RegioneLombardia

# PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

# COMUNE DI CONSIGLIO DI RUMO

## Provincia di Como

Aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica di supporto al Piano di Governo del Territorio - L.R. 12/05 e successive modifiche.

## ANALISI DELLA PERICOLOSITA' DEL CONOIDE DEL TORRENTE LIRO

## DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA DEL LAGO DI COMO


Geo Te Am
Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale
Via Villatico 11 – 23823 Colico (Lc)
+39 0341 933011
www.studiogeoteam.com
tecnico@studiogeoteam.com

COLLABORAZIONE IDRAULICA:
*Ing. Claudia Anselmini*

*Dott. Geol. Claudio Depoli*

COLLABORAZIONE *Dott.ssa Valentina Pozzi*


| | | |
|---|---|---|
| DATA: **Ottobre 2010** | SCALA: "" | Sindaco |
| REV.: | ELAB.: **C.3** | Segretario |

STUDIO DI INGEGNERIA AMBIENTALE

DOTT. ING. CLAUDIA ANSELMINI

DERVIO (LC) VIA MARTIRI, 33
TEL. / FAX 0341-851176
P. IVA 02601060136
STUDIO.ANSELMINI@GMAIL.COM

# COMUNE DI CONSIGLIO DI RUMO

## PROVINCIA DI COMO

**AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA A SUPPORTO DEL P.G.T.**

# DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA DEL LAGO DI COMO

*Dervio (Lc), ottobre 2010*

*Dott. Ing.Claudia Anselmini*

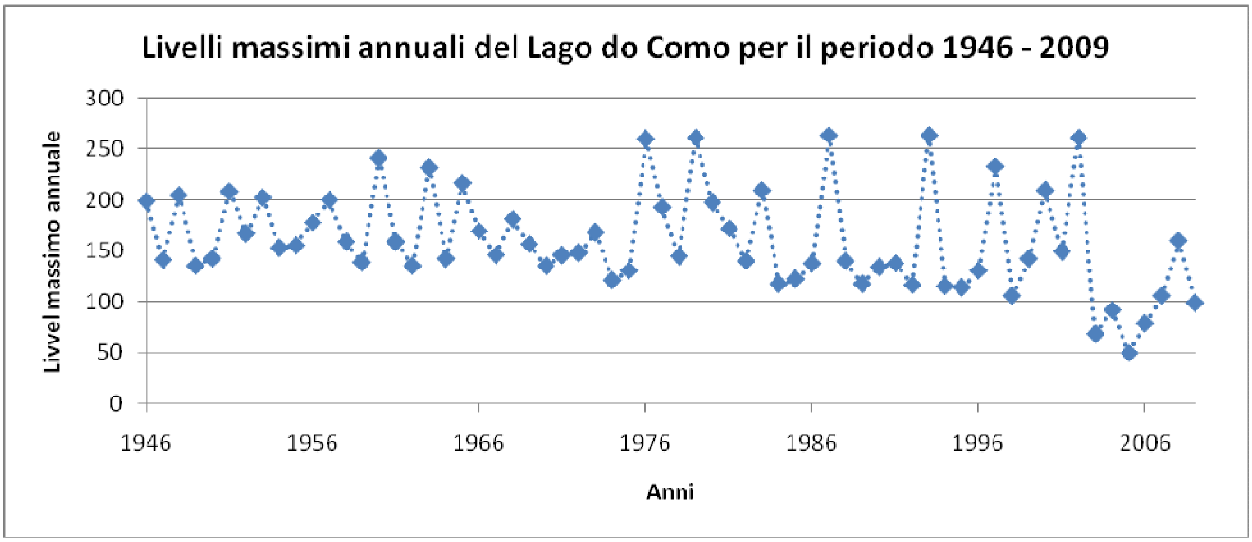
ORDINE INGEGNERI
Dott. Ing.
ANSELMINI
CLAUDIA
N. 655
PROV. DI LECCO

# 1.0 DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA DEL LAGO DI COMO – STAZIONE DI MALGRATE

Per la determinazione dei possibili livelli di esondazione, si è provveduto ad effettuare un'analisi della frequenza dei livelli del bacino lariano stimando il livello idrometrico del Lago in caso di una sua piena per assegnati tempi di ritorno mediante l'analisi statistica dei dati utili esistenti.

## 1.1 SERIE STORICA DI DATI

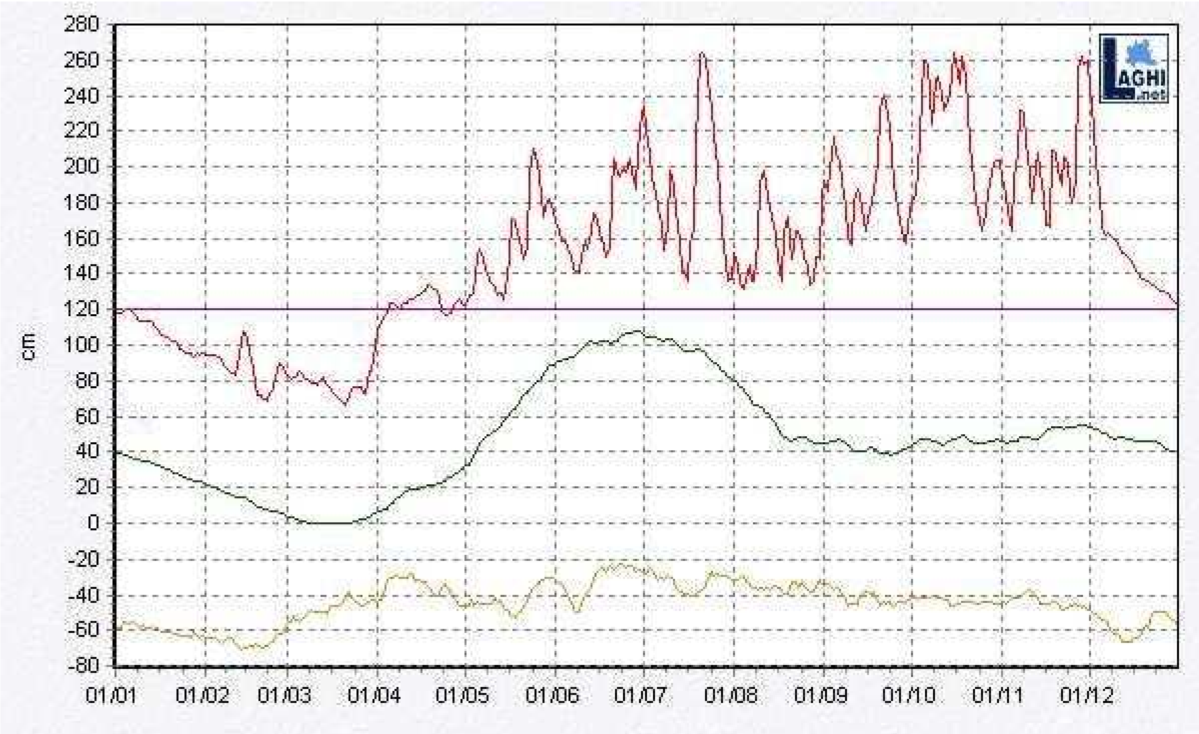
Sono stati considerati i dati registrati dal Consorzio dell'Adda alla stazione idrometrica di Malgrate e le ***massime altezze annue dal 1946 al 2009***. (I dati antecedenti a tale periodo non hanno significato ai fini della presente analisi in quanto anteriori alla gestione regolata dell'invaso. Per tale motivo non possono essere considerati omogenei e quindi appartenenti allo stesso campione).




Dopo l'entrata in funzione della diga, l'altezza massima del lago è stata registrata nel 1987 e nel 1993, con un +2,64 m rispetto allo zero idrometrico che per questa stazione è uguale a 197,37 m s.m.; mentre il livello minimo è stato registrato nel 2005 ed è stato pari a +0.50 m rispetto allo zero idrometrico.

Dall'analisi dei dati è interessante notare come nell'ultimo decennio si siano registrati sia il valore massimo (nell'anno 2002) che il valore minimo (anno 2005) della serie storica disponibile dei livelli massimi annuali.

Nel grafico seguente, è riportato l'andamento giornaliero dei valori storici (minimi in giallo, medi in verde e massimi in rosso) relativi al periodo 1946 - 2007.




*Valori storici (minimi in giallo, medi in verde e massimi in rosso) relativi al periodo 1946 – 2007*

### 1.2 ANALISI STATISTICA DEI DATI: METODOLOGIA

Per valutare il livello idrometrico del Lago per un tempo di ritorno prefissato (T=50,100, 200, 500, etc. anni) è stata eseguita un'analisi statistica sul campione di dati a disposizione costituito dai massimi livelli di piena annuali della serie storica disponibile dal 1946 ad oggi.

L'elaborazione statistica è stata condotta ipotizzando che il campione si distribuisca secondo una distribuzione di probabilità, che, in questo caso è stata ipotizzata essere la **legge di Gumbel**, che si esprime attraverso la seguente relazione:

$$P_x(x) = e^{-e^{y}} = e^{-e^{\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

in cui *X* è la variabile casuale (in questo caso il livello massimo del lago), y è la cosiddetta variabile ridotta di Gumbel, mentre $\alpha$ ed *u* sono i parametri caratteristici della legge di probabilità.

I parametri $\alpha$ ed *u* possono essere stimati mediante il metodo dei momenti attraverso le seguenti relazioni:

$$\alpha = 0{,}779\sigma \qquad u = \mu - 0{,}5772\alpha$$

dove $\sigma$ è lo scarto quadratico medio del campione e $\mu$ è la media del campione della variabile *X.*

Invertendo la Legge di distribuzione di Gumbel, utilizzando i valori dei parametri caratteristici stimati mediante il metodo dei momenti e sostituendo il tempo di ritorno *T* dell'evento con la probabilità di superamento *P* si ottiene la seguente relazione

$$h(T) = u - \alpha \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]$$

che consente di stimare il livello massimo *h* del lago per un assegnato tempo di ritorno *T* dell'evento.

### 1.3 ANALISI STATISTICA DEI DATI: RISULTATI

Nella tabella seguente sono riportati i parametri caratteristici della legge di distribuzione di probabilità di Gumbel applicata al campione dei livelli massimi annuali del lago di Como considerato costituito da n.64 valori.

**Legge di GUMBEL**

$$h = u - \alpha\left[\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)\right]$$

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha = 0{,}779\sigma$ | media | $\mu = 1/N * \Sigma hi$ |
| $u = \mu - 0{,}5772\alpha$ | sqm | $\sigma$ = rad ($\Sigma$ (hi $-\mu$)^2)/rad(N) |

| | |
|---|---|
| N = | 64,00 |
| media = | 160,38 |
| sqm = | 49,21 |
| **α =** | **38,33** |
| **u =** | **138,26** |

Le elaborazioni di calcolo eseguite e riportate in precedenza, forniscono i risultati trascritti nella seguente tabella in cui sono visibili le altezze idrometriche massime raggiungibili e le relative quote assolute sul mare del livello dell'invaso per assegnati tempi di ritorno.

| TEMPO DI RITORNO (anni) | h (cm) | h (m) | QUOTA (m s.m.) |
|---|---|---|---|
| 2 | 152,31 | 1,52 | 198,89 |
| 5 | 195,75 | 1,96 | 199,33 |
| 10 | 224,52 | 2,25 | 199,62 |
| 50 | 287,83 | 2,88 | 200,25 |
| **100** | **314,59** | **3,15** | **200,52** |
| 200 | 341,26 | 3,41 | 200,78 |
| 500 | 376,44 | 3,76 | 201,13 |
| 1000 | 403,03 | 4,03 | 201,40 |

### *1.4 TEST STATISTICI DI ADATTAMENTO*

Al fine di verificare l'ipotesi che la variabile cui appartiene in campione di dati sia distribuita secondo la distribuzione di probabilità prefissata, in questo caso la Legge di Gumbel, è necessario effettuare un test che misura il grado di adattamento di tale distribuzione al campione osservato.

Esistono differenti test capaci di verificare l'adattamento di una distribuzione di probabilità al campione osservato quali: Test di Pearson, Test di Kolmogorov, Test della fascia fiduciaria.

In questo caso si è scelto di verificare il grado di adattamento della distribuzione di probabilità al campione di dati mediante il Test di Pearson, detto anche del Chi-Quadrato.

**Test del chi-quadrato di Pearson**

Dato un campione della variabile *X* costituito da *N* valori, ordinati in ordine crescente, assegnata la legge $P_x(x)$ e suddiviso l'intervallo di esistenza della variabile *X* in *k* classi equiprobabili, in modo che sia verificata la relazione $Np_i \geq 5$, ovvero $n/k \geq 5$, è necessario calcolare la variabile:

$$X^2 = \sum_{1}^{k} \frac{(N_i - N \cdot p_i)^2}{N \cdot p_i}$$

in cui $N_i$ è il numero di elementi che appartengono alla *i-esima* classe *k*, *N* è in numero complessivo degli elementi del campione e $p_i$ è la probabilità che un'osservazione generica ricada all'interno dell'*i-esima* classe

E' quindi possibile dimostrare che la grandezza $X^2$ calcolata risulta distribuita secondo la legge $\chi^2$ con *k-s-1* gradi di libertà, in cui *s* indica il numero di parametri della distribuzione e *k* il numero delle classi considerate.

Definito un livello di significatività $\alpha$ è possibile verificare se il valore calcolato di $X^2$ è inferiore al valore tabulato in apposita tabella della variabile $\chi^2_{k-s-1}$ corrispondente ad una probabilità cumulata 1- $\alpha$.

Se ciò risulta verificato il test deve considerarsi superato e quindi la variabile può essere interpretata tramite la distribuzione di probabilità ipotizzata, con una significatività pari al valore percentuale $\alpha$ fissato.

La probabilità α che *non* venga superato il valore critico $\chi^2_{\alpha,g}$, nel caso di *g* gradi di libertà.

| g \ α | 0.005 | 0.01 | 0.025 | 0.05 | 0.10 | 0.90 | 0.95 | 0.975 | 0.99 | 0.995 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 2.71 | 3.84 | 5.02 | 6.63 | 7.88 |
| 2 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.10 | 0.21 | 4.61 | 5.99 | 7.38 | 9.21 | 10.60 |
| 3 | 0.07 | 0.11 | 0.22 | 0.35 | 0.58 | 6.25 | 7.81 | 9.35 | 11.34 | 12.84 |
| 4 | 0.21 | 0.30 | 0.48 | 0.71 | 1.06 | 7.78 | 9.49 | 11.14 | 13.28 | 14.86 |
| 5 | 0.41 | 0.55 | 0.83 | 1.15 | 1.61 | 9.24 | 11.07 | 12.83 | 15.09 | 16.75 |
| 6 | 0.68 | 0.87 | 1.24 | 1.64 | 2.20 | 10.64 | 12.59 | 14.45 | 16.81 | 18.55 |
| 7 | 0.99 | 1.24 | 1.69 | 2.17 | 2.83 | 12.02 | 14.07 | 16.01 | 18.48 | 20.28 |
| 8 | 1.34 | 1.65 | 2.18 | 2.73 | 3.49 | 13.36 | 15.51 | 17.53 | 20.09 | 21.95 |
| 9 | 1.73 | 2.09 | 2.70 | 3.33 | 4.17 | 14.68 | 16.92 | 19.02 | 21.67 | 23.59 |
| 10 | 2.16 | 2.56 | 3.25 | 3.94 | 4.87 | 15.99 | 18.31 | 20.48 | 23.21 | 25.19 |
| 11 | 2.60 | 3.05 | 3.82 | 4.57 | 5.58 | 17.28 | 19.68 | 21.92 | 24.72 | 26.76 |
| 12 | 3.07 | 3.57 | 4.40 | 5.23 | 6.30 | 18.55 | 21.03 | 23.34 | 26.22 | 28.30 |
| 13 | 3.57 | 4.11 | 5.01 | 5.89 | 7.04 | 19.81 | 22.36 | 24.74 | 27.69 | 29.82 |
| 14 | 4.07 | 4.66 | 5.63 | 6.57 | 7.79 | 21.06 | 23.68 | 26.12 | 29.14 | 31.32 |
| 15 | 4.60 | 5.23 | 6.26 | 7.26 | 8.55 | 22.31 | 25.00 | 27.49 | 30.58 | 32.80 |
| 16 | 5.14 | 5.81 | 6.91 | 7.96 | 9.31 | 23.54 | 26.30 | 28.85 | 32.00 | 34.27 |
| 17 | 5.70 | 6.41 | 7.56 | 8.67 | 10.09 | 24.77 | 27.59 | 30.19 | 33.41 | 35.72 |
| 18 | 6.26 | 7.01 | 8.23 | 9.39 | 10.86 | 25.99 | 28.87 | 31.53 | 34.81 | 37.16 |
| 19 | 6.84 | 7.63 | 8.91 | 10.12 | 11.65 | 27.20 | 30.14 | 32.85 | 36.19 | 38.58 |
| 20 | 7.43 | 8.26 | 9.59 | 10.85 | 12.44 | 28.41 | 31.41 | 34.17 | 37.57 | 40.00 |
| 21 | 8.03 | 8.90 | 10.28 | 11.59 | 13.24 | 29.62 | 32.67 | 35.48 | 38.93 | 41.40 |
| 22 | 8.64 | 9.54 | 10.98 | 12.34 | 14.04 | 30.81 | 33.92 | 36.78 | 40.29 | 42.80 |
| 23 | 9.26 | 10.20 | 11.69 | 13.09 | 14.85 | 32.01 | 35.17 | 38.08 | 41.64 | 44.18 |
| 24 | 9.89 | 10.86 | 12.40 | 13.85 | 15.66 | 33.20 | 36.42 | 39.36 | 42.98 | 45.56 |
| 25 | 10.52 | 11.52 | 13.12 | 14.61 | 16.47 | 34.38 | 37.65 | 40.65 | 44.31 | 46.93 |
| 26 | 11.16 | 12.20 | 13.84 | 15.38 | 17.29 | 35.56 | 38.89 | 41.92 | 45.64 | 48.29 |
| 27 | 11.81 | 12.88 | 14.57 | 16.15 | 18.11 | 36.74 | 40.11 | 43.19 | 46.96 | 49.64 |
| 28 | 12.46 | 13.56 | 15.31 | 16.93 | 18.94 | 37.92 | 41.34 | 44.46 | 48.28 | 50.99 |
| 29 | 13.12 | 14.26 | 16.05 | 17.71 | 19.77 | 39.09 | 42.56 | 45.72 | 49.59 | 52.34 |
| 30 | 13.79 | 14.95 | 16.79 | 18.49 | 20.60 | 40.26 | 43.77 | 46.98 | 50.89 | 53.67 |

Fonte: valori critici calcolati con la funzione qchisq( ,1:30) di R (software)

In questo caso assumendo una significatività del 5%, ovvero $\alpha$ = 0.05, si ha che:

- $X^2$ = 11,968

- $\chi^2_{0.95}$ con 13-2-1 gradi di libertà = 18,31

pertanto $X^2 < \chi^2_{0.95}$, ovvero il test risulta verificato e quindi è accettabile l'ipotesi che la variabile a cui appartiene in campione di dati sia distribuita secondo la distribuzione di probabilità di Gumbel.

Dervio (Lc), ottobre 2010

dott. Ing. Claudia Anselmini