108
Data Deposito	25/06/2007
Data Pubblicazione	25/12/2008

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	16	N		

Titolo

METODO PER RIDURRE L'ATTRITO VISCOSO TRA UN FLUIDO ED UN OGGETTO.

DESCRIZIONE

Della Domanda di Brevetto per Invenzione Industriale dal Titolo:

"Metodo per ridurre l'attrito viscoso tra un fluido ed un oggetto"

a nome : *POLITECNICO DI MILANO e UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
SALERNO*

inventori : QUADRIO Maurizio, LUCHINI Paolo

* * * * *

La presente invenzione riguarda un metodo per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido ed un oggetto, in particolare in caso di attrito viscoso turbolento. La presente invenzione riguarda anche un oggetto comprendente una superficie esterna configurata per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido e l'oggetto, in particolare in caso di attrito viscoso turbolento.

Come è noto, quando un oggetto è a contatto con un fluido e quando l'oggetto ed il fluido si muovono l'uno rispetto all'altro, si produce una forza di attrito (chiamata in genere "attrito viscoso") dovuta all'interazione tra la superficie dell'oggetto a contatto con il fluido e le molecole del fluido. Tale forza d'attrito tende a ridurre la velocità del moto relativo tra oggetto e fluido.

Questa situazione si verifica sia nel caso in cui un oggetto si muove a contatto con un fluido sostanzialmente fermo (come ad esempio nel caso di un aereo, di un'automobile o di una nave in movimento), sia nel caso in cui il fluido si muove rispetto all'oggetto sostanzialmente fermo (come ad esempio nel caso di un oleodotto, di un acquedotto, etc., in cui il fluido scorre all'interno di tubi).

Nella tecnica è noto di ridurre l'attrito viscoso, in particolare nel caso di

flusso turbolento, prevedendo una pluralità di sporgenze opportunamente sagomate ed opportunamente distribuite su una o più zone della superficie dell'oggetto a contatto con il fluido.

US 5,971,326 descrive una superficie per una parete sottoposta ad un flusso turbolento avente una direzione principale, in cui la superficie presenta delle protuberanze allungate nella direzione principale (chiamate "riblet") e tra loro equispaziate nella direzione perpendicolare alla direzione principale del flusso. Le protuberanze servono a ridurre lo scambio turbolento di momento tra il flusso e la parete in corrispondenza della superficie. In questo modo, è possibile ottenere una riduzione dell'attrito del 7% rispetto ad una superficie liscia.

US 5,595,205 descrive di controllare una turbolenza tramite un sistema con protuberanze a forma di "delta" posizionate in direzione trasversale rispetto alla direzione del flusso.

US 6,345,791 descrive una serie di protuberanze che si estendono longitudinalmente su una superficie aerodinamica liscia (ossia delle riblet) aventi una sezione trasversale triangolare. La cresta di ciascuna protuberanza ha altezza variabile nella direzione longitudinale. L'interazione delle protuberanze con la struttura dello strato turbolento del flusso riduce il coefficiente di attrito viscoso della superficie di circa il 12% rispetto ad una superficie liscia senza protuberanze.

I presenti inventori hanno osservato che le soluzioni note di cui sopra svantaggiosamente non sono particolarmente efficienti nel ridurre l'attrito viscoso.

Infatti, le soluzioni note di cui sopra consentono di raggiungere una

riduzione dell'attrito viscoso pari al massimo al 12% (nel caso di US 6,345,791) in condizioni ideali. Tuttavia, in condizioni reali la geometria delle protuberanze può essere perturbata dalla presenza di impurità (ad esempio polvere) sulla superficie. Questo fa sì che l'effettiva riduzione di attrito viscoso in condizioni reali sia molto minore della riduzione calcolata in condizioni ideali. In alcuni casi, la riduzione effettiva di attrito viscoso in condizioni reali può essere così bassa (ad esempio, 1-2% nel caso di un aereo) che, se si considera il costo della realizzazione della superficie con protuberanze, l'implementazione di queste soluzioni non è per nulla conveniente.

Pertanto, i presenti inventori hanno affrontato il problema di fornire un metodo per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido ed un oggetto, in particolare nel caso di attrito turbolento, che consenta di risolvere questo inconveniente.

In particolare, i presenti inventori hanno affrontato il problema di fornire un metodo per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido ed un oggetto, in particolare nel caso di attrito turbolento, che consenta di ottenere una riduzione dell'attrito viscoso considerevolmente maggiore rispetto alle soluzioni note, in modo che l'effettiva riduzione di attrito in condizioni reali sia abbastanza elevata da rendere vantaggioso l'utilizzo del metodo.

Secondo un primo aspetto, la presente invenzione fornisce un metodo per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido ed un oggetto, in cui l'oggetto ha una superficie esterna a contatto con uno strato del fluido, la superficie esterna avendo un piano di base. Il metodo

comprende le seguenti fasi: fornire sulla superficie esterna una pluralità di protuberanze sporgenti rispetto al piano di base; e conferire allo strato di fluido, tramite la pluralità di protuberanze, un andamento secondo una traiettoria periodica parallela al piano di base.

Preferibilmente, la traiettoria periodica è un'onda sinusoidale, oppure un'onda triangolare, oppure un'onda quadrata.

La traiettoria periodica ha lunghezza d'onda preferibilmente compresa tra 500 e 2000 unità viscosi, più preferibilmente uguale a 1250 unità viscosi.

Inoltre, preferibilmente, la traiettoria periodica ha ampiezza compresa tra 100 e 500 unità viscosi.

Secondo prime forme di realizzazione, la fase di fornire comprende una fase di fornire sulla superficie esterna la pluralità di protuberanze che si prolungano in una direzione longitudinale del flusso, ciascuna della pluralità di protuberanze avendo una cresta che segue la traiettoria periodica. Secondo queste prime forme di realizzazione, preferibilmente, la fase di fornire comprende una fase di fornire sulla superficie esterna la pluralità di protuberanze parallele tra loro ed equidistanti in una direzione trasversale perpendicolare alla direzione longitudinale. Inoltre, secondo queste prime forme di realizzazione, preferibilmente, la fase di fornire comprende una fase di fornire sulla superficie esterna la pluralità di protuberanze aventi sezione trasversale costante lungo la direzione longitudinale.

Secondo seconde forme di realizzazione, la fase di fornire comprende una fase di fornire sulla superficie esterna la pluralità di protuberanze allineate lungo una direzione trasversale perpendicolare rispetto ad una direzione longitudinale del flusso e disposte secondo la traiettoria periodica lungo la

direzione longitudinale. Secondo queste seconde forme di realizzazione, preferibilmente, la fase di fornire comprende una fase di fornire sulla superficie esterna la pluralità di protuberanze, ciascuna della pluralità di protuberanze avendo forma di un cuneo con base a forma di triangolo, il triangolo avendo un vertice rivolto nel verso opposto a quello in cui scorre il flusso. Inoltre, secondo queste seconde forme di realizzazione, preferibilmente, la fase di fornire comprende una fase di fornire sulla superficie esterna la pluralità di protuberanze, ciascuna della pluralità di protuberanze avendo altezza sostanzialmente nulla in corrispondenza del vertice.

Secondo un secondo aspetto, la presente invenzione fornisce un oggetto comprendente una superficie esterna configurata per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido e l'oggetto, in cui la superficie esterna ha un piano di base, il fluido avendo uno strato a contatto con la superficie esterna. L'oggetto è caratterizzato dal fatto che la superficie esterna comprende una pluralità di protuberanze conformate per conferire allo strato di fluido un andamento secondo una traiettoria periodica parallela al piano di base.

La presente invenzione diverrà più chiara dalla descrizione che segue, fornita a titolo puramente esemplificativo e non limitativo, da leggersi con riferimento ai disegni acclusi in cui:

- la Figura 1a è una vista schematica in pianta dall'alto di una porzione di una superficie di un oggetto secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione;
- la Figura 1b è una vista in sezione trasversale eseguita attraverso il piano

a-a indicato in Figura 1a;

- la Figura 2a è una vista schematica in pianta dall'alto di una porzione di una superficie di un oggetto secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione;
- la Figura 2b è una vista in sezione trasversale attraverso il piano b-b indicato in Figura 2a; e
- la Figura 3 è un grafico della riduzione di attrito percentuale in funzione della lunghezza d'onda di oscillazione.

Nelle Figure 1a, 1b, 2a e 2b è mostrata una terna di assi cartesiani le cui direzioni ortogonali sono indicate con x, y e z. In particolare, la direzione x coincide con la direzione principale del flusso (indicato con la freccia F nelle Figure 1a e 2a) e verrà quindi chiamata "direzione longitudinale". La direzione y è la direzione perpendicolare al piano della superficie, e verrà quindi chiamata "direzione normale". Infine, la direzione z perpendicolare alla direzione longitudinale x ed parallela al piano della superficie verrà chiamata "direzione trasversale".

La varie Figure non sono in scala.

Con riferimento alle Figure 1a e 1b, verrà ora descritta in dettaglio una superficie secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione.

Come mostrato nelle Figure 1a e 1b, secondo questa prima forma di realizzazione la superficie presenta un piano di base B parallelo alle direzioni x e z. Dal piano di base B sporgono una pluralità di protuberanze che si prolungano in direzione longitudinale x preferibilmente parallele tra loro e preferibilmente equidistanti nella direzione trasversale z. Nelle Figure 1a e

1b, sono mostrate quattro sole protuberanze r_1 , r_2 , r_3 ed r_4 .

Nel seguito, sarà descritta in dettaglio la struttura della sola protuberanza r_2 . Tuttavia, tutte le considerazioni che saranno espresse in merito alla protuberanza r_2 valgono anche per tutte le altre protuberanze r_1 , r_3 ed r_4 , in quanto esse hanno tutte la medesima struttura.

La protuberanza r_2 ha preferibilmente una sezione trasversale costante lungo la direzione longitudinale x . A titolo di esempio, in Figura 1b è mostrato che la protuberanza r_2 ha sezione di forma sostanzialmente triangolare, la cui base coincide con il piano di base B . Tuttavia questo è solo esemplificativo, in quanto la protuberanza r_2 potrebbe avere forma di lama ("blade ribs" o "infinitely deep grooves"), oppure forma parabolica ("scalloped grooves"). L'altezza della protuberanza r_2 , indicata in Figura 1b come h , è preferibilmente compresa tra 5 e 35 unità viscosi, più preferibilmente tra 10 e 25 unità viscosi, ancor più preferibilmente è pari a 15 unità viscosi. Come è noto, un'unità viscosa è una lunghezza che dipende dalla viscosità cinematica del fluido e dalla velocità di attrito. Ad esempio, nel caso di un velivolo in volo ad una quota di 10000 m ad una velocità di 300 m/s, un'unità viscosa è pari a circa $2,7 \mu\text{m}$. Pertanto, in questo caso, l'altezza h della protuberanza r_2 è preferibilmente pari a $15 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa $40 \mu\text{m}$.

La protuberanza r_2 presenta una cresta c ed è delimitata da due avvallamenti av_1 , av_2 sostanzialmente paralleli alla cresta c . La distanza tra gli avvallamenti av_1 , av_2 , indicata in Figura 1a come L_z , corrisponde sia alla larghezza della protuberanza r_2 , sia alla distanza tra la protuberanza r_2 e le protuberanze r_1 ed r_3 ad essa adiacenti. Preferibilmente, la distanza L_z è compresa tra 5 e 35 unità viscosi, più preferibilmente tra 10 e 25 unità

viscose, ancor più preferibilmente è pari a 15 unità viscose. Pertanto, nell'esempio di cui sopra in cui un'unità viscosa è pari a circa $2,7 \mu\text{m}$, la distanza L_z è preferibilmente pari a $15 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa $40 \mu\text{m}$.

Secondo forme di realizzazione della presente invenzione, la cresta c (e quindi anche gli avvallamenti av_1 ed av_2 ad essa paralleli) segue, lungo la direzione longitudinale x , una traiettoria periodica avente ampiezza A ed avente lunghezza d'onda λ_x . In particolare, a titolo di esempio, la cresta c mostrata in Figura 1a segue una traiettoria sinusoidale che in termini matematici è descritta dalla seguente equazione:

$$c(x) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_x} x\right). \quad [1]$$

Questo è solo esemplificativo, in quanto la cresta c potrebbe seguire una qualsiasi traiettoria periodica, ad esempio ad onda quadrata, ad onda triangolare, etc. Preferibilmente, la lunghezza d'onda λ_x è compresa tra 500 e 2000 unità viscose, più preferibilmente tra 1240 e 1260 unità viscose, ancor più preferibilmente è pari a 1250 unità viscose. Pertanto, nell'esempio di cui sopra in cui un'unità viscosa è pari a circa $2,7 \mu\text{m}$, la lunghezza d'onda λ_x è preferibilmente pari a $1250 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa $3,4 \text{ mm}$. Inoltre, preferibilmente, l'ampiezza A della traiettoria periodica è compresa tra 100 e 500 unità viscose, più preferibilmente tra 250 e 350 unità viscose, ancor più preferibilmente è pari a 300 unità viscose. Pertanto, nell'esempio di cui sopra in cui un'unità viscosa è pari a circa $2,7 \mu\text{m}$, la lunghezza d'onda λ_x è preferibilmente pari a $300 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa $810 \mu\text{m}$.

Vantaggiosamente, la superficie appena descritta consente di raggiungere una riduzione di attrito considerevolmente più elevata rispetto alle soluzioni

note. Infatti, grazie al fatto che la cresta di ciascuna protuberanza ha una posizione trasversale variabile lungo la direzione longitudinale z , viene introdotta una discontinuità nel meccanismo di interazione tra la superficie e la turbolenza presente nello strato di fluido a contatto con la superficie. Più in particolare, le strutture turbolente presenti nello strato di fluido più vicino alla parete (ossia quelle aventi la velocità più bassa) interagendo con la parete vengono spostate in direzione trasversale in modo alternato, e pertanto perdono la relazione di fase con le strutture turbolente poste ad una maggiore distanza dalla parete (ossia i vortici). Questo meccanismo vantaggiosamente indebolisce o addirittura interrompe il ciclo viscoso di parete, e quindi riduce l'attrito viscoso in modo considerevole, come verrà descritto in seguito con riferimento alla Figura 3.

Con riferimento alle Figure 2a e 2b, verrà ora descritta in dettaglio una superficie secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione.

Come mostrato nelle Figure 2a e 2b, anche secondo questa seconda forma di realizzazione la superficie presenta un piano di base B' parallelo alle direzioni x e z , dal quale sporgono una pluralità di protuberanze. In Figura 2a e 2b, per semplicità sono mostrate solo le protuberanze $d11$, ..., $d16$, $d21$, ..., $d26$, $d31$, ..., $d36$, $d41$, ..., $d46$.

Nel seguito, per semplicità, sarà descritta la struttura della sola protuberanza $d35$. Tuttavia, tutte le considerazioni che saranno espresse in merito alla protuberanza $d35$ valgono anche per tutte le altre protuberanze, in quanto esse hanno tutte la medesima struttura.

Secondo questa seconda forma di realizzazione, la protuberanza $d35$ ha

forma di un cuneo con base sostanzialmente a forma di triangolo. Il vertice del triangolo è rivolto verso monte, ossia nel verso opposto a quello in cui scorre il flusso indicato dalla freccia F. Secondo forme di realizzazione non mostrate nei disegni, la protuberanza d35 può avere la forma descritta da US 5,595,205 ("delta-shaped"). La disposizione delle protuberanze secondo queste forme di realizzazione è tuttavia differente da quella descritta da US 5,595,205, come verrà descritto in maggior dettaglio qui di seguito.

La protuberanza d35 ha un'altezza sostanzialmente nulla in corrispondenza del vertice del triangolo, e aumenta gradualmente fino ad un'altezza pari ad h' . L'altezza h' della protuberanza d35 è preferibilmente compresa tra 1 e 10 unità viscosi, più preferibilmente tra 4 e 7 unità viscosi, ancor più preferibilmente è pari a 5,5 unità viscosi. Pertanto, nell'esempio di cui sopra in cui un'unità viscosa è pari a circa $2,7 \mu\text{m}$, l'altezza h' è preferibilmente pari a $5,5 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa $15 \mu\text{m}$.

La protuberanza d35 ha una larghezza L' . La larghezza L' è preferibilmente compresa tra 100 e 300 unità viscosi, più preferibilmente tra 150 e 250 unità viscosi, ancor più preferibilmente è pari a 200 unità viscosi. Pertanto, nell'esempio di cui sopra in cui un'unità viscosa è pari a circa $2,7 \mu\text{m}$, la larghezza L' è preferibilmente pari a $200 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa $540 \mu\text{m}$.

Preferibilmente, le protuberanze sono disposte sulla superficie in modo allineato lungo la direzione trasversale z. In particolare, le protuberanze d11, d21, d31 e d41 sono tra loro allineate lungo la direzione trasversale z e sono equispaziate tra loro di una distanza indicata in Figura 2a come Lz' , maggiore della larghezza L' della singola protuberanza. Le stesse considerazioni valgono per le protuberanze d12, ..., d42, per le protuberanze

d13, ..., d43, e via dicendo fino alle protuberanze d16, ..., d46.

Preferibilmente, la distanza Lz' è compresa tra 160 e 360 unità viscosi, più preferibilmente tra 210 e 310 unità viscosi, ancor più preferibilmente è pari a 260 unità viscosi. Pertanto, nell'esempio di cui sopra in cui un'unità viscosa è pari a circa $2,7 \mu\text{m}$, la distanza Lz' è preferibilmente pari a $260 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa $700 \mu\text{m}$.

Inoltre, preferibilmente, le protuberanze sono disposte sulla superficie lungo la direzione longitudinale z secondo una traiettoria periodica. In particolare, le protuberanze d11, ..., d16 sono disposte in modo che i rispettivi vertici seguano una traiettoria periodica. Le stesse considerazioni valgono per le protuberanze d21, ..., d26, per le protuberanze d31, ..., d36 e per le protuberanze d41, ..., d46. Le traiettorie seguite dai vertici delle protuberanze d11, ..., d16, dai vertici delle protuberanze d21, ..., d26, dai vertici delle protuberanze d31, ..., d36 e dai vertici delle protuberanze d41, ..., d46 preferibilmente sono tra loro parallele.

In Figura 2a, per semplicità, è mostrata la sola traiettoria secondo cui sono disposte le protuberanze d31, ..., d36. La traiettoria periodica ha una lunghezza d'onda λ_x' . In particolare, a titolo di esempio, in Figura 2a è mostrata una traiettoria sinusoidale che in termini matematici è descritta dalla seguente equazione:

$$c'(x) = A' \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_x'} x\right). \quad [2]$$

Questo è solo esemplificativo, in quanto le protuberanze potrebbero essere disposte secondo una qualsiasi traiettoria periodica, ad esempio ad onda quadrata, ad onde triangolare, etc. In Figura 2a, le protuberanze d31,

..., d36 sono disposte in modo che in una lunghezza d'onda λ_x' sono comprese quattro protuberanze. Tuttavia questo non è limitativo, in quanto secondo altre forme di realizzazione una lunghezza d'onda λ_x' può comprendere un diverso numero di protuberanze. Tale numero è preferibilmente maggiore di o uguale a 2.

Preferibilmente, la lunghezza d'onda λ_x' è compresa tra 500 e 2000 unità viscosi, più preferibilmente tra 1240 e 1260 unità viscosi, ancor più preferibilmente è pari a 1250 unità viscosi. Pertanto, nell'esempio di cui sopra in cui un'unità viscosa è pari a circa 2,7 μm , la lunghezza d'onda λ_x' è preferibilmente pari a $1250 \cdot 2,7 \mu\text{m}$, ossia circa 3,4 mm.

Anche questa seconda forma di realizzazione, quindi, vantaggiosamente consente di raggiungere una riduzione di attrito considerevolmente più elevata rispetto alle soluzioni note. Infatti, anche in questa seconda forma di realizzazione le protuberanze hanno una posizione trasversale variabile lungo la direzione longitudinale z e quindi spostano in direzione trasversale le strutture turbolente comprese nello strato di fluido più vicino alla parete, cosicché queste perdono la relazione di fase con le strutture turbolente poste ad una maggiore distanza dalla parete. Pertanto, vantaggiosamente, anche in questa seconda forma di realizzazione il ciclo viscoso di parete viene indebolito o addirittura interrotto, e quindi l'attrito viscoso è ridotto in modo considerevole.

La Figura 3 è un grafico della riduzione di attrito percentuale DR(%), definita come:

$$DR(\%) = \frac{100 \cdot (D(\text{smooth}) - D(\text{ribs}))}{D(\text{smooth})}, \quad [3]$$

ove $D(\text{smooth})$ è l'attrito viscoso di una superficie liscia e $D(\text{ribs})$ è l'attrito viscoso della superficie con protuberanze. In Figura 3 è mostrato l'andamento della riduzione di attrito percentuale $DR(\%)$ al variare della lunghezza d'onda di oscillazione λ_x . La lunghezza d'onda di oscillazione λ_x è espressa in unità viscosi.

Il grafico di Figura 3 è stato ottenuto tramite simulazione numerica diretta delle equazioni di Navier-Stokes in regime incomprimibile. Le simulazioni numeriche sono state eseguite effettuando una discretizzazione spaziale con:

- modi di Fourier nelle direzioni longitudinale x (320 coefficienti di Fourier) e trasversale z (192 coefficienti di Fourier); e
- schemi a differenze finite compatti espliciti al quarto ordine (160 punti) nella direzione normale y .

La portata del flusso F è stata mantenuta costante durante la simulazione, pertanto la riduzione di attrito viscoso corrisponde alla diminuzione del gradiente di pressione longitudinale che occorre applicare al flusso per farlo scorrere con portata costante. Le dimensioni della parete utilizzate per le simulazioni sono le seguenti: $21h_1$ in direzione longitudinale x e $6 h_1$ in direzione trasversale z , ove h_1 è la semi-altezza del canale che è stata posta uguale a 200 unità viscosi. La dimensione in direzione longitudinale x è stata di volta in volta aggiustata in modo da contenere un numero intero di lunghezze d'onda λ_x . Ciascuna simulazione è stata eseguita per un tempo $1000U_p/h_1$, ove U_p è la velocità centrale di un flusso laminare con la stessa portata. Le simulazioni sono state eseguite su un supercomputer comprendente 10 PC Xeon a doppio processore connessi tra loro ad anello.

Durante le simulazioni, l'ampiezza A della traiettoria periodica è stata posta pari a 350 unità viscosi, ed è stata simulata utilizzando un'approssimazione di Taylor di turbolenza congelata ed il carattere convettivo del flusso nelle vicinanze della parete.

Dal grafico di Figura 3, si osserva che in corrispondenza di lunghezze d'onda λ_x comprese tra circa 500 e 2000 unità viscosi la riduzione di attrito $DR(\%)$ è superiore al 40% e, in corrispondenza di una lunghezza d'onda λ_x pari a 1250 unità viscosi è presente un massimo in cui $DR(\%)$ è uguale al 45% circa.

Pertanto, vantaggiosamente, la superficie secondo forme di realizzazione della presente invenzione permette di ottenere una riduzione dell'attrito viscoso considerevolmente maggiore rispetto alle soluzioni note (riduzione di più del 50% rispetto alla riduzione del 12% ottenuta da US 6,345,791). Tale aumento della riduzione di attrito è così elevato da rendere vantaggioso l'utilizzo della superficie anche quando si tiene conto dei costi di realizzazione della superficie stessa.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido ed un oggetto, detto oggetto avendo una superficie esterna a contatto con uno strato di detto fluido, detta superficie esterna avendo un piano di base (B, B'), in cui il metodo comprende le seguenti fasi:
 - fornire su detta superficie esterna una pluralità di protuberanze ($r_1, \dots, r_4; d_{11}, \dots, d_{16}, \dots, d_{41}, \dots, d_{46}$) sporgenti rispetto a detto piano di base (B, B'); e
 - conferire a detto strato di detto fluido, tramite detta pluralità di protuberanze ($r_1, \dots, r_4; d_{11}, \dots, d_{16}, \dots, d_{41}, \dots, d_{46}$), un andamento secondo una traiettoria periodica parallela a detto piano di base (B, B').
2. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta traiettoria periodica è un'onda sinusoidale.
3. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta traiettoria periodica è un'onda triangolare.
4. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta traiettoria periodica è un'onda quadrata.
5. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta traiettoria periodica ha lunghezza d'onda (λ_x) compresa tra 500 e 2000 unità viscosse.
6. Metodo secondo la rivendicazione 5, in cui detta traiettoria periodica ha lunghezza d'onda (λ_x) uguale a 1250 unità viscosse.
7. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui

detta traiettoria periodica ha ampiezza (A) compresa tra 100 e 500 unità viscosse.

8. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la fase di fornire comprende una fase di fornire su detta superficie esterna detta pluralità di protuberanze ($r_1, \dots, r_4$) che si prolungano in una direzione longitudinale (x) di detto flusso, ciascuna di detta pluralità di protuberanze ($r_1, \dots, r_4$) avendo una cresta (c) che segue detta traiettoria periodica.
9. Metodo secondo la rivendicazione 8, in cui la fase di fornire comprende una fase di fornire su detta superficie esterna detta pluralità di protuberanze ($r_1, \dots, r_4$) parallele tra loro ed equidistanti in una direzione trasversale (z) perpendicolare a detta direzione longitudinale (x).
10. Metodo secondo la rivendicazione 8 o 9, in cui la fase di fornire comprende una fase di fornire su detta superficie esterna detta pluralità di protuberanze ($r_1, \dots, r_4$) aventi sezione trasversale costante lungo detta direzione longitudinale (x).
11. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 7, in cui la fase di fornire comprende una fase di fornire su detta superficie esterna detta pluralità di protuberanze ($d_{11}, \dots, d_{16}, \dots, d_{41}, \dots, d_{46}$) allineate lungo una direzione trasversale (z) perpendicolare rispetto ad una direzione longitudinale (x) di detto flusso e disposte secondo detta traiettoria periodica lungo detta direzione longitudinale (x).
12. Metodo secondo la rivendicazione 11, in cui la fase di fornire comprende una fase di fornire su detta superficie esterna detta pluralità di

protuberanze (d11, ..., d16, ..., d41, ..., d46), ciascuna di detta pluralità di protuberanze (d11, ..., d16, ..., d41, ..., d46) avendo forma di un cuneo con base a forma di triangolo, detto triangolo avendo un vertice rivolto nel verso opposto a quello in cui scorre detto flusso.

13. Metodo secondo la rivendicazione 12, in cui la fase di fornire comprende una fase di fornire su detta superficie esterna detta pluralità di protuberanze (d11, ..., d16, ..., d41, ..., d46), ciascuna di detta pluralità di protuberanze (d11, ..., d16, ..., d41, ..., d46) avendo altezza sostanzialmente nulla in corrispondenza di detto vertice.
14. Oggetto comprendente una superficie esterna configurata per ridurre l'attrito viscoso dovuto al movimento relativo tra un fluido e l'oggetto, detta superficie esterna avendo un piano di base (B, B'), detto fluido avendo uno strato a contatto con detta superficie esterna, caratterizzato dal fatto che la superficie esterna comprende una pluralità di protuberanze (r1, ..., r4; d11, ..., d16, ..., d41, ..., d46) conformate per conferire a detto strato di detto fluido un andamento secondo una traiettoria periodica parallela a detto piano di base (B, B').
15. Oggetto secondo la rivendicazione 14, in cui ciascuna di detta pluralità di protuberanze (r1, ..., r4) si prolunga in una direzione longitudinale (x) di detto flusso ed ha una cresta (c) che segue detta traiettoria periodica.
16. Oggetto secondo la rivendicazione 15, in cui detta pluralità di protuberanze (r1, ..., r4) sono tra loro parallele ed equidistanti in una direzione trasversale (z) perpendicolare a detta direzione longitudinale (x).

17. Oggetto secondo la rivendicazione 15 o 16, in cui ciascuna di detta pluralità di protuberanze ($r_1, \dots, r_4$) ha sezione trasversale costante lungo detta direzione longitudinale (x).
18. Oggetto secondo la rivendicazione 14, in cui detta pluralità di protuberanze ($d_{11}, \dots, d_{16}, \dots, d_{41}, \dots, d_{46}$) sono allineate lungo una direzione trasversale (z) perpendicolare rispetto ad una direzione longitudinale (x) di detto flusso e disposte secondo detta traiettoria periodica lungo detta direzione longitudinale (x).
19. Oggetto secondo la rivendicazione 18, in cui ciascuna di detta pluralità di protuberanze ($d_{11}, \dots, d_{16}, \dots, d_{41}, \dots, d_{46}$) ha forma di un cuneo con base a forma di triangolo, detto triangolo avendo un vertice rivolto nel verso opposto a quello in cui scorre detto flusso.
20. Oggetto secondo la rivendicazione 19, in cui ciascuna di detta pluralità di protuberanze ($d_{11}, \dots, d_{16}, \dots, d_{41}, \dots, d_{46}$) ha altezza sostanzialmente nulla in corrispondenza di detto vertice.
21. Oggetto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 14 a 20, in cui detta traiettoria periodica è un'onda sinusoidale.
22. Oggetto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 14 a 20, in cui detta traiettoria periodica è un'onda triangolare.
23. Oggetto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 14 a 20, in cui detta traiettoria periodica è un'onda quadrata.
24. Oggetto secondo qualsiasi delle rivendicazioni da 14 a 20, in cui detta traiettoria periodica ha lunghezza d'onda (λ_x) compresa tra 500 e 2000 unità viscose.

25. Oggetto secondo la rivendicazione 24, in cui detta traiettoria periodica ha lunghezza d'onda (λ_x) uguale a 1250 unità viscosse.
26. Oggetto secondo qualsiasi delle rivendicazioni da 14 a 25, in cui detta traiettoria periodica ha ampiezza (A) compresa tra 100 e 500 unità viscosse.

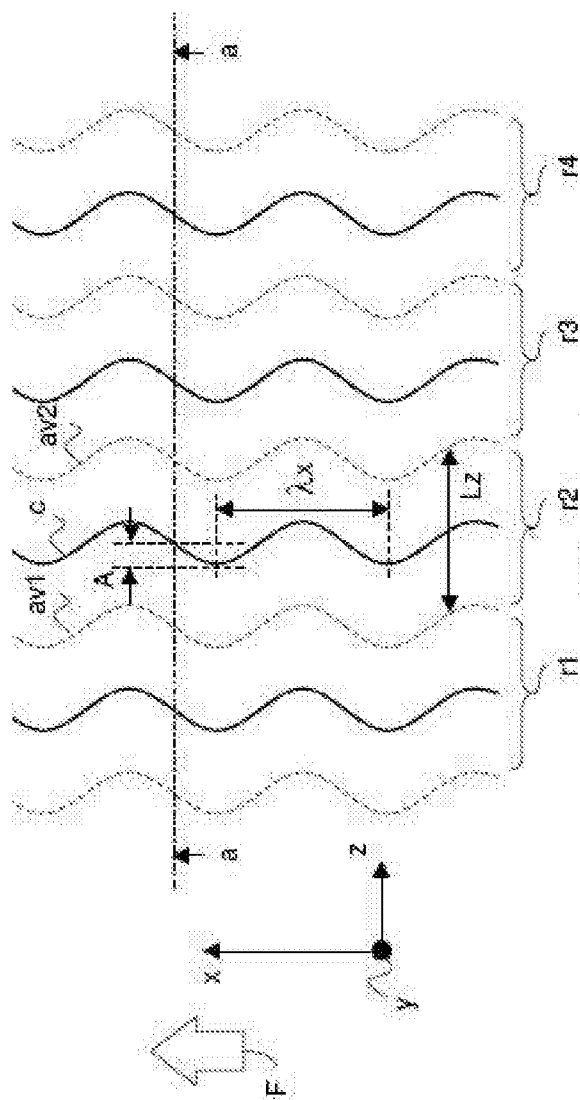


Figura 1a

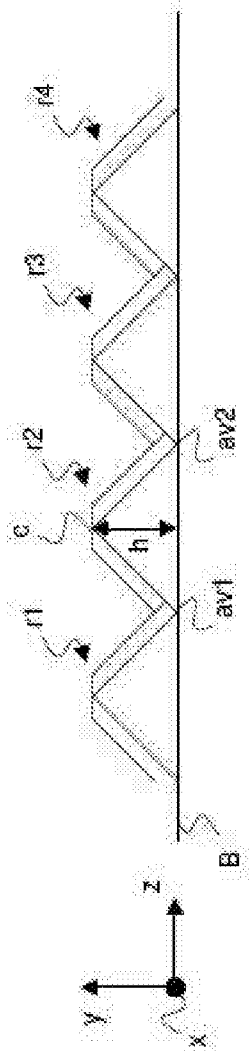


Figura 1b

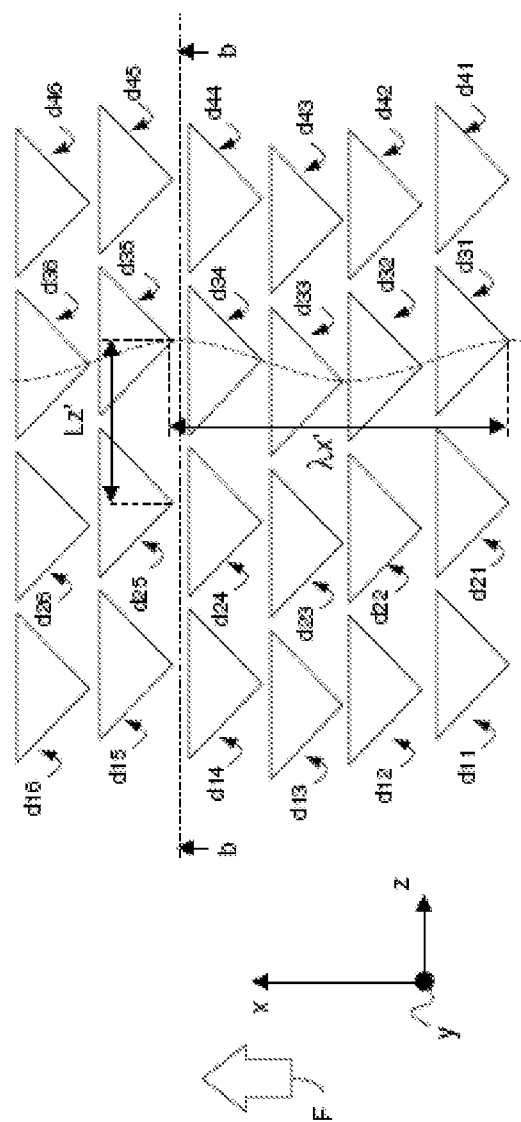


Figura 2a

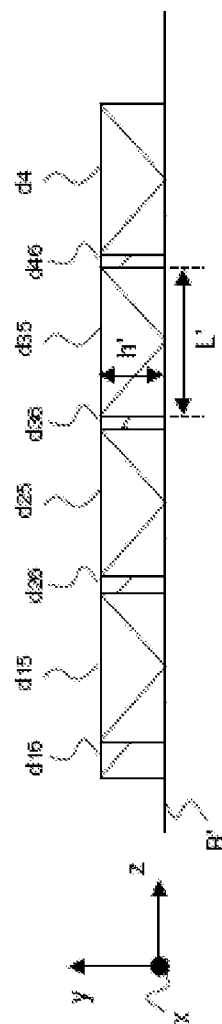


Figura 2b

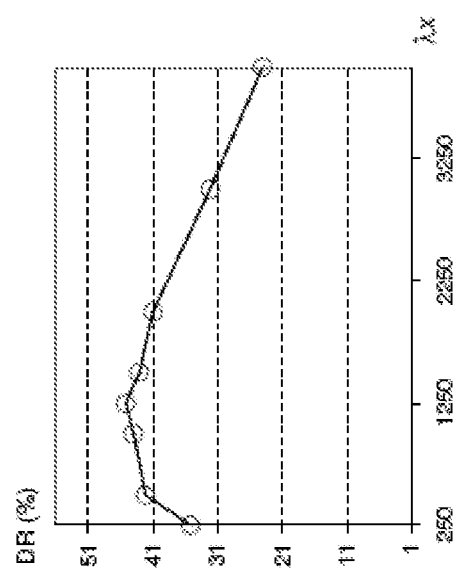


Figura 3