

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

***Relazione per la prova finale  
«Sull'efficienza idraulica dei canali di  
adduzione negli impianti  
idroelettrici»***

Tutor universitario: Prof. Viero Daniele Pietro

Laureando: *Veronese Giovanni*

Padova, 11/03/2022

## OBIETTIVI

- Calcolare la portata derivabile con sezioni di forma diversa ma area complessiva uguale
- Valutare l'andamento della portata per ogni sezione al variare della cadente piezometrica e delle asperità equivalenti in sabbia
- Individuare la forma di sezione idraulicamente più efficiente

## METODOLOGIA

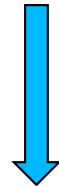
- Implementazione delle formule di Darcy-Weisbach e Colebrook-White
- Consultazione del manuale A. Ghetti "Idraulica", seconda edizione
- Utilizzo degli appunti del corso di meccanica dei fluidi

**IPOTESI DI LAVORO:**

- Fluido reale incomprimibile
- Moto uniforme rettilineo
- Moto di strato limite turbolento
- Sezione costante

**RESISTENZA AL MOTO NEI CANALI**

Velocità media del fluido (portata)  $\Leftrightarrow$  Dissipazione di energia



FORMULA DI DARCY-WEISBACH

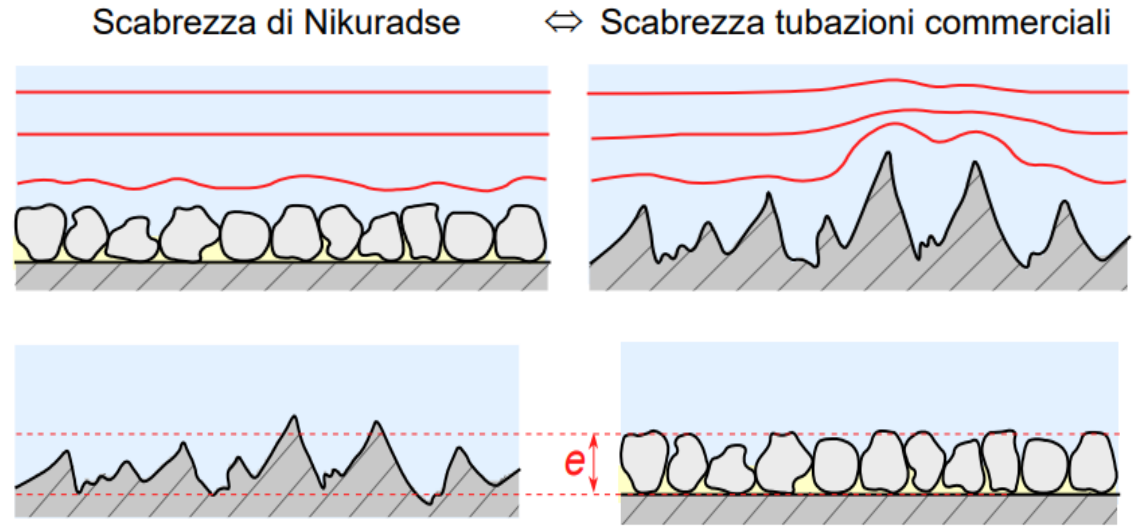
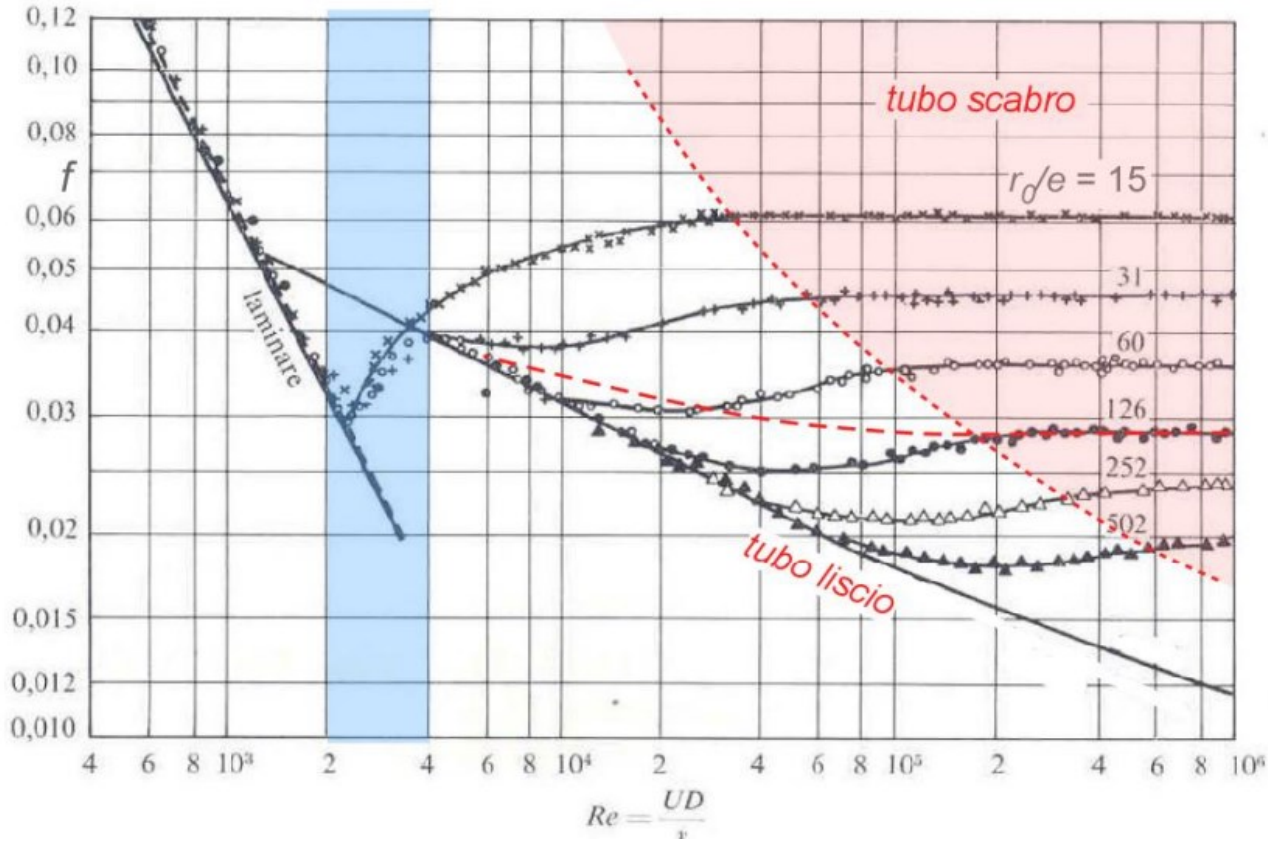
$$J = \frac{f U_0^2}{D 2g}$$



COEFFICIENTE DI RESISTENZA AL MOTO

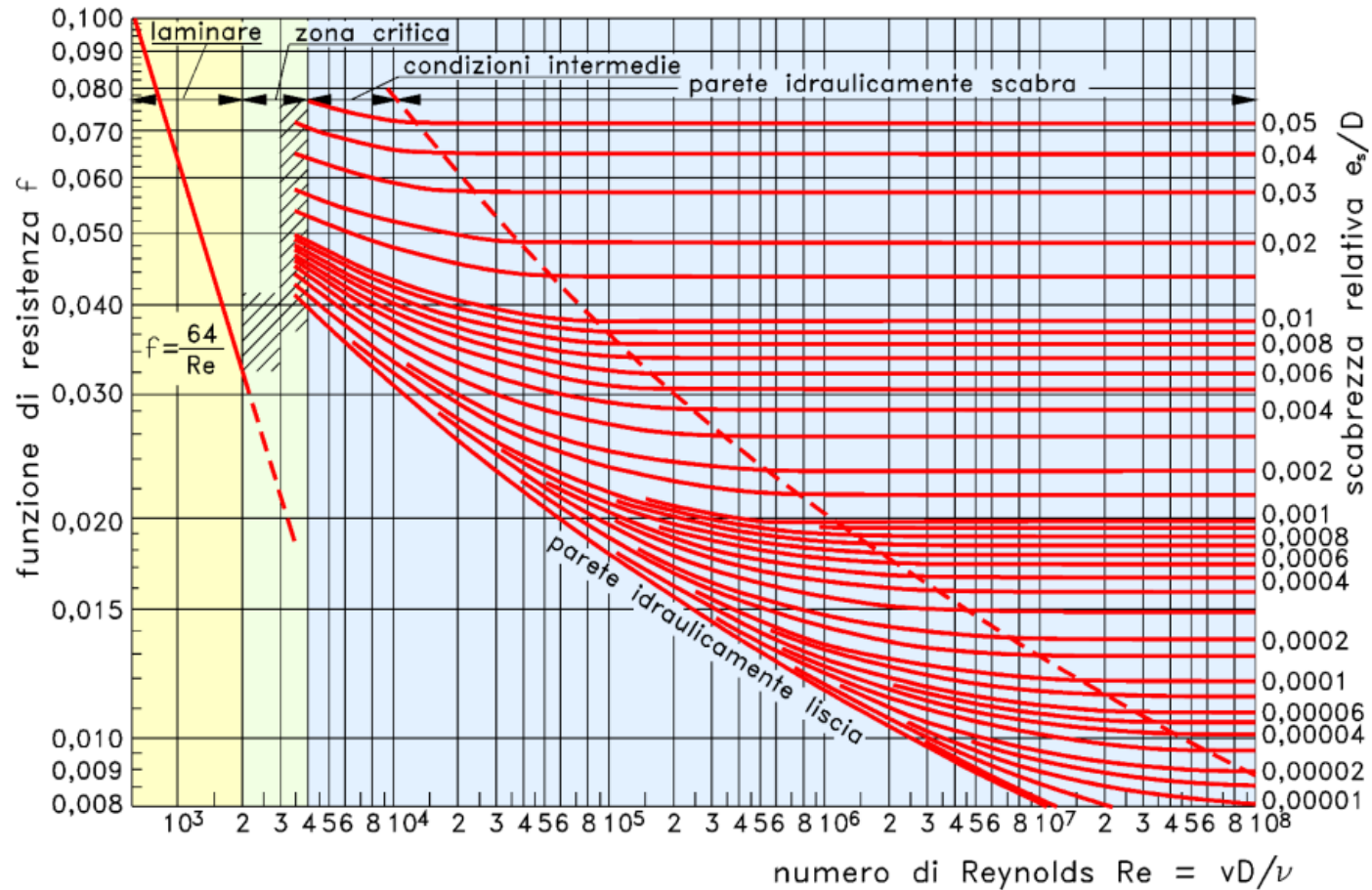
$$f = f\left(Re, \frac{e_s}{D}\right)$$

**ESPERIMENTI DI NIKURADSE IN TUBI A SCABREZZA OMOGENA**  
**“ARPA DI NIKURADSE”**



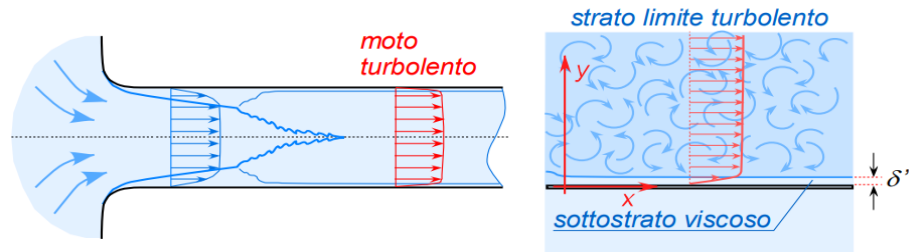
$e=e_s$  Scabrezza equivalente in sabbia

## DIAGRAMMA DI MOODY



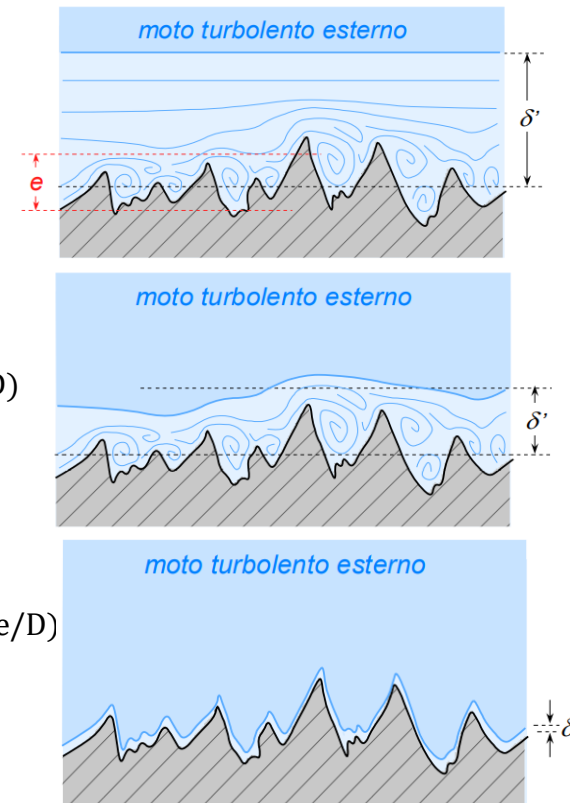
1.  $Re < 2000$  – MOTO LAMINARE
2.  $2000 < Re < 4000$  – ZONA CRITICA
3.  $Re > 4000$  – MOTO TURBOLENTO

## MOTO TURBOLENTO



### SPESSORE DEL SOTTOSTRATO VISCOSO

$$\delta' \approx 5 \frac{\nu}{u^*}$$



3 a) Se  $\delta' \gg e$ , ( $\frac{u^* e}{\nu} < 5$ ) PARETE IDRAULICAMENTE LISCIA  $\Rightarrow f=f(\text{Re})$

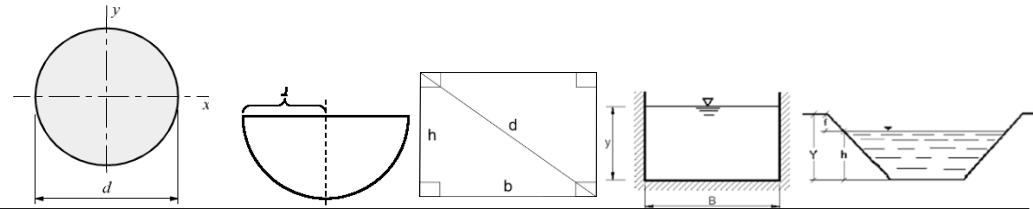
3 b) Se  $\delta' \sim e$ , ( $5 < \frac{u^* e}{\nu} < 70 \div 80$ ) CONDIZIONI INTERMEDIE  $\Rightarrow f=f(\text{Re}, e/D)$

3 c) Se  $\delta' \ll e$ , ( $\frac{u^* e}{\nu} > 70 \div 80$ ) PARETE IDRAULICAMENTE SCABRA  $\Rightarrow f=f(e/D)$

### FORMULA DI COLEBROOK- WHITE

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{e_s}{3,71 * 4R_H} + \frac{2,52}{\text{Re} \sqrt{f}} \right]$$

DATI GENERALI			
pacqua	L	$i_f$	$e_s$
[kg/m <sup>3</sup> ]	[m]		[mm]
998	1000	0,001	0,01



grandezza	simbolo	unità di misura	Sez.1- Circolare	Sez.2 - Semicircolare	Sez. 3 - rettangolare chiusa (b=2*h)	Sez. 4 - rettangolare aperta (b=2*h)	Sez. 5- trapezia semiesagonale
Diametro	D	[m]	1	1,414			
Base	b	[m]			1,253	1,253	0,778
Altezza	h	[m]			0,627	0,627	
Costante d'area esagono	$\phi$						2,598
Area	A	[m <sup>2</sup> ]	0,7854	0,7854	0,7854	0,7854	0,7854
Coeff. Correttivo di forma	$\phi$		1	0,9	0,95	0,95	0,9
Raggio idraulico	$R_H$	[m]	0,25	0,318	0,198	0,298	0,303
Scabrezza equivalente in sabbia	$e_s$	[mm]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Scabrezza relativa	$e_s/(4R_H)$		0,00001	7,857E-06	1,260E-05	8,399E-06	8,250E-06

RAGGIO IDRAULICO:  $R_H = A/C$

Numero di resistenza (scabra)	f		0,008059856	0,007764996	0,008358217	0,007844909	0,007823421
Velocita 1° tentativo	v'	[m/s]	1,560	1,793	1,365	1,726	1,743
Numero di Reynolds	Re	[/]	1560220	2282523	1083505	2054617	2113233
f(1)			0,011393239	0,010697439	0,012128703	0,010883025	0,010832905
f(2)			0,011085391	0,010441903	0,011760572	0,010613989	0,010567548
f(3)			0,011109024	0,010460645	0,011790073	0,010633974	0,010587193
f(4)			0,011107182	0,010459252	0,011787669	0,010632468	0,010585718
f(5)			0,011107326	0,010459356	0,011787865	0,010632582	0,010585829
f(6)			0,011107314	0,010459348	0,011787849	0,010632573	0,010585821
v''		[m/s]	1,329	1,545	1,149	1,482	1,499
dv		[m/s]	-0,231	-0,248	-0,216	-0,243	-0,245
Numero di Reynolds	Re	[/]	1329061	1966679	912369	1764841	1816701
f(1)			0,011393239	0,010697439	0,012128703	0,010883025	0,010832905
f(2)			0,011369945	0,010678975	0,012099602	0,010863334	0,010813551
f(3)			0,011371816	0,010680389	0,012102048	0,010864863	0,010815048
f(4)			0,011371666	0,010680281	0,012101842	0,010864744	0,010814932
f(5)			0,011371678	0,010680289	0,01210186	0,010864753	0,010814941
f(6)			0,011371677	0,010680288	0,012101858	0,010864752	0,01081494
v''		[m/s]	1,314	1,529	1,134	1,466	1,483
dv		[m/s]	-0,016	-0,016	-0,015	-0,016	-0,016
Numero di Reynolds	Re	[/]	1313522	1946231	900455	1745882	1797354
f(1)			0,011393239	0,010680288	0,012101858	0,010864752	0,01081494
f(2)			0,011391499	0,010697439	0,012128703	0,010883025	0,010832905
f(3)			0,011391639	0,01069612	0,012126435	0,0108816	0,01083151
f(4)			0,011391628	0,010696221	0,012126626	0,010881711	0,010831619
f(5)			0,011391629	0,010696214	0,01212661	0,010881703	0,01083161
f(6)			0,011391628	0,010696214	0,012126612	0,010881703	0,010831611
v''		[m/s]	1,312	1,528	1,133	1,465	1,482
dv		[m/s]	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001
Portata (darcy-Weisbach)	Q (D-W)	[m <sup>3</sup> /s]	1,031	1,200	0,890	1,151	1,164

COEFFICIENTE DI  
RESISTENZA  $f$  IN PARETE  
SCABRA

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{e_s}{3,71 * 4R_H} \right]$$

VELOCITA' (Formola di  
Darcy-Weisbach)

$$V = \sqrt{\frac{2g_i f 4R_H}{f}}$$

NUMERO DI REYNOLDS

$$Re = \frac{4R_H V}{\nu}$$

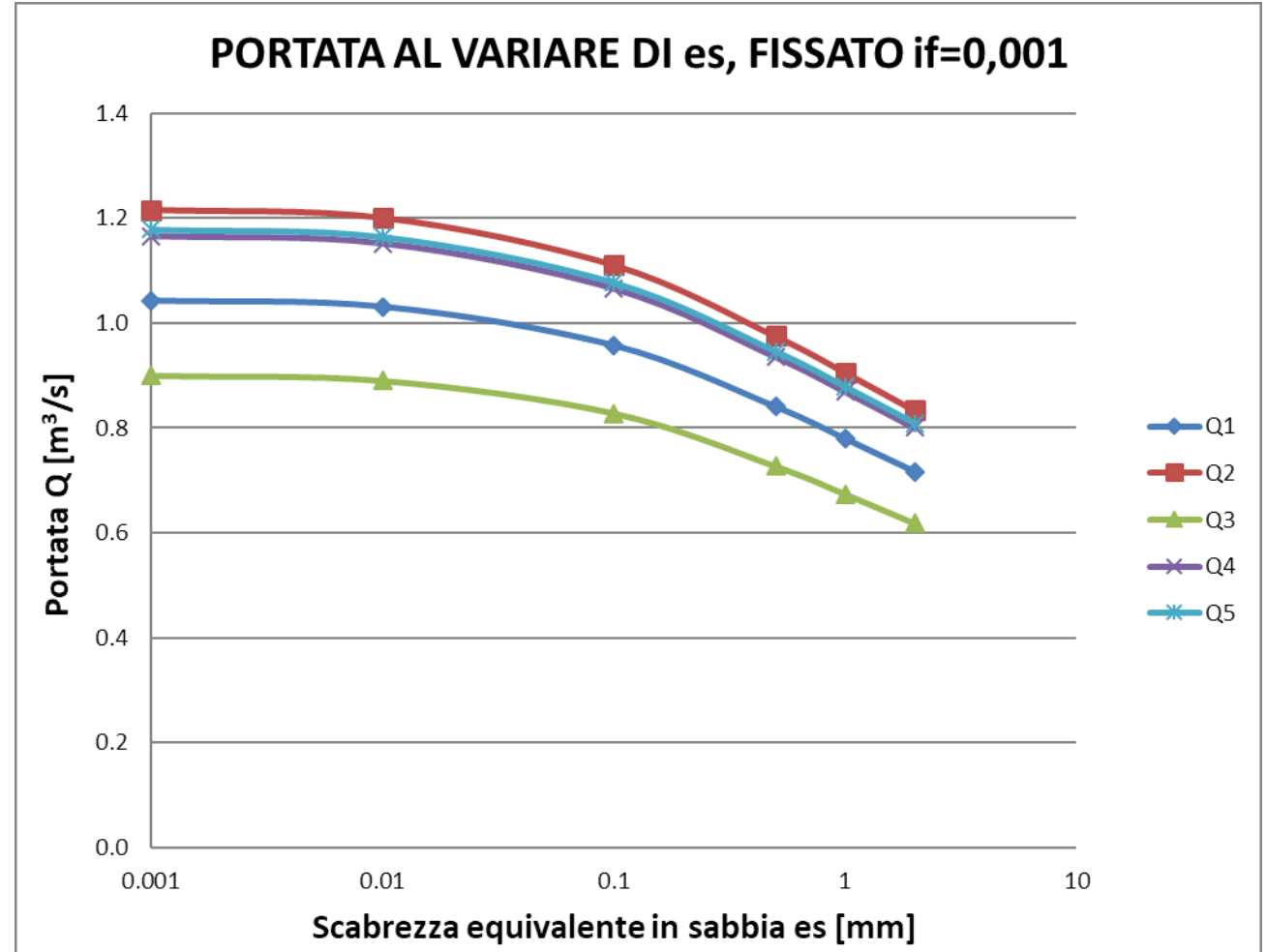
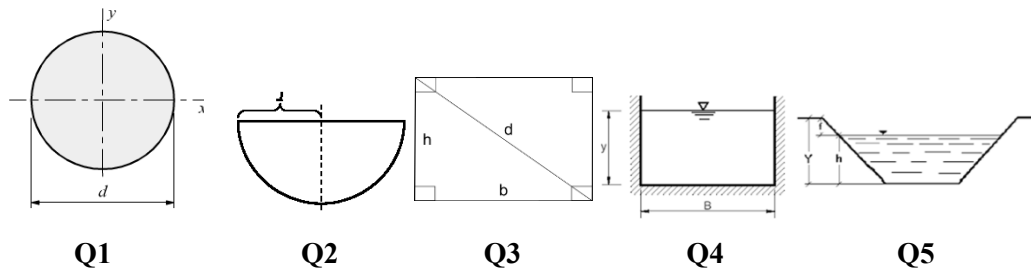
FORMULA DI COLEBROOK-  
WHITE

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{e_s}{3,71 * 4R_H} + \frac{2,52}{Re \sqrt{f}} \right]$$



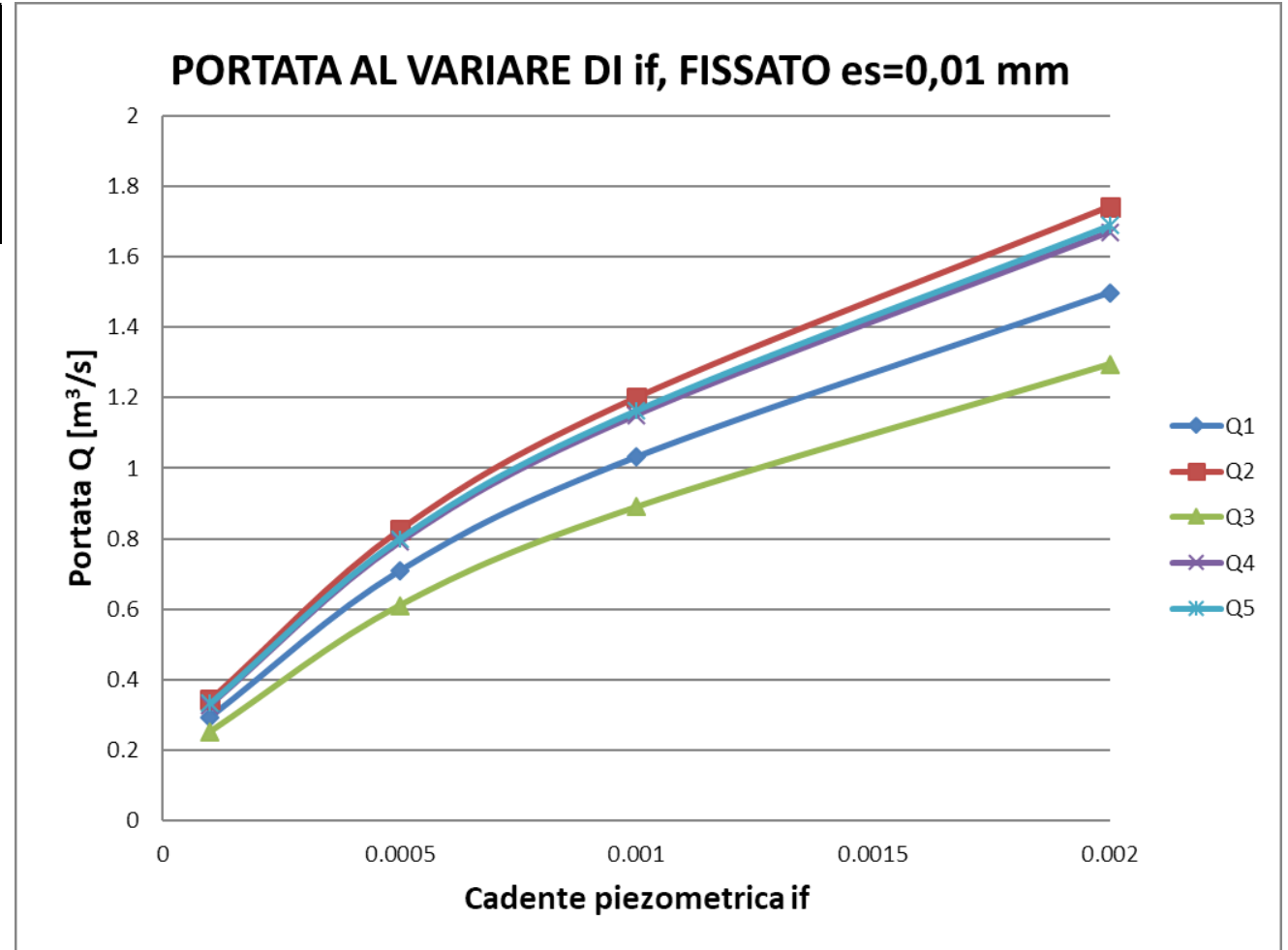
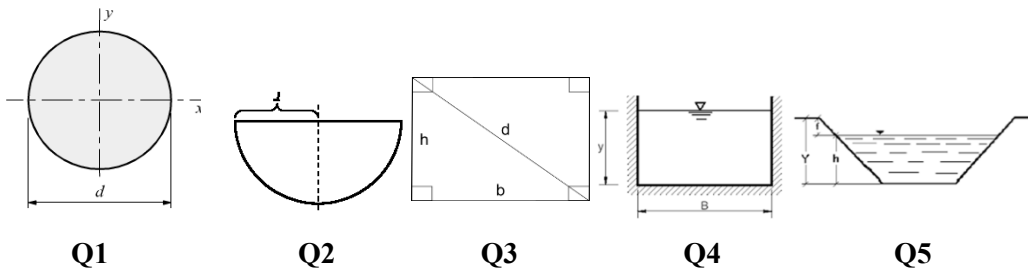
$i_f = 0,001$  fissato

$e_s$	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
[mm]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
0,001	1,043	1,215	0,900	1,165	1,178
0,01	1,031	1,200	0,890	1,151	1,164
0,1	0,957	1,11	0,828	1,065	1,077
0,5	0,84	0,975	0,727	0,935	0,946
1	0,779	0,906	0,674	0,869	0,879
2	0,716	0,834	0,618	0,8	0,809



$e_s=0,01[\text{mm}]$  fissato

$i_f$	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
0,0001	0,294	0,344	0,253	0,329	0,333
0,0005	0,708	0,825	0,611	0,791	0,8
0,001	1,031	1,200	0,890	1,151	1,164
0,002	1,497	1,741	1,295	1,67	1,689



## CONSIDERAZIONI SULLA CONDIZIONE TEORICA DI PARETE LISCIA

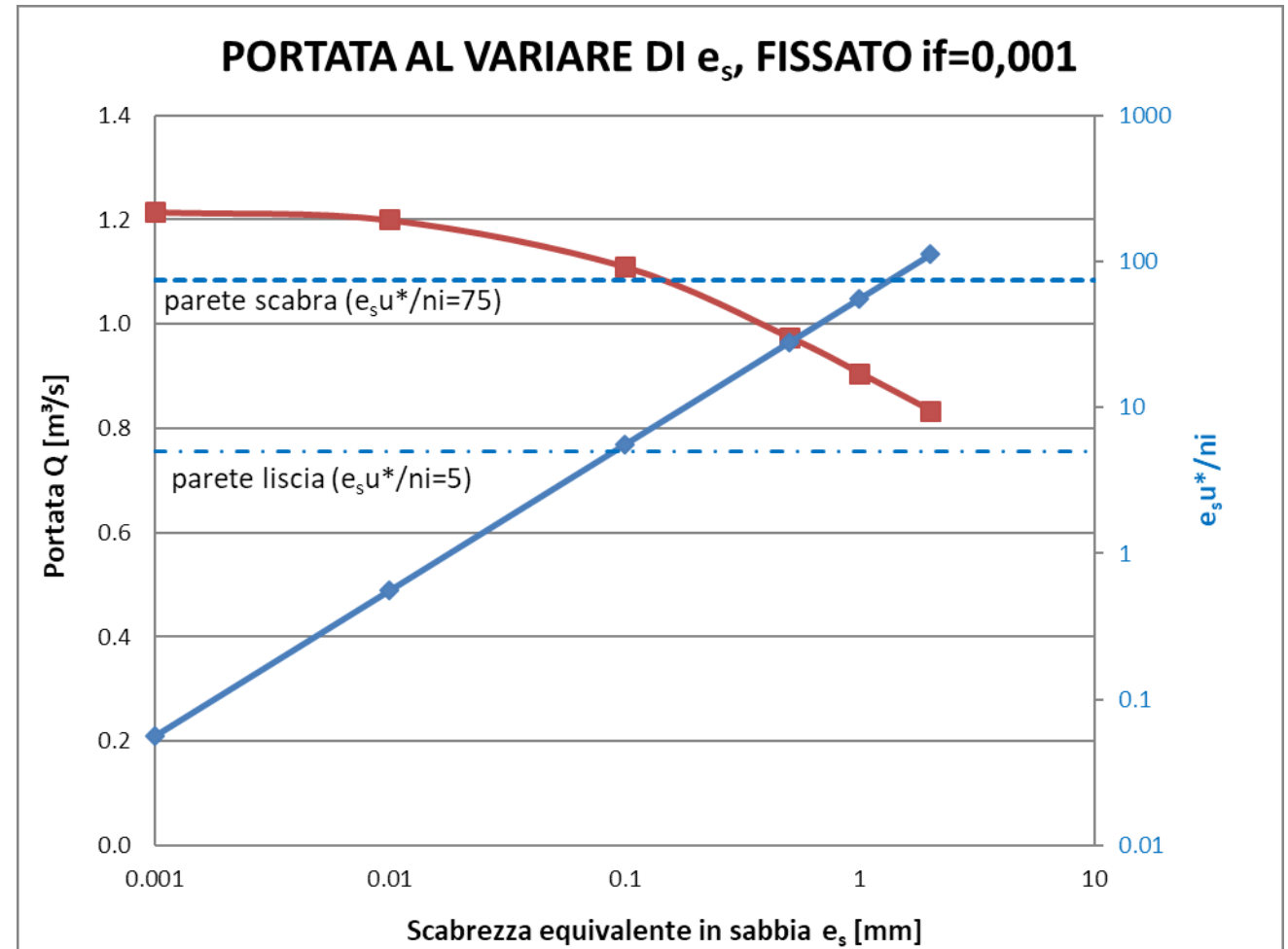
Q2	
$e_s$ [mm]	$es_u^*/ni$
0,001	0,056
0,01	0,559
0,1	5,587
0,5	27,935
1	55,871
2	111,741

Q2		
$[m^3/s]$		
1,215		
1,200	1,3%	
1,11	8,1%	
0,975	13,8%	
0,906	7,6%	
0,834	8,6%	

$$\tau = \gamma R_H J$$

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

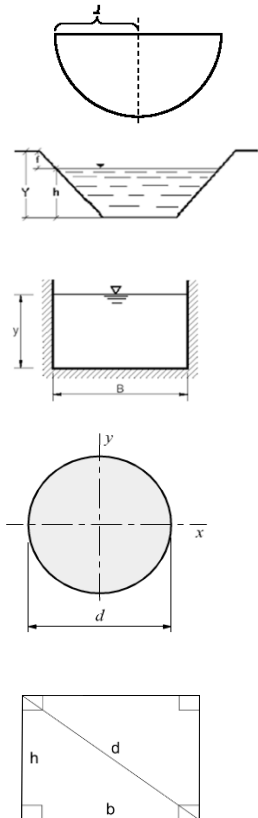
Poiché  $\delta' \propto \frac{\nu}{u^*}$ , se  $e \gg \delta' \Rightarrow \frac{e}{\delta'} \gg 1 \Rightarrow \frac{u \cdot e}{\nu}$  è grande piccolo



## SEZIONE IDRAULICAMENTE PIU' EFFICIENTE:

- Sezione di minima resistenza:  **$R_H$  max,  $C$  min**  $\Rightarrow$  sezioni che meglio si approssimano alla sezione semicircolare

$i_f$	$e_s$ [mm]
0,001	0,01



$$R_H = 0,318 \text{ m}$$

$$Q = 1,200 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_H = 0,303 \text{ m}$$

$$Q = 1,164 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_H = 0,298 \text{ m}$$

$$Q = 1,151 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_H = 0,25 \text{ m}$$

$$Q = 1,031 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_H = 0,198 \text{ m}$$

$$Q = 0,890 \text{ m}^3/\text{s}$$



Grazie per l'attenzione!