



# VALUTAZIONE DELL'APPORTO DI SEDIMENTI ALLE DIGHE ITALIANE

Chiara Biagini

Gianluca Granata

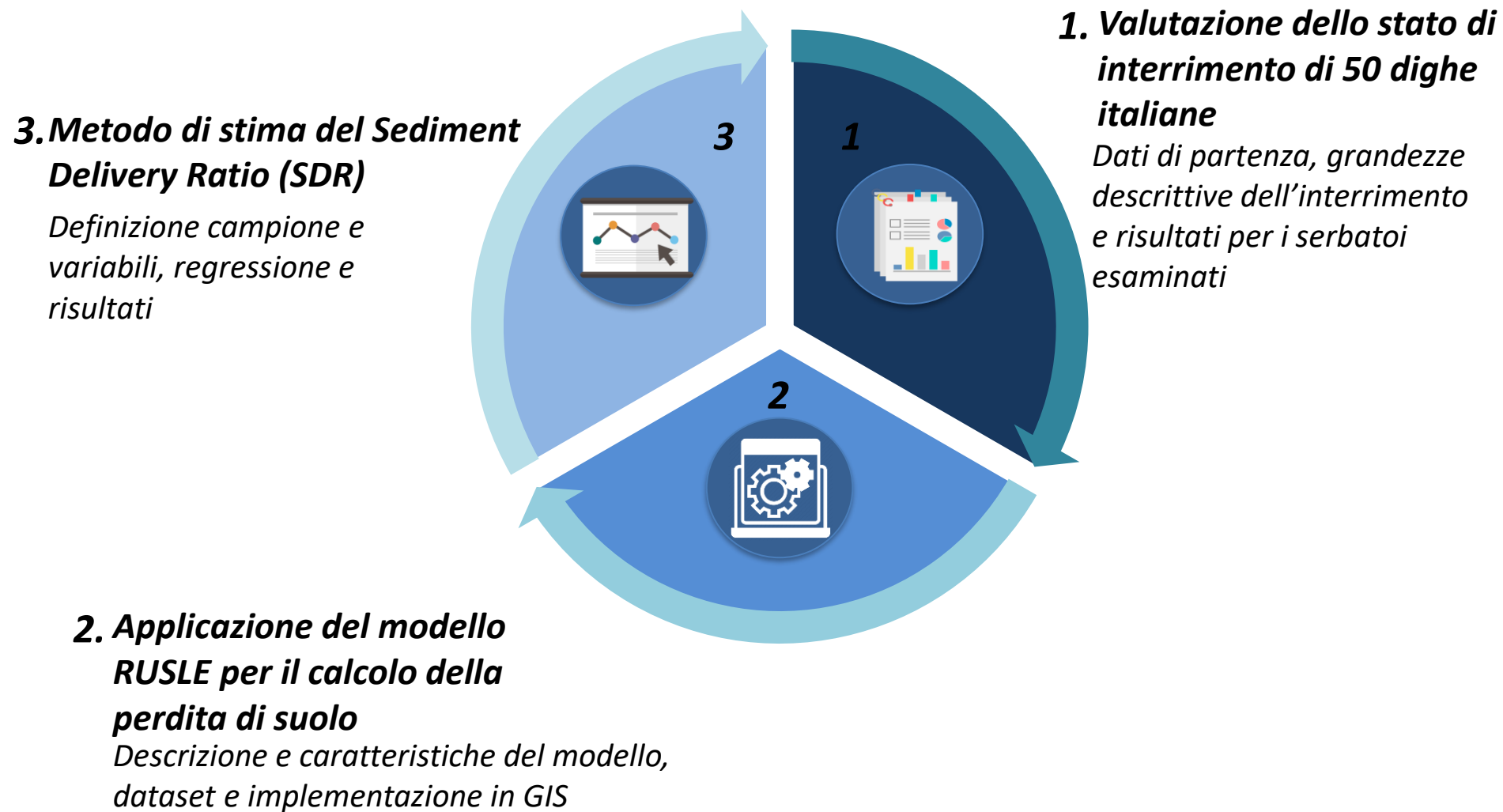
Relatore: Carlo De Michele

Correlatore: Epari Ritesh Patro

# Obiettivo

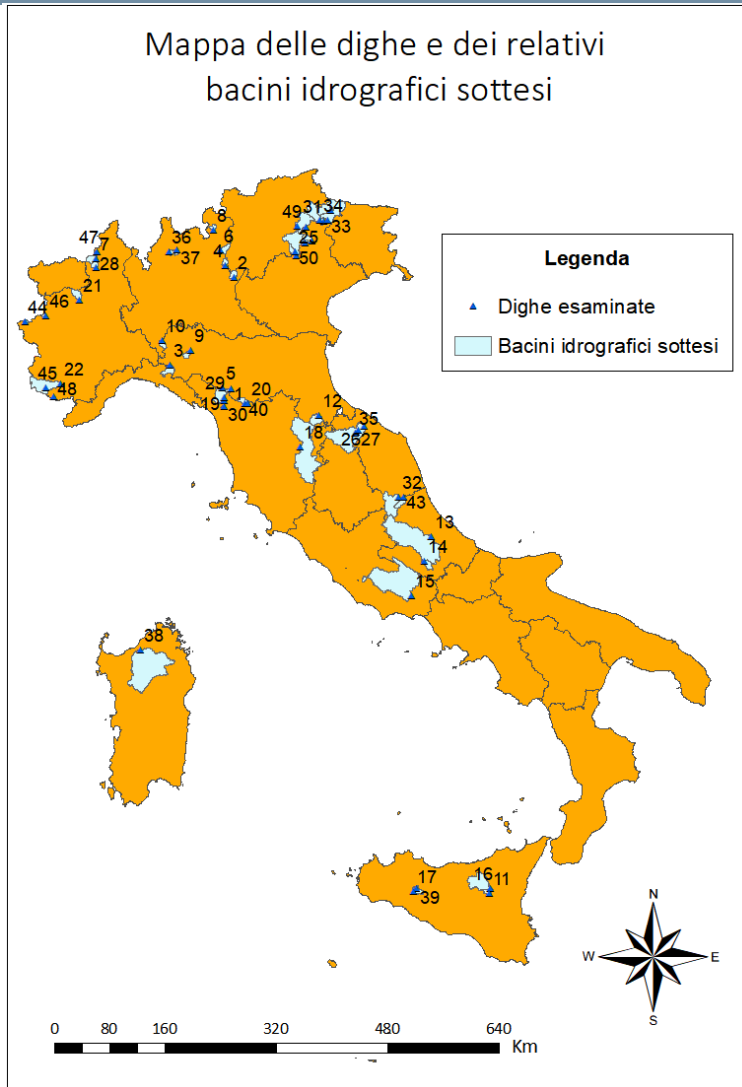


***Valutare l'apporto solido alle dighe italiane, che fornisce una misura del fenomeno della sedimentazione nelle stesse.***



# Valutazione dello stato di interrimento di 50 dighe italiane

## Dati

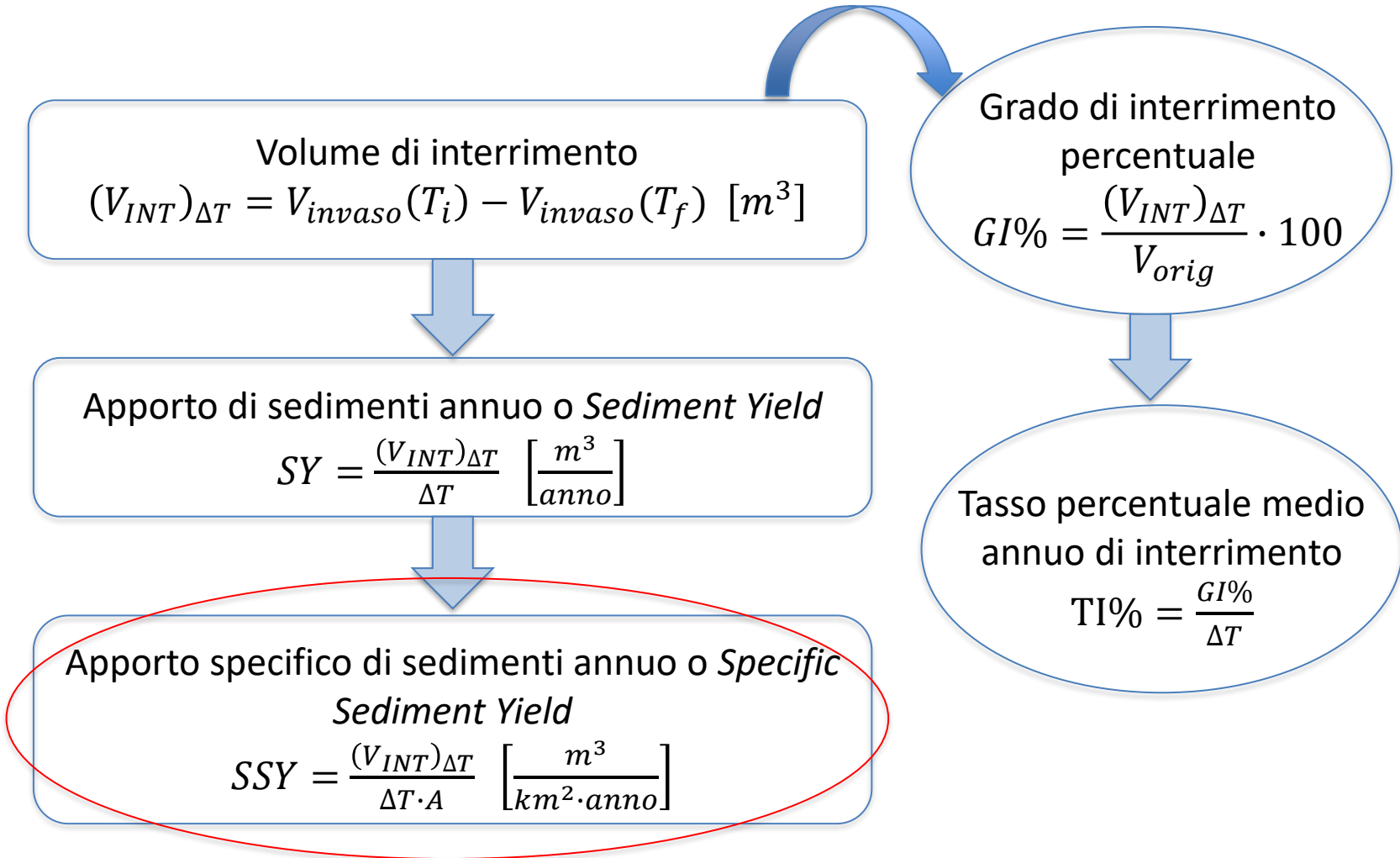


## DATI

Misure dei volumi di invaso per 50 dighe distribuite su la maggior parte del territorio italiano

# Valutazione dello stato di interrimento di 50 dighe italiane

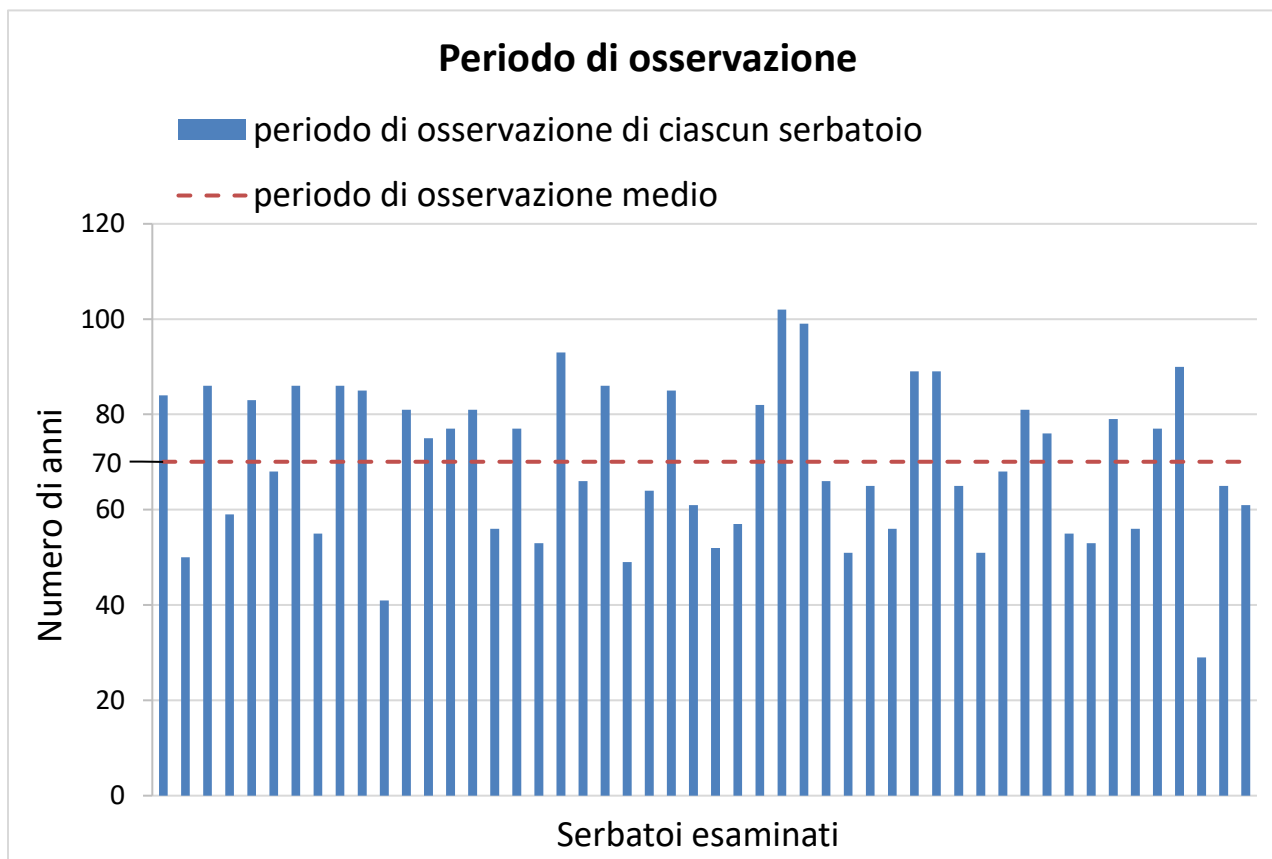
## Definizioni operative



# Valutazione dello stato di interrimento di 50 dighe italiane

## *Periodo di osservazione*

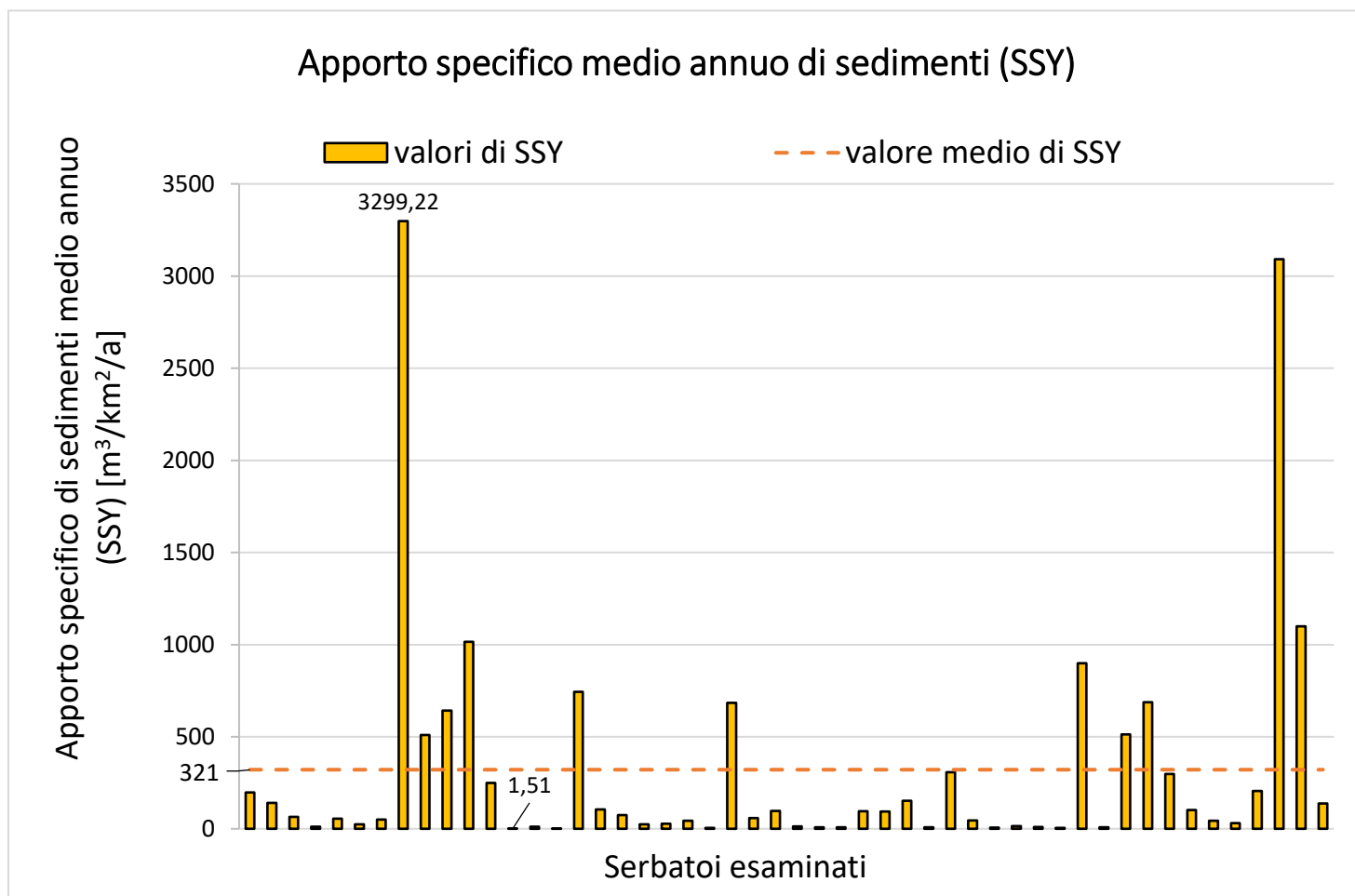
Il periodo di osservazione considerato per ciascuna diga coincide con l'intervallo di tempo (numero di anni) che intercorre tra l'anno di costruzione e l'anno più recente a cui è disponibile l'informazione sul volume di invaso misurato.



# Valutazione dello stato di interrimento di 50 dighe italiane

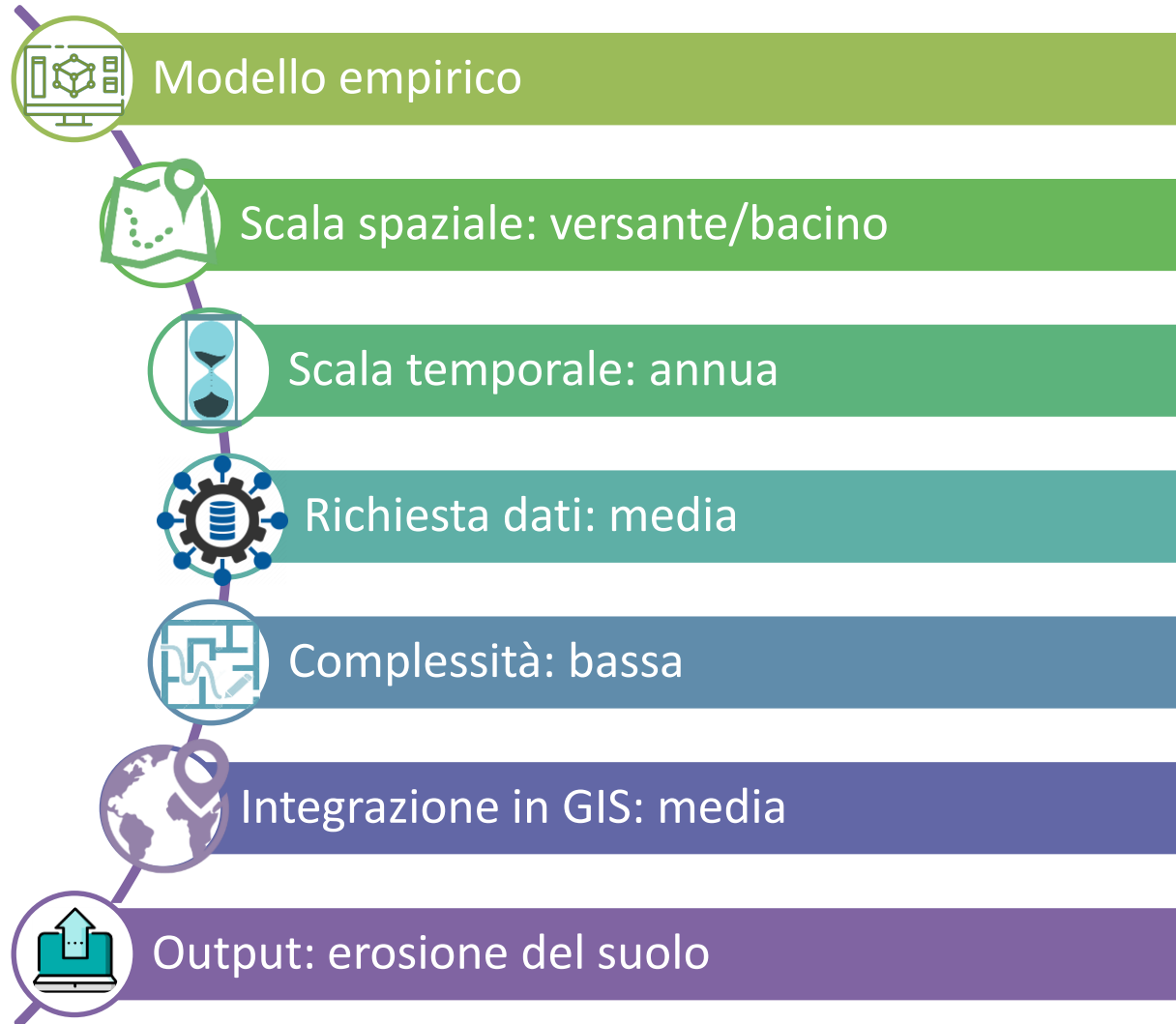
## Apporto specifico di sedimenti medio annuo

Valore di apporto specifico di sedimenti medio annuo per ciascun serbatoio esaminato



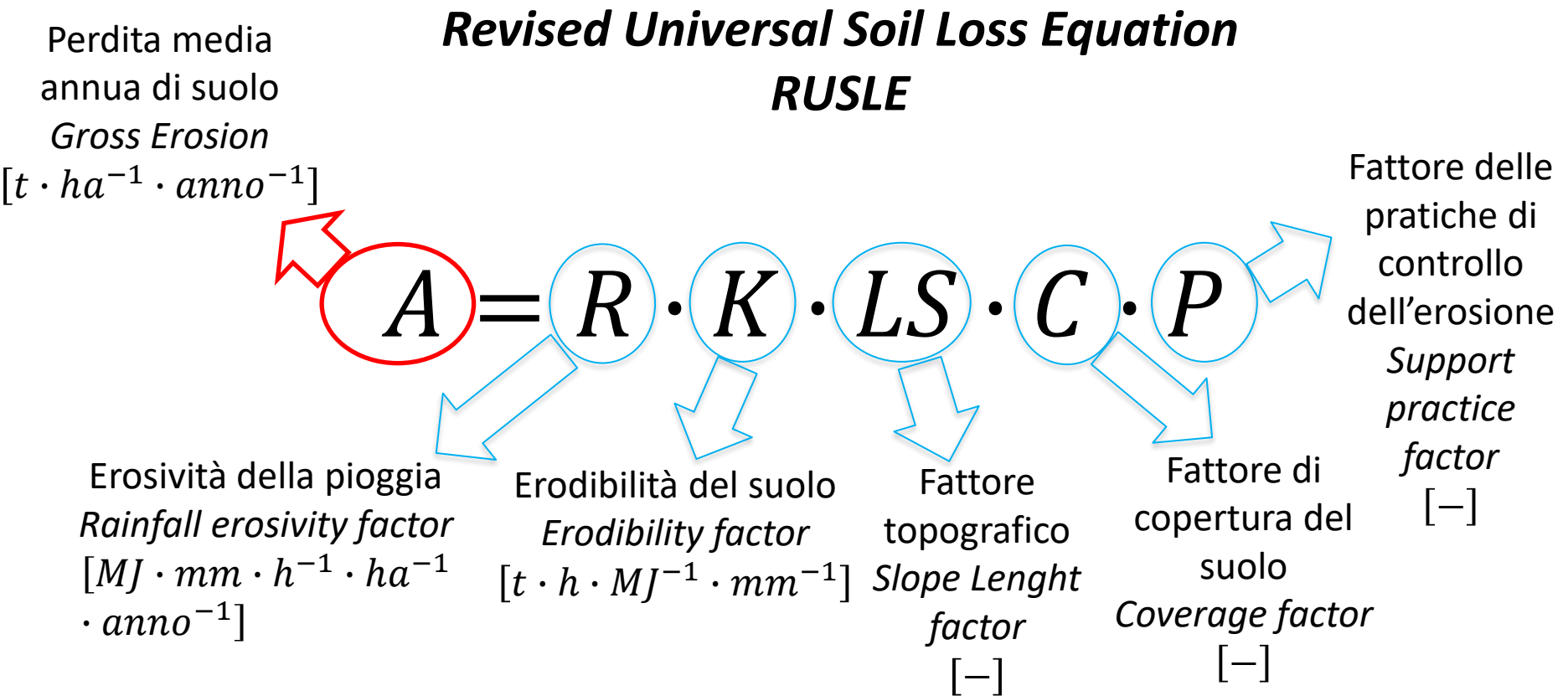


# Applicazione del modello RUSLE per il calcolo della perdita di suolo – *Caratteristiche del modello*





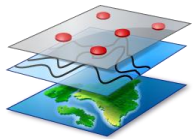
# Applicazione del modello RUSLE per il calcolo della perdita di suolo – *Equazione del modello*



# Applicazione del modello RUSLE per il calcolo della perdita di suolo – *Integrazione in ambiente GIS*



Il modello RUSLE è stato implementato in un idoneo Sistema Informativo Geografico (GIS), che ha consentito una gestione efficace dei dati richiesti dal modello.



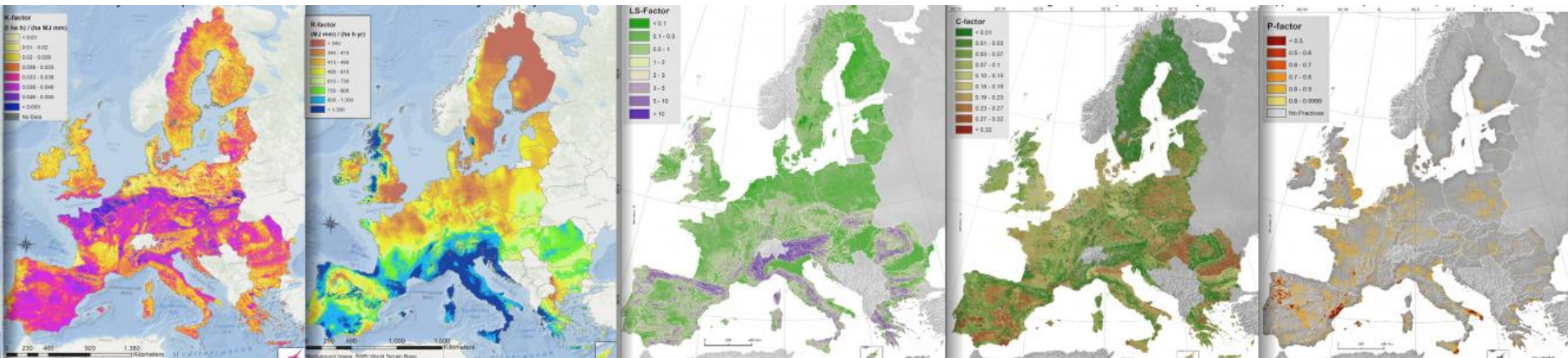
**Dataset:**



JOINT RESEARCH CENTRE  
EUROPEAN SOIL DATA CENTRE (ESDAC)

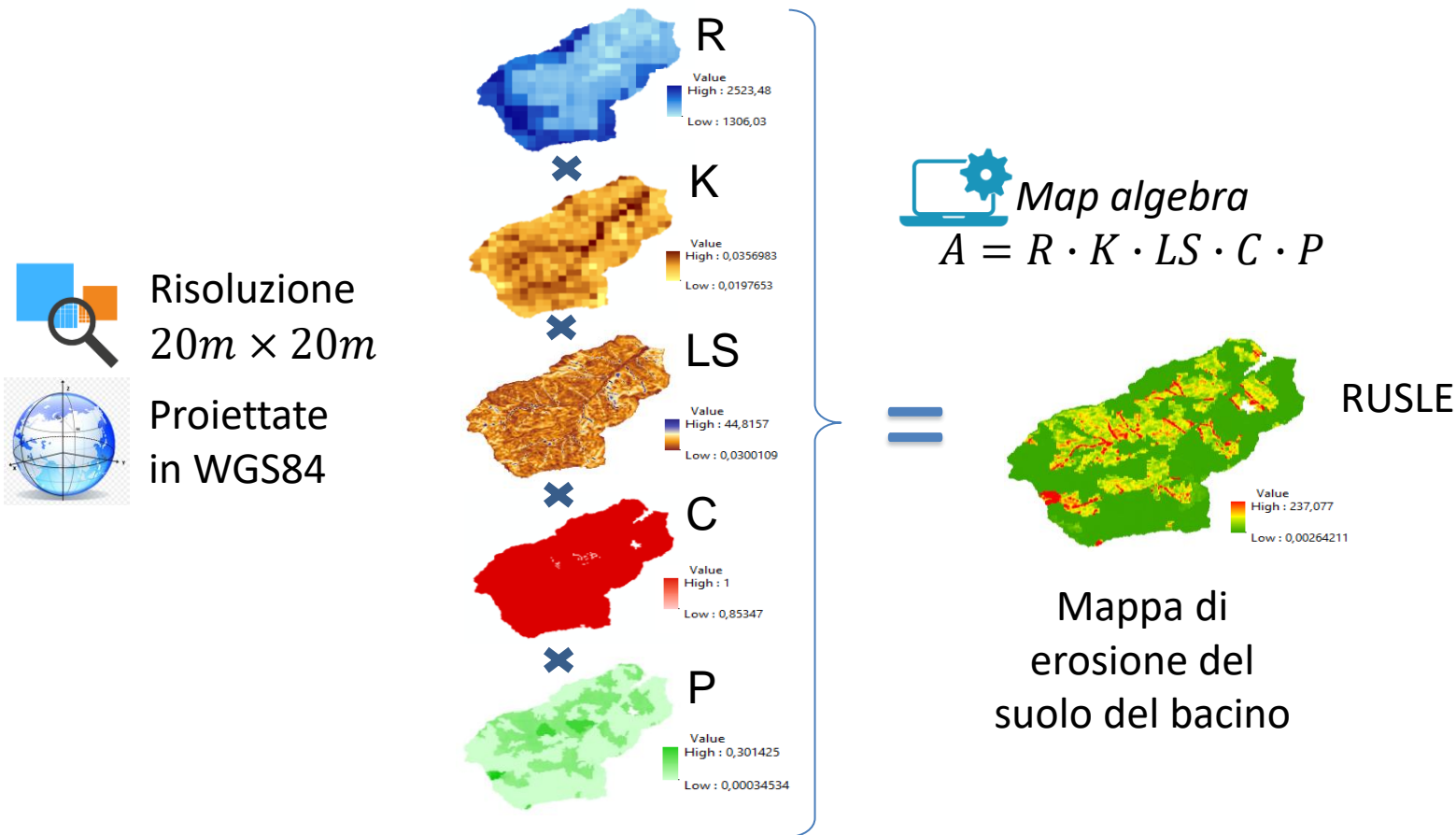


Mappe europee per ciascun fattore della RUSLE



# Applicazione del modello RUSLE per il calcolo della perdita di suolo – *Integrazione in ambiente GIS*

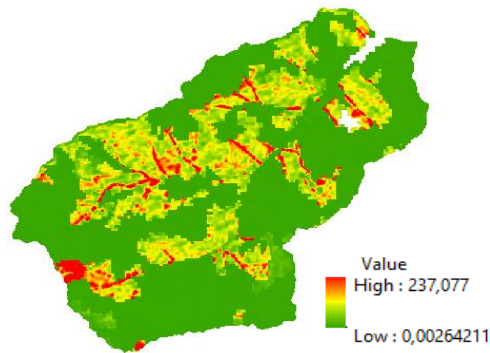
Le mappe tematiche di ciascun fattore della RUSLE scaricate dall'ESDAC sono state elaborate in ArcMAP10.5 per estrarre le mappe dei fattori relative ad ogni bacino.



# Applicazione del modello RUSLE per il calcolo della perdita di suolo – Risultati

Per ciascun bacino viene preso come valore di perdita del suolo media annua, il valore medio di perdita del suolo espresso in  $[t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}]$  calcolato automaticamente dal software GIS.

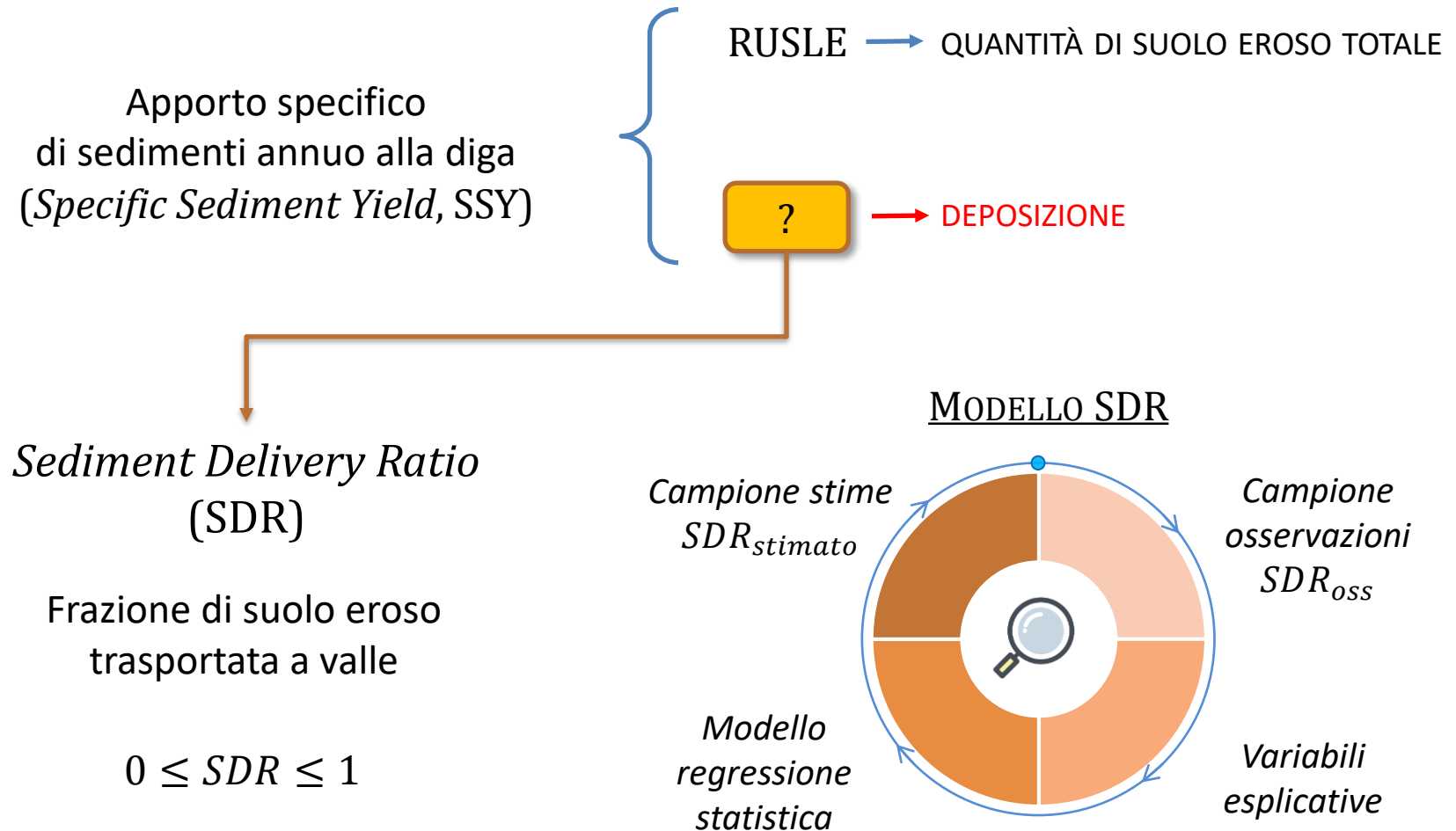
Mappa di erosione del suolo del bacino



Proprietà del raster

Property	Value
<b>Vertical Coordinate System...</b>	
<input type="checkbox"/> <b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> SYmignano	
Build Parameters	skipped columns: 1, rows: 1,
Min	0,0026
Max	237,076
<b>Mean</b>	<b>8,709</b>
Std dev.	14,898
Classes	0

# Il Sediment Delivery Ratio (SDR)



# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Definizione del campione

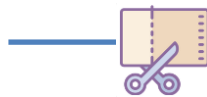
$SSY$  osservato da misure dei volumi  
d'invaso

$GE$  (gross erosion) calcolata dal modello  
RUSLE

$$SDR_{oss} \triangleq \frac{SSY_{oss}}{GE_{RUSLE}}$$

Campione:

50  $SDR_{oss}$



44  $SDR_{oss}$



20 ALPI



24 APPENNINI

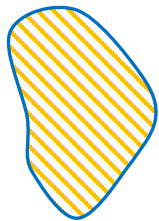
# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Variabili esplicative

$SDR = f(\text{fattori idrologici, morfologia del bacino, copertura vegetativa, composizione suolo, misure di gestione dei sedimenti, ecc.})$

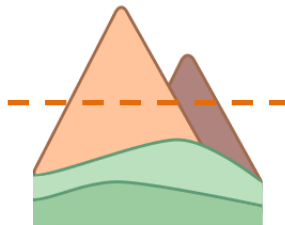
13 variabili di partenza  4 variabili *significative*

Rapporto di circolarità



$$R_c = 4\pi A / P^2$$

Elevazione media



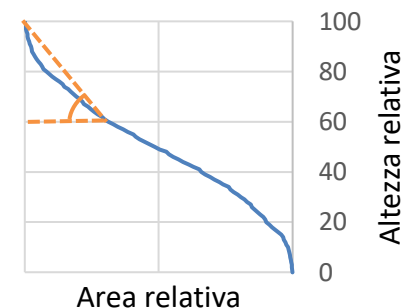
$E$

Area



$A$

Pendenza media curva  
ipsografica in  $H=60\%$



$P_{60}$

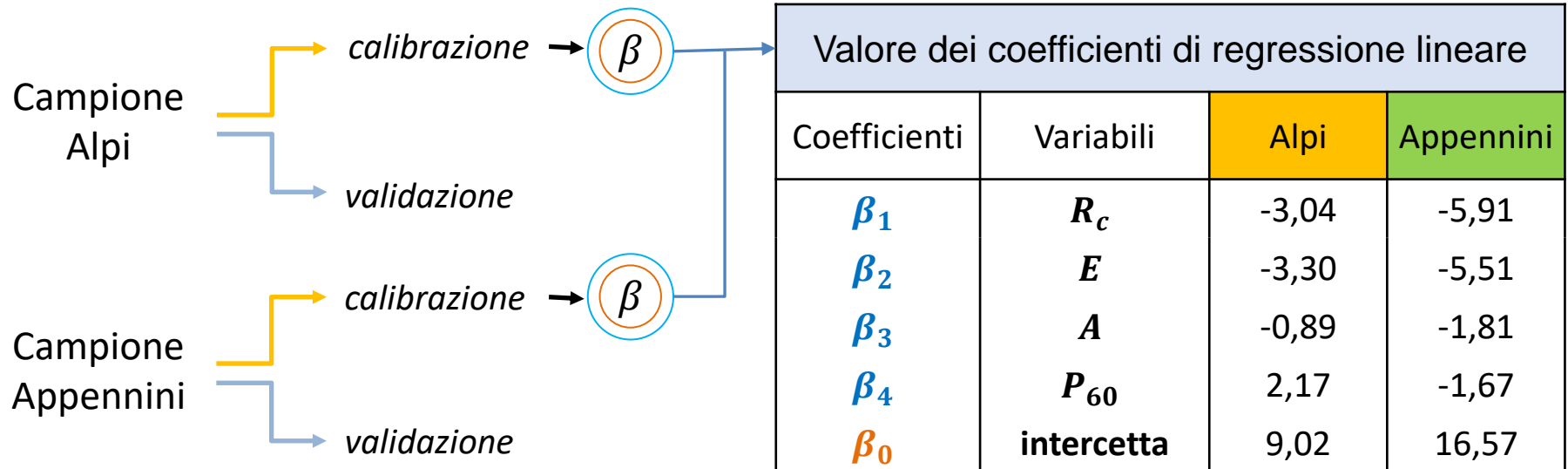


# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Regressione statistica

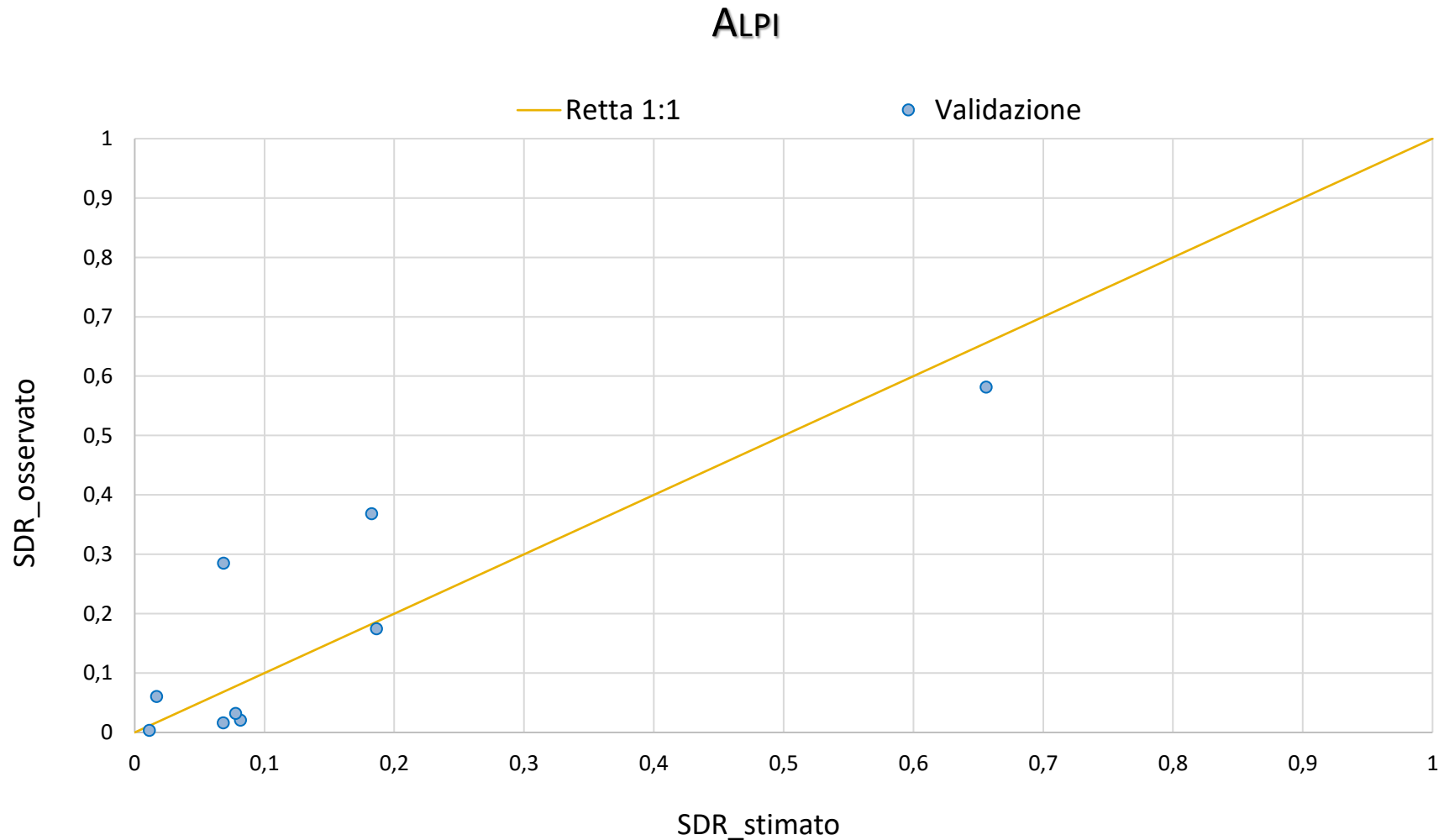
REGRESSIONE STATISTICA MULTIPLA:

$$\log SDR = \beta_1 \log R_c + \beta_2 \log E + \beta_3 \log A + \beta_4 \log P_{60} + \beta_0$$



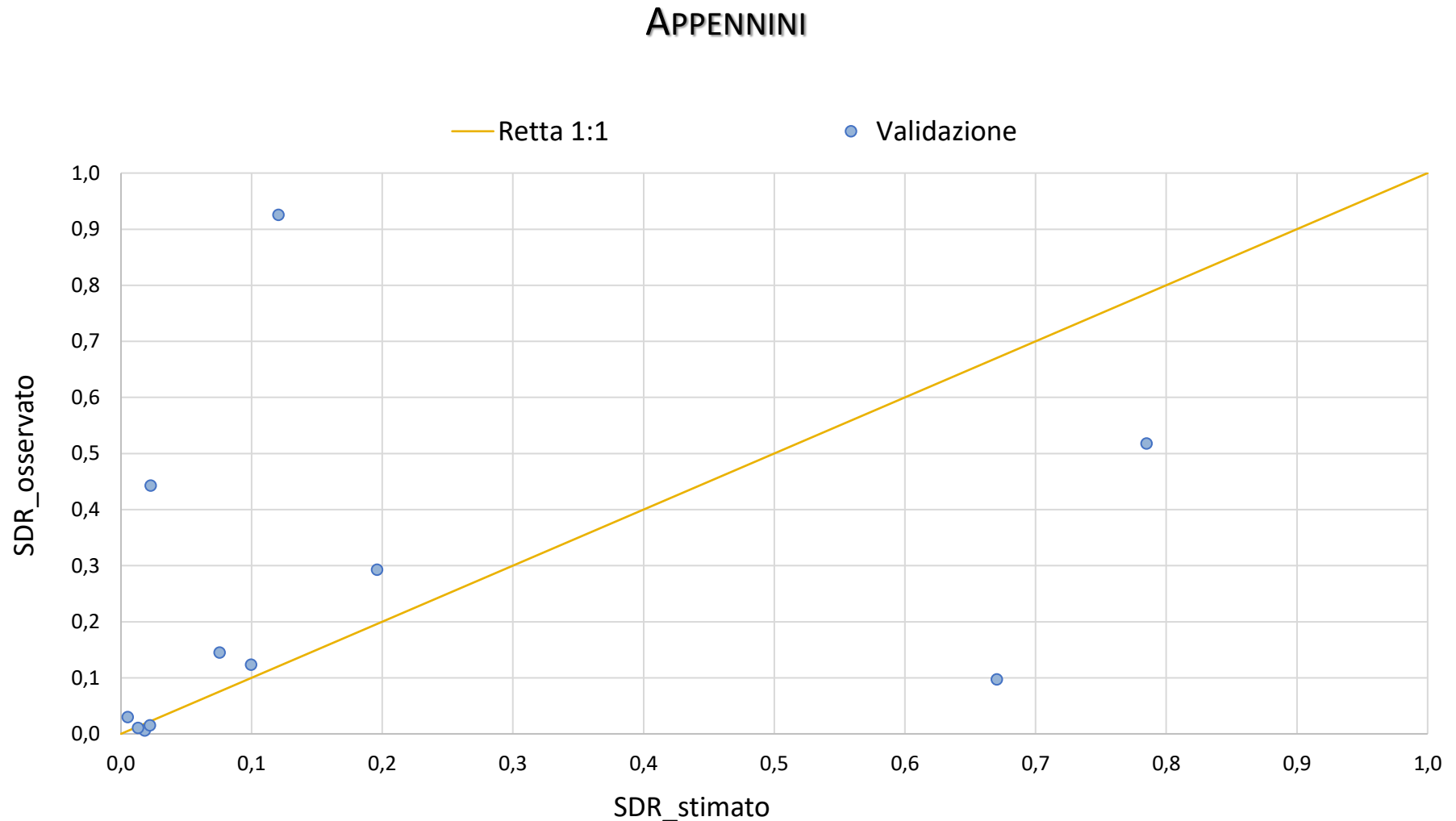
# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

*Grafici di regressione lineare*



# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Grafici di regressione lineare



# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Bontà della regressione

Indicatori:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i^n (y - \hat{y})^2}{\sum_i^n (y - \bar{y})^2} \quad RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_i^n (y - \hat{y})^2} \quad MAE = \frac{1}{n} \sum_i^n |y - \hat{y}|$$

Valori indicatori ottenuti dalla regressione lineare				
	Alpi		Appennini	
	Calibrazione	Validazione	Calibrazione	Validazione
<b><math>R^2</math></b>	0,81	0,70 ✓	0,89	-130,37 !
<b><math>RMSE</math></b>	0,20	0,10 ✓	0,12	3,33 !
<b><math>MAE</math></b>	0,11	0,08 ✓	0,08	1,15 !

# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Ricampionamento con metodo Jackknife

### RICAMPIONAMENTO - Metodo Jackknife

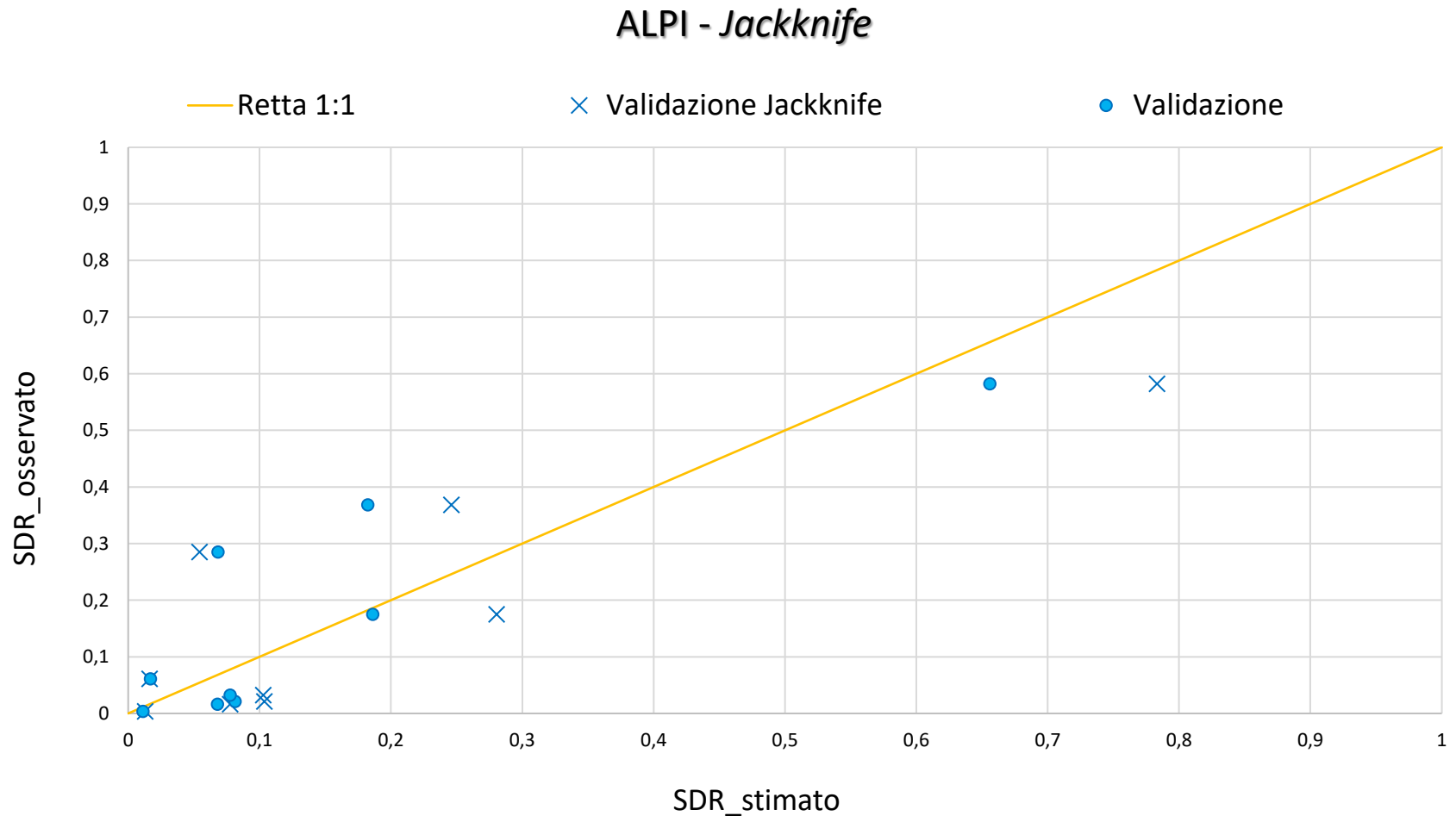
*Scopo:* ridurre le distorsioni nella stima delle statistiche di interesse

$$J = nt_n - \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n t_{n-1}^{(i)}$$

Valori dei coefficienti Jackknife			
Coefficienti stimati con Jackknife	Variabili	Alpi	Appennini
$\beta_1 \rightarrow J\beta_1$	$R_c$	-2,94	-3,32
$\beta_2 \rightarrow J\beta_2$	$E$	-3,46	-3,91
$\beta_3 \rightarrow J\beta_3$	$A$	-0,73	-1,50
$\beta_4 \rightarrow J\beta_4$	$P_{60}$	2,14	-1,03
$\beta_0 \rightarrow J\beta_0$	intercetta	9,34	12,27

# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

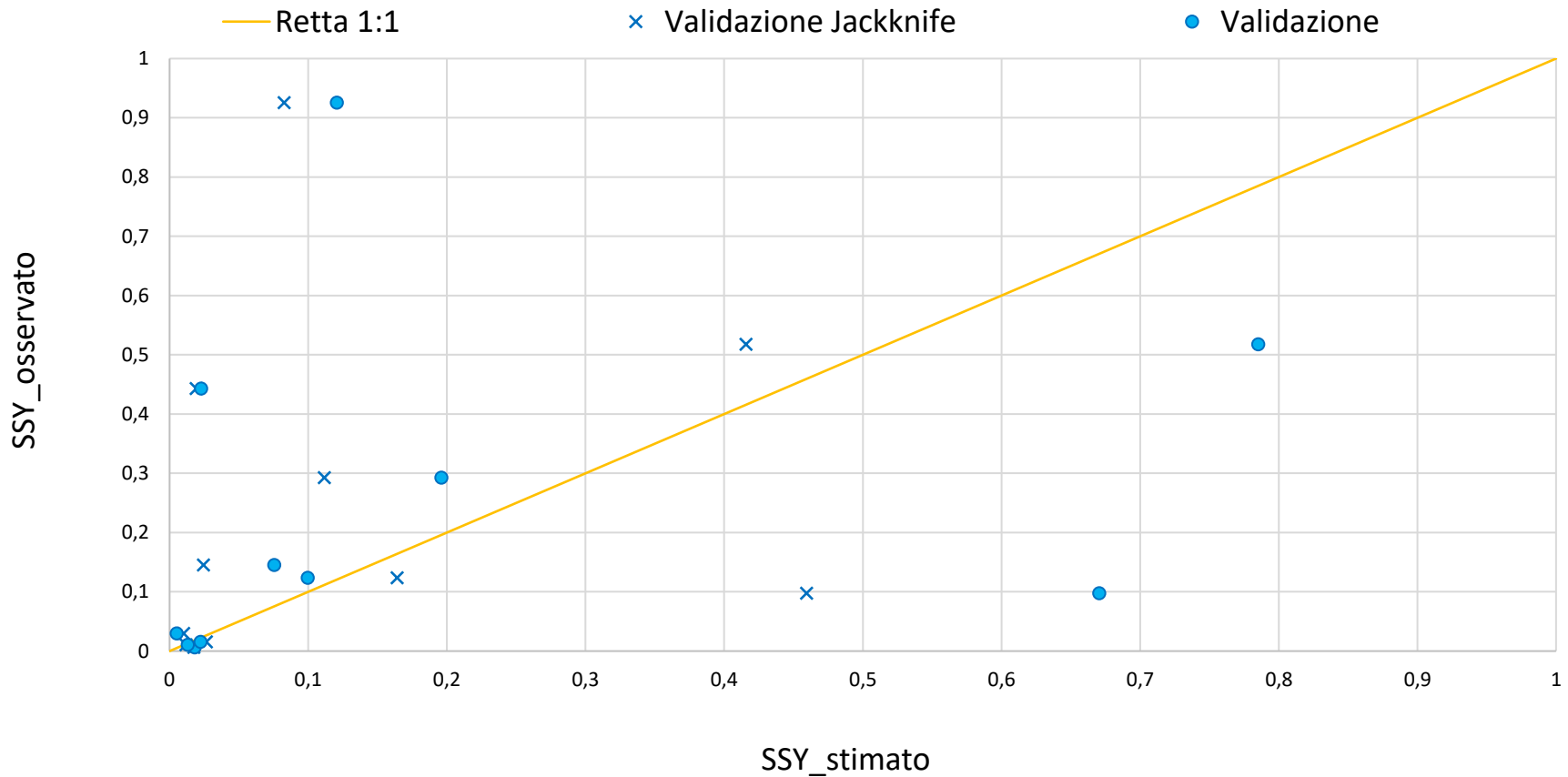
*Grafici con ricampionamento Jackknife*



# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

*Grafici con ricampionamento Jackknife*

## APPENNINI - Jackknife





# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Bontà della regressione - Metodo Jackknife

### METODO JACKKNIFE

Valori indicatori ottenuti a seguito della procedura Jackknife				
	Alpi		Appennini	
	Calibrazione	Validazione	Calibrazione	Validazione
$R^2$	0,73	0,58 ↓	0,49	-5,60 ↑
$RMSE$	0,14	0,12 ↑	0,15	0,75 ↓
$MAE$	0,08	0,10 ↑	0,10	0,37 ↓

SENZA Jackknife	
$R^2$	0,70
$RMSE$	0,10
$MAE$	0,08

SENZA Jackknife	
$R^2$	-130,37
$RMSE$	3,33
$MAE$	1,15

# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Discussione dei risultati

### ALPI



### APPENNINI



#### REGRESSIONE LINEARE

✓ Calibrazione ( $R^2 = 0,81$ )

✓ Validazione ( $R^2 = 0,70$ )

✓ Calibrazione ( $R^2 = 0,89$ )

✗ Validazione ( $R^2 = -130,4$ )

#### METODO JACKKNIFE

✓ Calibrazione ( $R^2 = 0,73$ )

✓ Validazione ( $R^2 = 0,58$ )

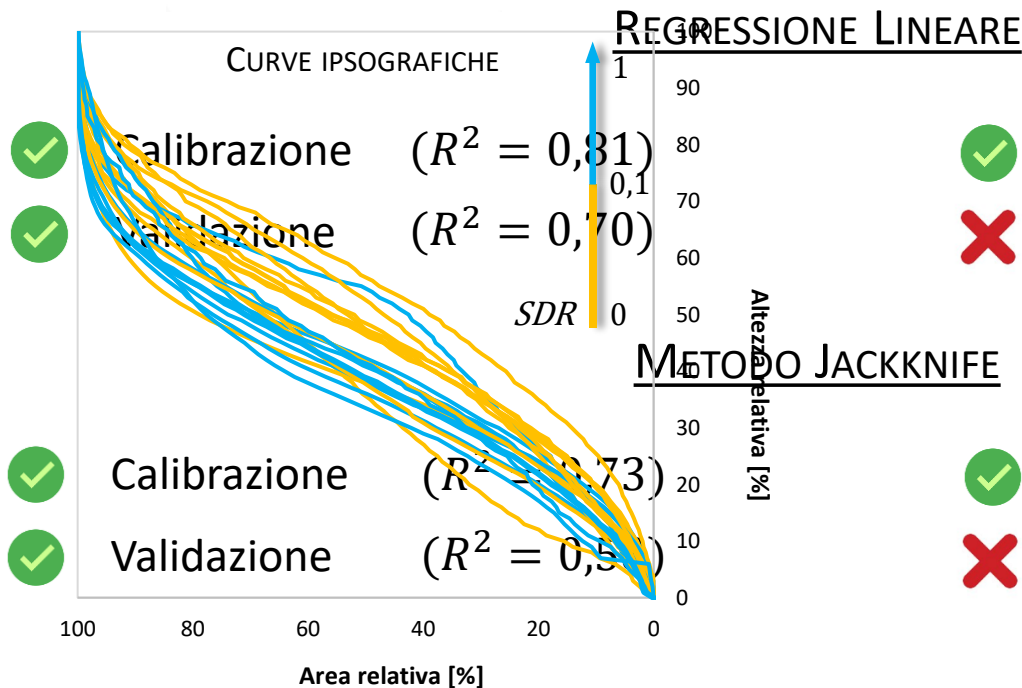
✓ Calibrazione ( $R^2 = 0,49$ )

✗ Validazione ( $R^2 = -5,60$ )

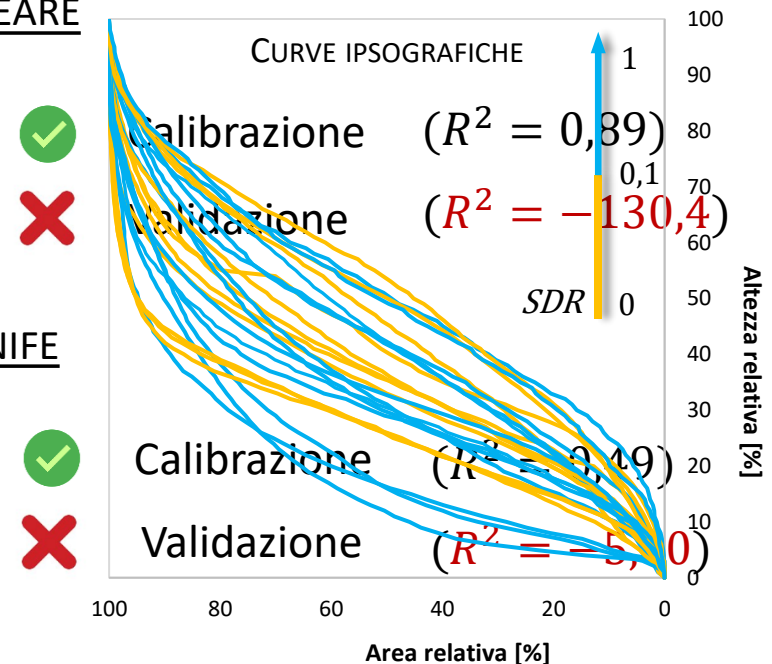
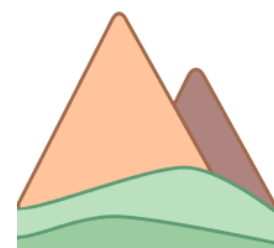
# Modello di stima del Sediment Delivery Ratio

## Discussione dei risultati

### ALPI



### APPENNINI



# Conclusioni



Fenomeno di sedimentazione negli invasi artificiali



Apporto solido alla diga: frazione che giunge alla sezione di chiusura (SDR)



Modello SDR: analisi di regressione statistica



ALPI VS APPENNINI



Differenze geologiche, di formazione ed evoluzione



Approfondimento della diversificazione tra le due macroaree



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**





# Appendice

## Procedura di calcolo per la valutazione dello stato di interrimento

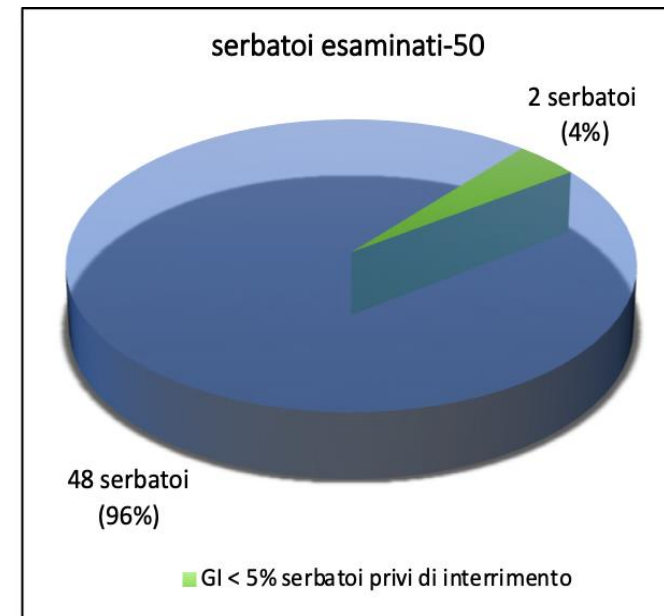
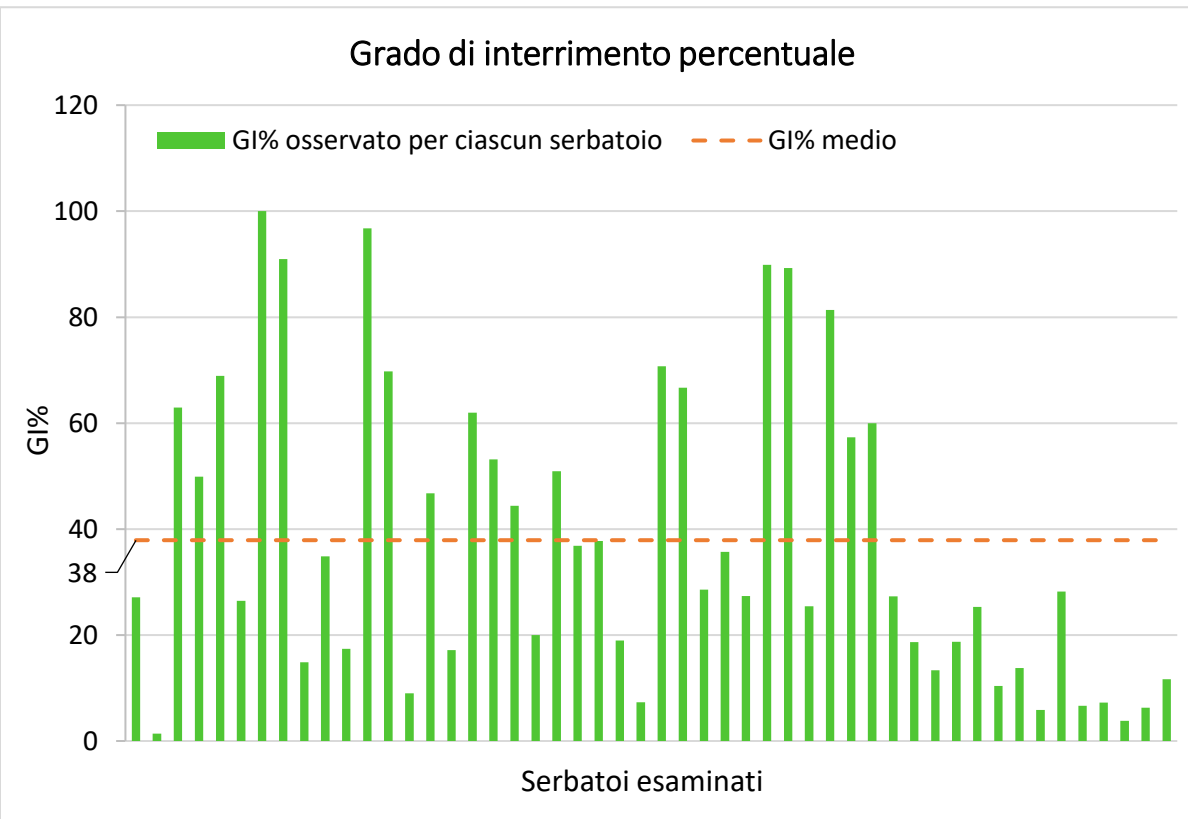
Esempio di procedura di calcolo delle grandezze considerate per un serbatoio

Area bacino imbrifero	Anno	Volume	$(V_{INT})_{\Delta T}$	GI%	TI%	SY	SSY
$[km^2]$	$[-]$	$[m^3]$	$[m^3]$	$[\%]$	$[\%]$	$[m^3/y]$	$[m^3/(km^2 \cdot y)]$
88.47	1932	15502000	-	-	-	-	-
	1951	14720000	782000	5.04	0.27	41157.89	465.22
	1985	13617080	1102920	7.11	0.21	32438.82	366.66
	2003	14095141	<del>-478061</del>	-3.08	<del>-0.17</del>	<del>-26558.94</del>	<del>-300.20</del>
	2012	13412052	683089	4.41	0.49	75898.78	857.90
	2015	13564385	<del>-152333</del>	-0.98	<del>-0.33</del>	<del>-50777.67</del>	<del>-573.95</del>
	2018	13199546	364839	2.35	0.78	121613.00	1374.62
				14.85	0.29	45120.74	510.01
				<i>totale</i>	<i>media</i>	<i>media</i>	<i>media</i>

$$TI\%_{medio} = \frac{0.27 \cdot (\Delta T_1) + 0.21 \cdot (\Delta T_2) + 0.49 \cdot (\Delta T_4) + 0.78 \cdot (\Delta T_6)}{\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_4 + \Delta T_6} = 0.29$$

# Appendice

## Grado di interrimento percentuale

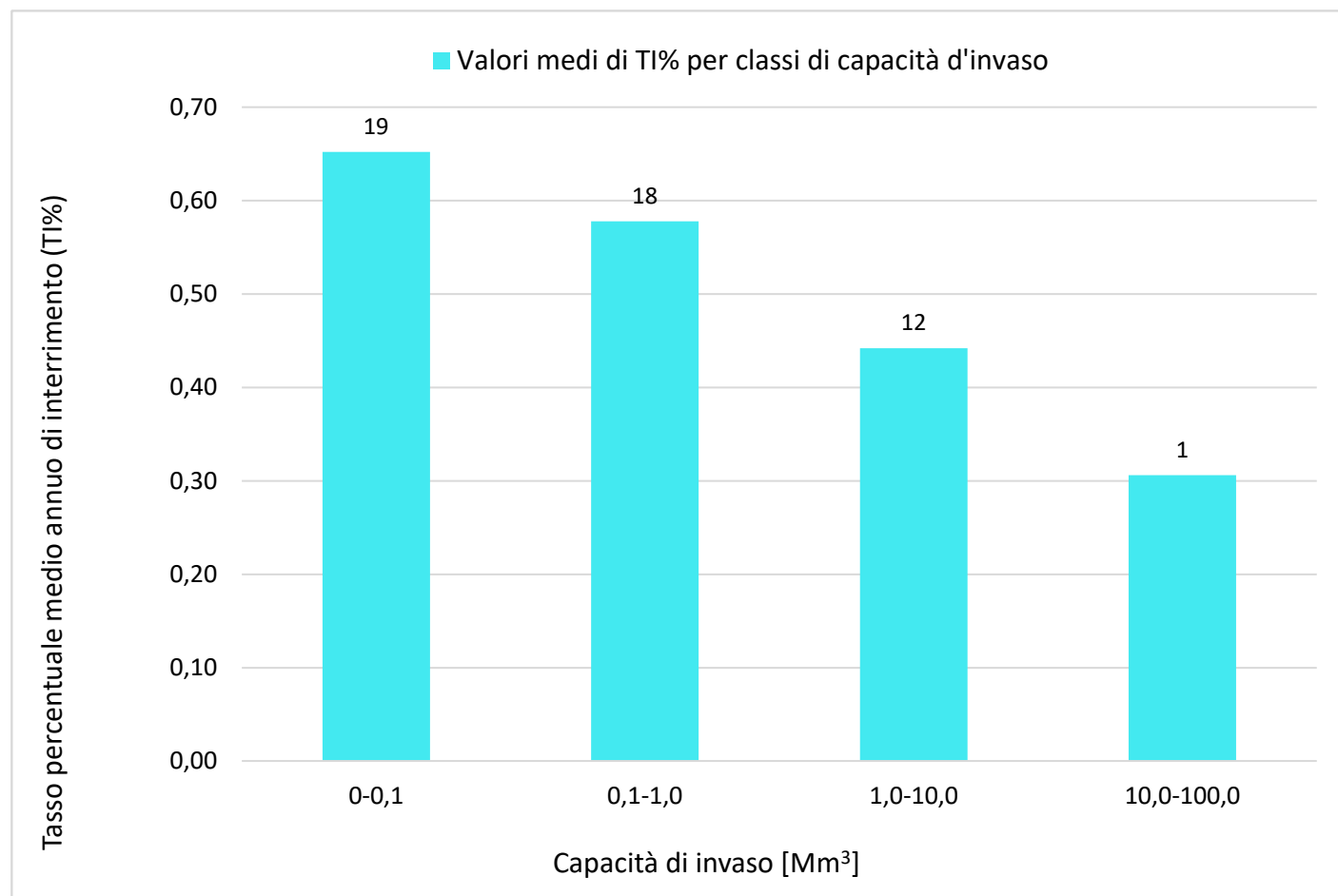


Macroarea	Numero serbatoi esaminati	GI < 5%	GI ≥ 5%	GI% medio
Alpi	26	2	24	33%
Appennini	24	0	24	43%
<i>totale</i>	50	2	48	



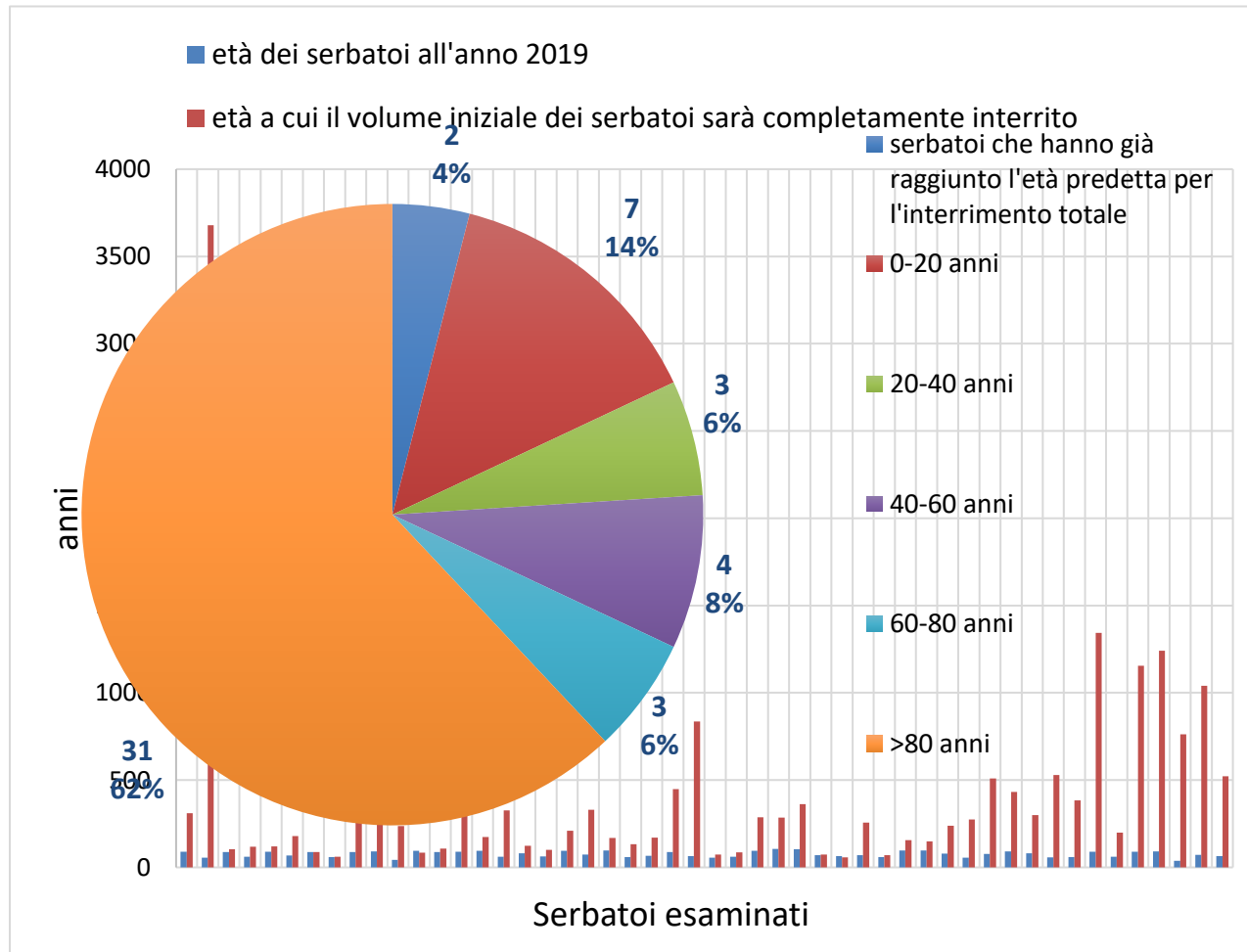
# Appendice

## *Tasso percentuale medio annuo di interrimento*



# Appendice

## Previsioni interrimento



### Caratteristiche mappa fattore $R$

Copertura spaziale	Unione Europea (28 stati) e Svizzera
Grandezza del pixel	500 <i>m</i>
Unità di misura	<i>MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup></i>
Proiezione	ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area
Copertura temporale	40 anni – decennio predominante: 2000 – 2010

### Per l'Italia

- 386 stazioni metereologiche
- Serie temporale: 10 anni, con risoluzione 30 min
- Metodo di interpolazione: Kriging.

### Caratteristiche mappa fattore $K$

Copertura spaziale	Unione Europea (28 stati) e alcuni stati extra-europei (Norvegia, Svizzera, Balcani, Moldavia e Ucraina).
Grandezza del pixel	500 <i>m</i>
Proiezione	ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area
Copertura temporale	2014
Risorsa dati input	LUCAS point data, European Soil Database

### Caratteristiche mappa fattore $C$

Copertura spaziale	Unione Europea (28 stati)
Grandezza del pixel	100 <i>m</i>
Unità di misura	Adimensionale
Proiezione	ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area
Copertura temporale	2010

### Caratteristiche mappa fattore $P$

Copertura spaziale	Unione Europea (28 stati)
Grandezza del pixel	500 <i>m</i>
Unità di misura	adimensionale
Proiezione	ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area
Copertura temporale	2010

# Appendice

## *Variabili descrittive dell'SDR*

*SDR = f(fattori idrologici, morfologia del bacino, copertura vegetativa, composizione suolo, misure di gestione dei sedimenti, ecc.)*



### Variabili climatologiche/idrologiche:

- **Fattore R** “*Rainfall Erosivity factor*” considerato nel modello RUSLE;
- **La precipitazione media annua:** valore di precipitazione media annua rilevato alla stazione più vicina alla diga.



# Appendice

## Variabili descrittive dell'SDR



### Variabili morfologiche/morfometriche:

- **Area** del bacino;
- **Elevazione media** del bacino;
- **Pendenza media** del bacino;
- **Fattore LS** “*Lenght Slope factor*” considerato nel modello RUSLE;
- **Densità di drenaggio**: ovvero il rapporto tra la lunghezza totale dei corsi d’acqua all’interno del bacino e l’area del bacino;
- **Relief Length Ratio**: ovvero il rapporto tra il dislivello tra il punto a quota massima nel bacino e quello a quota minima e l’area del bacino;

# Appendice

## Variabili descrittive dell'SDR



### Variabili morfologiche/morfometriche:

- **Rapporto di uniformità o fattore di compattezza:** è il rapporto tra il perimetro  $P$  del bacino e la circonferenza del cerchio di uguale area  $A$ :

$$R_u = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

- **Integrale ipsometric  $H_{si}$ :** definito come il rapporto tra il dislivello tra la quota media e la quota minima del bacino ed il dislivello tra la quota massima e la quota minima del bacino:

$$H_{si} = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$$

# Appendice

## Variabili descrittive dell'SDR



### Variabili morfologiche/morfometriche:

- **Pendenza della curva ipsografica:** calcolata come pendenza della retta passante per il punto a quota massima ed il punto a quota relativa 60% della curva ipsografica.
- **Rapporto di circolarità:** definito come il rapporto tra l'area del bacino  $A$  e l'area del cerchio di uguale perimetro  $P$ :

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$



### Variabile di uso e mantenimento del suolo e di copertura vegetativa

- **Copertura del suolo** “fattore  $C$ ” considerato nel modello RUSLE.

# Appendice

## Variabili descrittive dell'SDR



### Variabili morfologiche/morfometriche:

- **Pendenza della curva ipsografica:** calcolata come pendenza della retta passante per il punto a quota massima ed il punto a quota relativa 60% della curva ipsografica.
- **Rapporto di circolarità:** definito come il rapporto tra l'area del bacino  $A$  e l'area del cerchio di uguale perimetro  $P$ :

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$

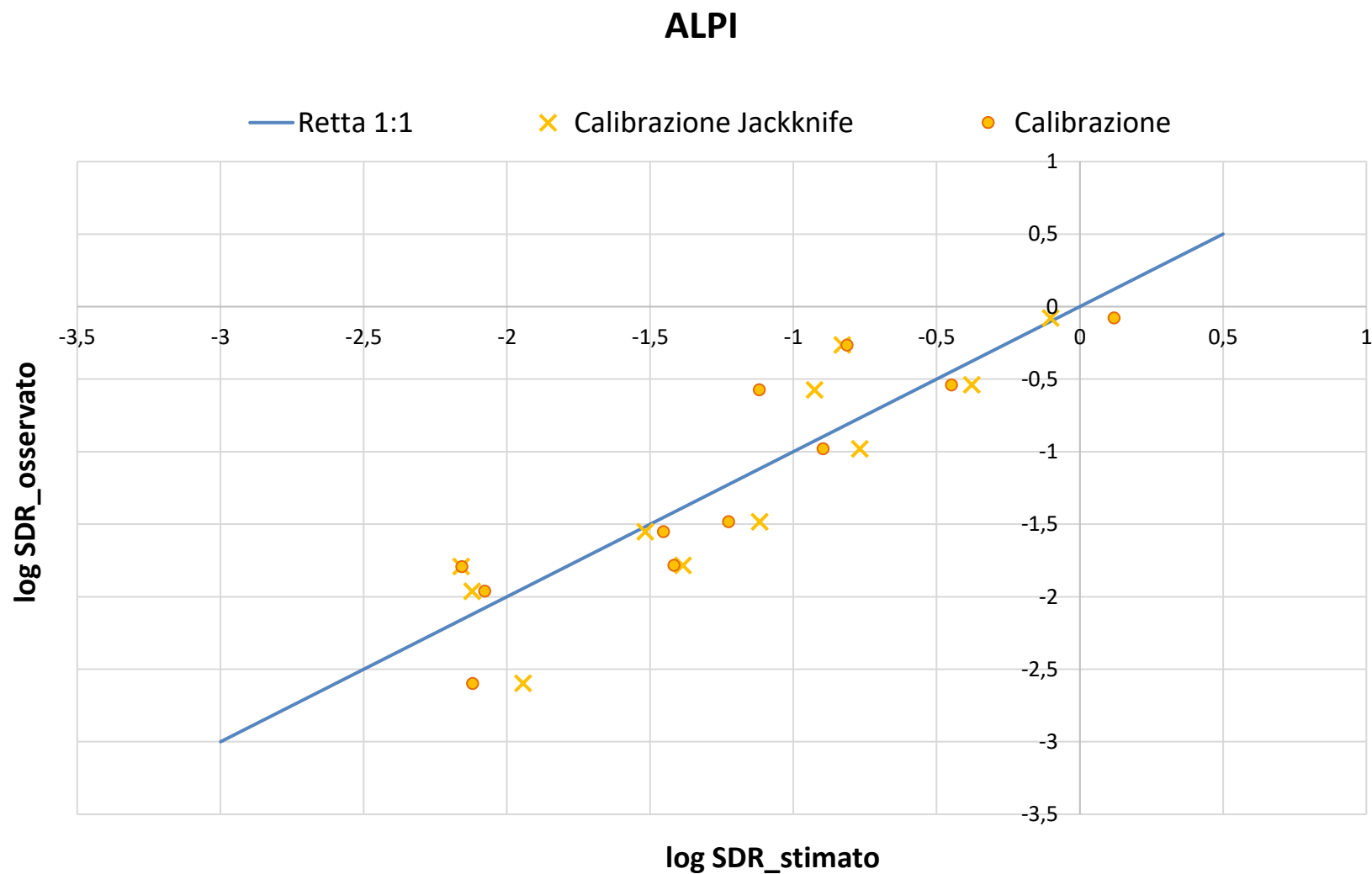


### Variabile di uso e mantenimento del suolo e di copertura vegetativa

- **Copertura del suolo** “fattore  $C$ ” considerato nel modello RUSLE.

# Appendice

## Grafici in calibrazione



# Appendice

## Grafici in calibrazione

