

Sintesi tesi di laurea magistrale di:

Leonardo Stucchi

“LA DIGA DEL GHIACCIAIO: CAMBIAMENTI CLIMATICI E PRODUZIONE ALL’IMPIANTO DEL SABBIONE”

Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Corso di Studi in Ingegneria Civile

Anno Accademico 2017/2018

## INTRODUZIONE

L’inizio del ritiro dei ghiacciai alpini ha coinciso con la fine della Piccola Era Glaciale, il periodo tra XV e XIX secolo in cui le temperature nell’emisfero boreale erano più basse di circa  $0.6\text{ C}^\circ$  (Mann, 2002).

Da metà ‘800 a oggi le temperature registrate sulle Alpi sono aumentate in modo sensibile rispetto alla variazione media globale con un incremento di  $1.4\text{ C}^\circ$  (Brunetti et al., 2009), comportando una riduzione dell’area ricoperta di ghiaccio dell’ordine del 50% (Zemp et al., 2008). Questa contrazione dei corpi glaciali potrebbe portare in futuro ad un ammanco di acqua nei mesi estivi per i bacini ad alta quota, e limitare la produzione di energia idroelettrica per alcuni impianti (D’Agata et al., 2018).

In questa tesi si è studiato il caso della diga del Sabbione, costruita nei primi anni ‘50 in alta Val Formazza a 2460 m s.l.m., a valle dell’omonimo ghiacciaio, al fine di valutare l’impatto dei cambiamenti climatici sul corpo glaciale e sulla produzione di energia idroelettrica della centrale che sfrutta le acque dell’invaso artificiale.

Il ghiacciaio del Sabbione, inizialmente costituito da un unico corpo, è stato oggetto di studi e misure sin da fine 1800, con la “Geologische Karte der Simplon-Gruppe”. Già nel 1954 il ritiro, registrato dai primi bollettini del CGI a opera del geografo R. Pracchi e stimato in 350 metri alla fronte (Casale, 2011), aveva portato al frazionamento del ghiacciaio in tre corpi, Meridionale, Settentrionale e Centrale, tuttora esistenti. La formazione del lago artificiale, e la conseguente sommersione di parte del ghiacciaio Meridionale, hanno contribuito ad accelerare la dinamica di ritiro del ghiacciaio: lo studio di Mazza e Mercalli (1991) per il periodo 1885-1985 combinato a quello precitato di Casale, ha permesso la stima di velocità di ritiro del fronte a 33.8 metri/anno per il periodo 1952-1985 contro i 5.2 metri/anno per il periodo 1885-1952. Gli stessi Mazza e Mercalli inoltre hanno stimato per il periodo 1885-1987 una perdita di volume del ghiacciaio pari al 50% di quello iniziale.

## METODOLOGIA

L’utilizzo di un modello idrologico applicato ad un bacino idrografico permette il calcolo della portata d’acqua alla sezione di chiusura partendo da dati meteorologici (in questo caso precipitazione e temperatura) in input, permettendo di sopperire quindi alla mancanza di dati di portata misurati. Inoltre permette la stima del fattore di incidenza sulla portata totale dei vari contributi di fusione glaciale, fusione nivale e pioggia.

Il modello usato, denominato *Poli-hydro* (Soncini et al., 2017), validato attraverso la rete di misure nel parco dello Stelvio, dove la componente criosferica nel ciclo idrologico è particolarmente rilevante, permette di effettuare su scala giornaliera il bilancio di massa idrico del terreno in modo distribuito, ossia tenendo conto delle variabilità locale dei parametri di interesse. In particolare vengono spazializzati i parametri di temperatura, che viene fatta variare linearmente con l’altitudine, ed i parametri relativi al contenuto d’acqua del terreno, dipendenti dal tipo di suolo in questione. La scala di risoluzione spaziale su cui opera il modello è quella di 25 metri del *DEM* (Digital Elevation Model) elaborato con tecnologia LIDAR all’interno del progetto italo-svizzero HELI-DEM. L’alta risoluzione del modello permette di valutare con precisione l’orografia del terreno, da cui si può stimare l’irraggiamento solare, dipendente dall’esposizione, e la dinamica di flusso glaciale, dipendente dalla pendenza locale del terreno e dalle caratteristiche visco-plastiche del ghiaccio. Questa dinamica, abbinata alla stima di fusione glaciale, consente di stimare l’evoluzione del ghiacciaio durante il ritiro e poter quindi confrontare l’area fornita in output dal modello con quella misurata per i vari anni.

Per il calcolo del gradiente termico si sono utilizzati i dati di 29 stazioni meteorologiche su tutte le Alpi Occidentali, mentre come dati in input di precipitazione e temperatura sono stati usati quelli della stazione ARPA di Formazza Pian dei Camosci (FPC).

La calibrazione dei parametri di fusione nivale e glaciale è stata eseguita in serie: prima utilizzando i dati di neve al suolo a FPC (2009-2017) si sono stimati i parametri di fusione nivale, successivamente utilizzando questi parametri nel modello idrologico si è potuto stimare il numero di giorni per cui il ghiacciaio era sprovvisto di copertura nivale, condizione necessaria per la fusione, e si sono ottimizzati i parametri relativi alla fusione glaciale confrontando i dati di ablazione del modello con quelli misurati dalle paline ablatometriche installate nel corso di una campagna di IMAGEO srl e SMI (2011-2016) (ablazione media misurata di 204 cm/anno).

È stato inoltre necessario stimare il volume iniziale del ghiacciaio da inserire in input al modello, e questo ha richiesto innanzitutto il calcolo dell'area dello stesso: a tale fine si è utilizzata un'ortofoto del 1999 da cui si è potuto delimitare il perimetro del ghiacciaio (area misurata di 4.2 km<sup>2</sup>). Per la stima dello spessore locale si è ricorso ad una formula empirica con cui si è calcolato lo sforzo di taglio basale intercorrente tra ghiacciaio e substrato roccioso (Haeberli et al., 1995), e, successivamente, tramite questo valore di taglio, usando i dati di pendenza locale del terreno e l'equazione di equilibrio indefinito, si è ricavato lo spessore locale del ghiacciaio. I risultati ottenuti sono stati poi corretti con un fattore di riduzione per tenere conto dei bassi valori di spessore che si hanno in corrispondenza dei bordi e sulla lingua d'ablazione.

Per simulare la gestione dell'invaso e la produzione di energia idroelettrica si è utilizzato un modello di ottimizzazione denominato *Poli-Power* (Bombelli et al., 2019), in grado di massimizzare il profitto dell'impianto tenendo conto della variazione dei prezzi dell'energia su scala sub-giornaliera.

I due modelli idrologico e di gestione vaso sono stati implementati inizialmente per il periodo di calibrazione (2000-2017), e successivamente per le simulazioni di scenario (2018-2100).

In fase di calibrazione il modello idrologico è stato validato tramite il confronto dei perimetri del ghiacciaio misurati da ortofoto e satellite per gli anni 2007, 2012, 2015 e 2017, con quelli forniti in output dal modello idrologico. I dati di produzione energetica elaborati dal modello sono stati invece validati tramite il confronto con il valore di produttività dell'impianto fornito da Enel. Per le simulazioni di scenario si sono utilizzati tre diversi modelli meteorologici *GCM* (Global Circulation Model), in tre diverse ipotesi di aumento del forzante radiativo (RCP 2.6, 6.5, 8.5) suggerite dall'IPCC per un totale di nove scenari climatici che sono stati usati come input per il modello idrologico.

## RISULTATI

L'evoluzione del ghiacciaio prevista dal modello idrologico rispecchia in modo soddisfacente i perimetri misurati così come riportato in Figura 1. In particolare il modello è in grado di riprodurre la separazione del ghiacciaio Meridionale in due corpi con un errore di stima dell'area complessiva del ghiacciaio per l'anno 2017 inferiore all'8% (2.9 km<sup>2</sup> per il modello contro i 2.7 km<sup>2</sup> misurati), con una perdita di area in 18 anni pari al 36% e di volume stimata al 56%. Si è ottenuto una portata media affluente alla diga di 0.90 m<sup>3</sup>/s [Figura 2], con picco nel mese di luglio (2.3 m<sup>3</sup>/s). Il contributo principale nei mesi estivi è dato dalla fusione nivale, che consta complessivamente del 32% (picco a giugno con il 73%), mentre il contributo glaciale è rilevante solo da luglio a settembre, che è quindi il periodo in cui si verifica per il modello il ritiro del ghiacciaio, con il picco ad agosto in cui ricopre il 32% della portata totale, e contributo medio pari all'11%. La produzione energetica dell'impianto per il periodo di calibrazione è stata stimata in 47 GWh anno con solo il 3.5% di errore rispetto al dato di 45.4 GWh fornito da Enel, con picco di produzione a luglio in cui si ha il prezzo dell'energia massimo. Per tutte le simulazioni di scenario si è stimato un forte ritiro del ghiacciaio, che per fine secolo è previsto estinguersi, o che permanga sotto forma di glacio-nevaio con area inferiore a 0.4 km<sup>2</sup> [Figura 3]. Il contributo della fusione glaciale alla portata decresce assieme all'estensione del ghiacciaio, ed è scarsamente significativo già a partire da metà secolo, per poi divenire nullo.

Questo ammanco di portata, combinato ad un aumento dell'evapotraspirazione, porta globalmente ad una riduzione della portata effluente stimata dal modello (-11%). La variazione di precipitazione complessivamente è positiva (+3%), sebbene con forti oscillazioni a seconda dei modelli considerati, ma non è sufficiente a compensare i predetti effetti negativi. L'aumento delle temperature, inoltre, porta ad anticipare

il periodo di fusione nivale, che rimane il principale contributo alla portata totale (37% in media), nonostante l'aumento delle temperature porti ad un aumento delle precipitazioni liquide a discapito di quelle nevose. Il picco di portata quindi viene anticipato anche di due mesi negli scenari RCP 8.5, nei quali l'aumento di temperatura è più marcato. La produzione di energia idroelettrica decresce proporzionalmente alla portata, mantenendo il picco di produzione a luglio, in cui è previsto un rialzo dei prezzi dell'energia dovuto all'aumento del fabbisogno di energia per gli impianti di condizionamento (Bombelli et al., 2018, submitted).

## CONCLUSIONI

Il forte ritiro documentato nell'ultimo secolo, i risultati del modello e l'apertura di diversi crepacci per tutta l'espansione del ghiacciaio lasciano presagire l'estinzione del ghiacciaio del Sabbione nell'arco di pochi decenni. Questo può essere imputato all'attività antropica sia in modo indiretto, per il riscaldamento globale (IPCC, 2012), sia in modo diretto, per la formazione dell'invaso artificiale che ha accelerato il ritiro del ghiacciaio. Se finora il ritiro del ghiacciaio ha avuto un impatto positivo sulla produzione della centrale, aumentando le portate nel lago nei mesi estivi, in futuro la sua scomparsa avrà un effetto negativo sulla produzione. Questo potrebbe essere compensato da un eventuale aumento delle precipitazioni, tuttavia i modelli *GCM* non danno risultati univoci in termini di variazione della precipitazione, rendendo difficile una stima consistente della produzione futura.

## IMMAGINI

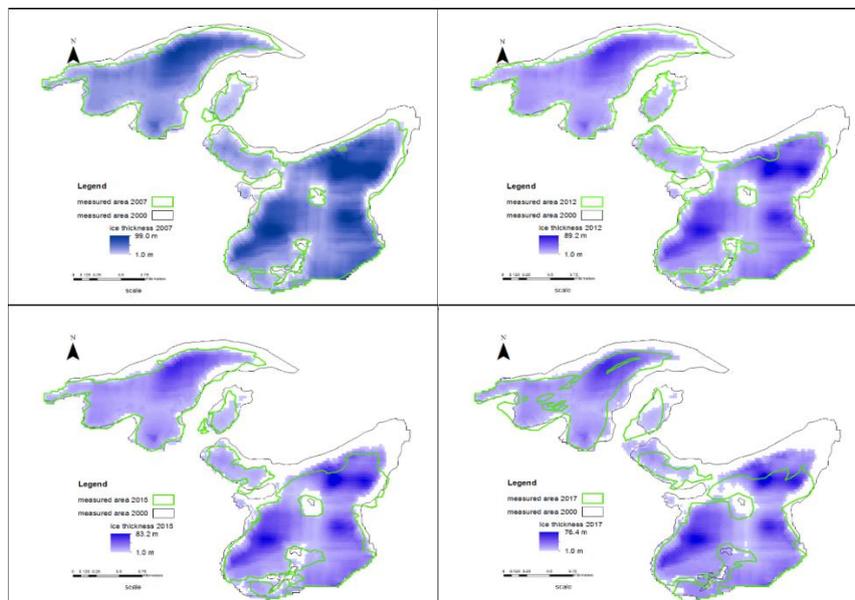


Figura 1 evoluzione ghiacciaio del Sabbione 2000-2017, in nero perimetro anno 2000, in verde perimetro per anno in considerazione misurato, ed in scala di blu stima del modello

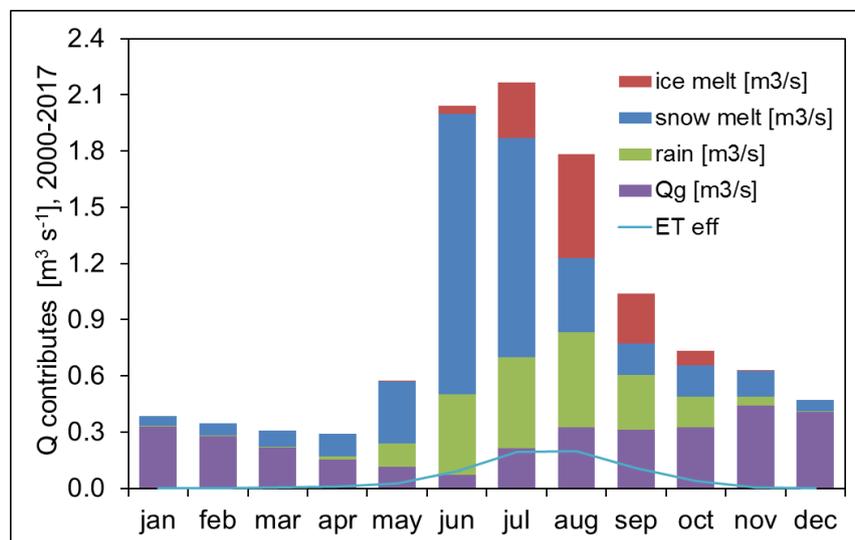


Figura 2 contributi portata periodo di calibrazione 2000-2017

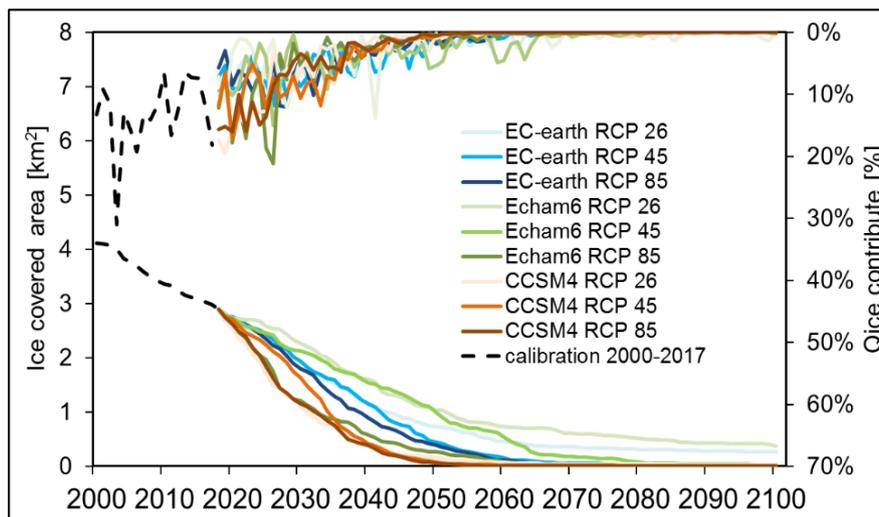


Figura 3 variazione area ghiacciaio e contributo di fusione glaciale su portata totale

## BIBLIOGRAFIA

- Bombelli, G. M., Soncini, A., Bianchi, A., Bocchiola, D. (Submitted, October 2018). Influence of climate change scenarios on energy price: a case study in Italy. *Environmental Modeling & Assessment*.
- Bombelli, G. M., Soncini, A., Bianchi, A., & Bocchiola, D. (2019). Potentially modified hydropower production under climate change in the Italian Alps. *Hydrological Processes*.
- Brunetti, M., Lentini, G., Maugeri, M., Nanni, T., Auer, I., Bohm, R., Schoner, W. (2009). Climate variability and change in the Greater Alpine Region over the last two centuries based on multi-variable analysis. *Int. J. Climatol.*, 29, 2197-2225.
- Casale, S. (2011). Analisi dell'evoluzione multitemporale del Ghiacciaio Meridionale del Sabbione (Val Formazza; Gruppo Arbola) mediante tecniche geomatiche. *Doctoral dissertation, Master thesis, Applied and Environmental Geology, University of Turin, unpublished*.
- D'Agata, C., Bocchiola, D., Soncini, A., Maragno, D., Smiraglia, C., & Diolaiuti, G. A., (2018). Recent area and volume loss of Alpine glaciers in the Adda River of Italy and their contribution to hydropower production. *Cold Regions Science and Technology*, 148, 172-184.
- Hoelzle, M. and Haeberli, W. (1995). Simulating the effects of mean annual air-temperature changes on permafrost distribution and glacier size: an example from the Upper Engadin, Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 21, 399-405.
- IPCC, (2007). Climate Change (2018): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for policymakers.
- Mann, M. E. (2002). Little ice age. *Encyclopedia of global environmental change*, 1, 504-509.
- Mazza A., Mercalli L. (1992). Il Ghiacciaio Meridionale dell'Hohsand (Alta Val Formazza): un secolo di evoluzione climatica e rapporti con la produzione idroelettrica. *Oscellana-Rivista della Val d'Ossola*, XXII, N.1, Gennaio-Marzo 1992, pp 30-44.
- Soncini, A., Bocchiola, D., Azzoni, R. S., & Diolaiuti, G. (2017). A methodology for monitoring and modeling of high altitude Alpine catchments. *Progress in Physical Geography*, 41(4), 393-420.
- Zemp, M., Paul, F., Hoelze, M., & Haeberli, W. (2008). Glacier fluctuations in the European Alps, 1850-2000. *Darkening Peaks Glacier Retreat Sci. Soc.*