



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

BACHELOR'S DEGREE IN MECHANICAL ENGINEERING

DESIGN AND 3-D PRINTING MANUFACTURING OF A POLYMERIC HEAT SINK.

Supervisor
Prof. Marco Lorenzini

Presented by
Lorenzo Cagnani

Co-Supervisor
Prof.ssa Francesca De
Crescenzo

ALLEGATO

March session 2025

Academic Year 2024/2025

Table of contents

1. Appendix A: Matlab code.....	3
2. Appendix B: Abstract.....	8
3. Appendix C: Linguistic approval.....	9

1. Appendix A: Matlab Code

```
% Inizializzazione
close all
clear
clc
% Dati per il calcolo di k
Tb=50+273.15; % Temperatura costante della base
Tinf=20+273.15; % Temperatura ambiente di prova
visd=0.011; % Viscosità dinamica
rho=930; % Densità fluido
alpha=0.127e-6; % Diffusività termica
kf=0.157; % Conduttività termica
visc=visd/rho; % Viscosità cinematica
Pr=visc/alpha; % Numero di Prandtl
na=9; % Numero Alette, portata=1,74e-4 m^3/s, quindi circa 10,45 l/min
ntot=41; % Definizione del sistema
eta=input('Inserire il valore in % del rendimento:\n');
eta=eta/100;
acc=0.1;
n=input('Inserire la risoluzione di stampa mm:\n');
n=0.2;
K=input('Inserire la conduttività termica sulla direzione di stampa:\n');
K=0.218;
L=n; % Lunghezza della base
W=L; % Profondità dell'aletta
n=n/100; % Rendo il valore usabile per i miei range
t=linspace(n,5*n,ntot); % Possibili Valori di t
b=linspace(n,5*n,ntot); % Possibili Valori di b
beta=linspace(1,8,ntot); % Possibili Valori di beta
% Dati per il fitting
x=[1,1.43,2,3,4,8]; % Beta
y=[2.98,3.08,3.39,3.96,4.44,5.60]; % Nu
% Modello polinomiale di secondo grado
fitType='poly2'; % Grado della polinomiale
f=fit(x',y',fitType); % Fitting dei dati
% Aggiunta di un termine asintotico
asymptote=7.54; % Valore asintotico
% Inizializzazione calcolo C
C=1; % Ipotesi della costante
tolleranza=1e-6; % Tolleranza per la convergenza
iterazioni_massime=10000; % Numero massimo di iterazioni
iterazioni=0; % Contatore di iterazioni
% Calcolo di C
while iterazioni<iterazioni_massime
eta_attuale=tanh(C)/(C); % Calcolo di eta attuale
errore=abs(eta_attuale-eta); % Calcolo dell'errore
```

```

if errore<tolleranza % Controllo della tolleranza
break; % Esco se l'errore è sotto la tolleranza
end
C=C*(eta_attuale/eta); % Aggiornamento proporzionale
iterazioni=iterazioni+1;
end
if iterazioni==iterazioni_massime % Condizione di divergenza
error('Convergenza non raggiunta: controllare i parametri di input');
end
% Calcolo di Nu
ValoriPolinomiale=@(x) min(feval(f,x),asymptote);
Nu=ValoriPolinomiale(beta);
for i=1:length(x) %Sostituzione di valori noti sperimentalmente
idx=find(abs(beta-x(i))<1e-6);
if ~isempty(idx)
Nu(idx)=y(i);
end
end
% Calcolo parametri Idraulici
b=b';
zopt=b.*beta;
Dh=(2.*beta.*b)./(1+beta);
b=b';
h=(Nu*kf)./Dh;
% Calcolo del ks
ks=((2.*h.*b.^2).*(1+t./L))./(t.*C^2);
% Calcolo delle v
Reopt=(zopt./(3.24*L*Pr^(-1/4))).^(-2);
vopt=(visc.*Reopt)./Dh;
% Calcolo del Rendimento Totale
Af=2.*(L+t).*b;
Aw=L.*zopt;
At=na.*(Af+Aw);
eta0=1-na.*(1-eta).*(Af./At);
% Calcolo della resistenza e flusso termico
Rt0=1./(eta0.*h.*At);
tetas=Tb-Tinf;
qtot=tetas./Rt0;
% Visualizzazione del fitting della polinomiale
figure(1);
hold on;
plot(x,y,'o','DisplayName','Dati Originali');
x_fit=linspace(1,8,ntot);
y_fit=ValoriPolinomiale(x_fit);
plot(x_fit,y_fit,'Displayname','Curva di Fitting');
yline(asymptote,'k--','DisplayName','Asintoto');
legend;

```

```

xlabel('\beta');
ylabel('Nu');
title('Fitting di Curva con Polinomio di Secondo Grado e Limite Superiore');
grid on;
hold off;
% Visualizzazione del complessivo 1
figure(2)
surf(b,t,ks,'FaceColor','interp');
colorbar
colormap('jet')
ax=gca;
ax.ZLim(2)=max(ks,[],"all");
xlabel('b');
ylabel('t');
zlabel('k_{s}');
title('Superficie di k_{s}');
% Visualizzazione del complessivo 2
figure(3)
surf(b,t,vopt,'FaceColor','interp');
colormap('jet')
colorbar
ax=gca;
ax.ZLim(2)=max(vopt,[],"all");
xlabel('b');
ylabel('t');
zlabel('v_{opt}');
title('Superficie di v_{opt}');
% Visualizzazione del complessivo 3
figure(4)
surf(b,t,qtot,'FaceColor','interp');
colormap('jet')
colorbar
ax=gca;
ax.ZLim(2)=max(qtot,[],"all");
xlabel('b');
ylabel('t');
zlabel('q_{tot}');
title('Superficie di q_{tot}');
% Visualizzazione del complessivo 4
figure(5)
surf(b,t,eta0,'FaceColor','interp');
colormap('jet')
colorbar
ax=gca;
ax.ZLim(2)=max(eta0,[],"all");
xlabel('b');
ylabel('t');

```

```

xlabel('\eta_0');
title('Superficie di \eta_0');
% Visualizzazione del complessivo 5
figure(6)
surf(b,t,zopt,'FaceColor','interp');
colorbar
colormap('jet')
ax=gca;
ax.ZLim(2)=max(zopt,[],"all");
xlabel('b');
ylabel('t');
zlabel('z_{opt}');
title('Superficie di z_{opt}');
% Ricerca dei parametri validi
soglia_vopt=min(vopt,[],"all")+acc*(max(vopt,[],"all")-min(vopt,[],"all"));
b_filtro=[];
t_filtro=[];
ks_filtro=[];
zopt_filtro=[];
vopt_filtro=[];
Dh_filtro=[];
Reopt_filtro=[];
qtot_filtro=[];
eta0_filtro=[];
for i=1:ntot
for j=1:ntot
if vopt(i,j)<=soglia_vopt
b_filtro=[b_filtro;b(j)];
t_filtro=[t_filtro;t(i)];
ks_filtro=[ks_filtro;ks(i,j)];
zopt_filtro=[zopt_filtro;zopt(i,j)];
vopt_filtro=[vopt_filtro;vopt(i,j)];
Dh_filtro=[Dh_filtro;Dh(i,j)];
Reopt_filtro=[Reopt_filtro;Reopt(i,j)];
qtot_filtro=[qtot_filtro;qtot(i,j)];
eta0_filtro=[eta0_filtro;eta0(i,j)];
end
end
end
% Risultati
if isempty(b_filtro)
disp('Nessun valore che soddisfa i criteri di costruzione');
else
qtot_filtroc=qtot_filtro;
for i=1:length(qtot_filtroc)
[qmax,indice]=max(qtot_filtroc);
LSI=0.05*Reopt_filtro(indice)*Dh_filtro(indice);

```

```

LST=0.05*Reopt_filtro(indice)*Dh_filtro(indice)*Pr;
if abs(round(ks_filtro(indice),3)-K)<1e-4 && Reopt_filtro(indice)<2000 &&
vopt_filtro(indice)>0.1
fprintf('La b ottimale è: %.3g\n',b_filtro(indice))
fprintf('La t ottimale è: %.3g\n',t_filtro(indice))
fprintf('La z ottimale è: %.3g\n',zopt_filtro(indice))
fprintf('Il Dh ottimale è: %.3g\n',Dh_filtro(indice))
fprintf('La velocità necessaria è: %.4g\n',vopt_filtro(indice))
fprintf('Il numero di Re necessario è: %.4g\n',Reopt_filtro(indice))
fprintf('Il flusso termico scambiato è: %.4g\n',qtot_filtro(indice))
fprintf('Il rendimento globale è: %.4g\n',eta0_filtro(indice)*100)
break
else
qtot_filtroc(indice)=0;
end
end
% Visualizzazione del complessivo 6
figure(7);
scatter3(b_filtro,t_filtro,zopt_filtro,25,qtot_filtro,'filled');
colormap('jet');
cb=colorbar;
title(cb,'q');
xlabel('b');
ylabel('t');
zlabel('z_{opt}')
title('Dimensioni dei Canali Idonee');
grid on;
End

```

2. Appendix B: Abstract

English terms	Termini in italiano
Polymeric rectangular fin heat sink	Dissipatore di calore polimerico ad alette rettangolari
Additive manufacturing	Produzione additiva
Forced convection	Convezione forzata
Thermal conductivity coefficient (λ)	Coefficiente di conduttività termica
Thermal convection coefficient (h)	Coefficiente di scambio termico convettivo
Hydraulic diameter	Diametro idraulico
Nusselt number (Nu)	Numero di Nusselt
Reynolds number (Re)	Numero di Reynolds
Prandtl number (Pr)	Numero di Prandtl
Heat flux	Flusso termico
3D printer	Stampante 3D
Matlab script	Programma scritto su Matlab
Manifold	Collettore
Centrifugal pump	Pompa centrifuga
Volumetric pump	Pompa volumetrica
Lobe pump	Pompa a lobi
Peristaltic pump	Pompa peristaltica
Diaphragm pump	Pompa a diaframma
Gear pump	Pompa ad ingranaggi
Laminar flow	Flusso laminare
Turbulent flow	Flusso turbolento
Softening temperature	Temperatura di rammollimento
Hydrodynamic boundary layer	Strato limite idrodinamico
Thermal boundary layer	Strato limite termico
Parametric design	Progettazione parametrica
Topological optimization	Ottimizzazione con metodi topologici
Efficiency	Rendimento
Baffles	Deflettori
Logarithmic curve	Curva logartmica
Square matrix	Matrice quadrata
Array	Vettore
Quadratic equation	Equazione di secondo grado
Natural convection	Convezione naturale
Pressure drops	Cadute di pressione
Exponential function	Funzione esponenziale
Extruder	Estrusore
Dynamic viscosity	Viscosità dinamica

Vortex shedding	Distacco di vortice
Flow separation	Distacco di vena
Heating circle	Ciclo di riscaldamento
Build direction	Direzione di costruzione

3. Appendix C: Linguistic approval

In qualità di relatore autorizzo la redazione della tesi di laurea in lingua straniera e mi faccio garante della qualità - anche linguistica - dell'elaborato.

Marco Brentini