



Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: Previsione sul breve e lungo periodo di eventi estremi idrologici (alluvioni e siccità) mediante assimilazione di dati da satellite, radar, stazioni a terra e modelli climatici

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:

INGEGNERIA AMBIENTALE E IDRAULICA

Responsabile scientifico: Prof. Francesco Cioffi

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 12

Azienda: E-Geos S.p.A.

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 7000,00

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE con delibera del 22.09.2021

Progetto di ricerca:

Dal 1950, è stato osservato, in diverse regioni del pianeta, un aumento significativo della severità, della durata e della frequenza delle siccità (Spinoni et al. 2013, Chiang et al., 2021), nonché un aumento dell'intensità e della frequenza delle precipitazioni estreme (Cioffi et al., 2015; Donat et al., 2016). Alcuni studi hanno anche mostrato un'intensificazione dei cicloni tropicali, in particolare nell'Oceano Atlantico, che sono risultati più intensi e distruttivi (Bathia et al., 2019, Scotti et al. 2020).

Vi è quindi un forte interesse a sviluppare metodi per prevedere tali eventi alle diverse scale temporali e spaziali coinvolte: orarie o giornaliere per le alluvioni, mensili o stagionali per le siccità, su scale pluriannuali per le proiezioni climatiche.

Gli accordi di Parigi sulla limitazione delle emissioni di gas serra, così come la Conferenza delle Nazioni Unite di Sendai sulla riduzione del rischio di catastrofi (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030), sottolineano come le maggiori sfide poste dal cambiamento climatico su scala planetaria riguardano problematiche legate alla sicurezza idrica che si verificano a scala locale o regionale in termini di scarsità di risorse idriche, siccità, rischi di alluvioni prodotti da eventi idrologici estremi più intensi e frequenti. Un recente rapporto sullo sviluppo sostenibile (Messerli et al., 2019) sottolinea come sistemi di allerta di questi eventi meteorologici estremi, che combinano modelli, telerilevamento con raccolta dati sul campo, potrebbero guidare i paesi vulnerabili, fornendo loro tempestive informazioni che possono essere utilizzate per rafforzare la resilienza, ridurre i rischi e preparare risposte più efficaci. Le previsioni climatiche potrebbero essere utilizzate per valutare la vulnerabilità di specifiche regioni del mondo e valutare come gli ecosistemi e le società rispondono a tali eventi.

L'evidenza dei cambiamenti climatici ha messo in discussione i paradigmi di base degli approcci tradizionali fino ad oggi seguiti da idrologi e ingegneri delle risorse idriche: stazionarietà, casualità dei processi delimitati a scala di bacino o limitati al solo ramo terrestre del ciclo idrologico. Numerosi scienziati e ricercatori hanno sottolineato la necessità di ampliare tale approccio integrando nell'analisi i processi deterministici globali che influenzano la circolazione atmosferica alla larga scala e dai quali dipende il trasporto di umidità a scala planetaria (Merz et. al., 2014).

Questo allargamento della visione pone una serie di sfide poiché la nostra comprensione delle cause e dell'entità delle variazioni del ciclo idrologico è ancora insoddisfacente, nonostante la sua rilevanza per l'adattamento, la mitigazione e la gestione del rischio climatico (Cioffi et al. 2021). Infatti, la previsione di futuri cambiamenti del regime

delle precipitazioni sulle regioni continentali rimane incerta, soprattutto per eventi idrologici estremi. Una varietà di modelli di circolazione generale dell'atmosfera, sofisticati e distribuiti nello spazio, sono stati sviluppati e sono utilizzati sia per le previsioni meteorologiche, sia per le proiezioni climatiche (O'Neil et. al., 2016). Ciò nonostante il ciclo idrologico, ed in particolare le principali strutture atmosferiche lungo le quali si sviluppa il trasporto di umidità e il loro impatto sulle precipitazioni continentali, continuano a essere simulati in modo insoddisfacente.

La ricerca proposta si inserisce in questo contesto, ed è volta ad esplorare, attraverso osservazioni e modelli, il legame esistente tra i processi globali atmosferici/oceanici e quelli continentali a scala locale. L'importanza di tale questione è stata in passato sottolineata da Karamperidou et al. (2012), Cioffi et al. (2015,2016,2017,2020) e Conticello et al. (2018,2020). In questi articoli sono state sviluppate analisi di osservazioni provenienti da diverse fonti, nonché metodologie e modelli per esplorare, rappresentare e quantificare il legame tra modelli di circolazione atmosferica su larga scala e regime delle precipitazioni a scala locale.

Sulla base di tali ricerche si è sviluppata negli ultimi anni un'attività di collaborazione tra il proponente e la società E-Geos Telespazio, che ha sostenuto finanziariamente dottorati di ricerca, borse di studio e sottoscritto due contratti di ricerca in cui il proponente è ricercatore principale. Tali contratti riguardano sia la previsione di eventi idrologici estremi, sia ricostruzioni post evento. In particolare, uno dei contratti era finalizzato allo sviluppo di un sistema di allerta rapida (EWS) su scala locale per l'isola di St. Lucia (Caraibi) - costituito da un insieme di sottosistemi di previsione del rischio di alluvione.

Potenzialmente applicabile alle regioni atlantiche tropicali ed extratropicali, EWS coinvolge diverse scale temporali e spaziali tipiche della previsione delle inondazioni. Le tempistiche considerate sono: a) 0-2 ore, per la previsione in tempo reale; b) 24-48 ore, a breve termine; c) 3-10 giorni, a medio termine. Le scale spaziali sono associate ai fenomeni più rilevanti: scala sinottica/globale, per catturare l'influenza di modelli di circolazione atmosferica su larga scala, tempeste e uragani; microscala per le precipitazioni locali registrate dalle stazioni pluviometriche; mesoscala riferita ai fenomeni di pioggia/deflusso a scala di bacino. In figura è mostrato uno schema del sistema EWS e Now Casting da cui appare evidente la complessa struttura del sistema di previsione che assimila osservazioni provenienti da diverse fonti (radar, satellite e reti di stazione meteo-climatiche), simulazioni da modelli di circolazione atmosferica, modelli statistici di downscaling delle precipitazioni e modelli idraulici.

Il dottorando sarà quindi coinvolto nell'analisi critica dell'affidabilità degli approcci fino ad ora sviluppati, nell'estensione di tali approcci alla previsione delle siccità e alle proiezioni climatiche, al miglioramento della metodologia e dei modelli e alla loro validazione per casi di studio.

EWS and Now Casting system for St. Lucia island (Caribbean)

Bibliografia

Bhatia, Kieran T., Gabriel A. Vecchi, Thomas R. Knutson, Hiroyuki Muakami, James Kossin, Keith W. Dixon, and Carolyn E. Whitlock. "Recent increases in tropical cyclone intensification rates." *Nature communications* 10, no. 1 (2019): 1-9.

Chiang, Felicia, Omid Mazdiyasni, and Amir AghaKouchak. "Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity." *Nature communications* 12, no. 1 (2021): 1-10.

Cioffi, Francesco, Upmanu Lall, Ester Rus, and Chandra Kiran B. Krishnamurthy. "Spacetime structure of extreme precipitation in Europe over the last century." *International Journal of Climatology* 35, no. 8 (2015): 1749-1760.

Cioffi, Francesco, F. Conticello, and Upmanu Lall. "Projecting changes in Tanzania rainfall for the 21st century." *International Journal of Climatology* 36, no. 13 (2016): 4297-4314.

Cioffi, Francesco, Federico Conticello, Upmanu Lall, Lucia Marotta, and Vito Telesca. "Large scale climate and rainfall seasonality in a Mediterranean Area: Insights from a nonhomogeneous Markov model applied to the AgroPontino plain." *Hydrological Processes* 31, no. 3 (2017): 668-686.

Cioffi, Francesco, Federico Rosario Conticello, and Upmanu Lall. "Stochastic Scenarios for 21st Century Rainfall Seasonality, Daily Frequency, and Intensity in South Florida." *Journal of Water Resources Planning and Management* 146, no. 8 (2020): 04020058.

Cioffi, Francesco, A. De Bonis Trapella, and Upmanu Lall. "Managing Flood Risk in Coastal Areas Considering Climate Change Uncertainties." In *AGU Fall Meeting Abstracts*, vol. 2020, pp. OS009-0008. 2020.

Conticello, Federico, Francesco Cioffi, Bruno Merz, and Upmanu Lall. "An event synchronization method to link heavy rainfall events and largescale atmospheric circulation features." *International Journal of Climatology* 38, no. 3 (2018): 1421-1437

Donat, Markus G., Andrew L. Lowry, Lisa V. Alexander, Paul A. O'Gorman, and Nicola Maher. "More extreme precipitation in the world's dry and wet regions." *Nature Climate Change* 6, no. 5 (2016): 508-513.

Messerli, Peter, Endah Murniningtyas, Parfait Eloundou-Enyegue, Ernest G. Foli, Eava Furman, Amanda Glassman, Gonzalo Hernández Licona et al. "Global sustainable development report 2019: the future is now—science for achieving sustainable development." (2019)

Karamperidou, Christina, Francesco Cioffi, and Upmanu Lall. "Surface temperature gradients as diagnostic indicators of midlatitude circulation dynamics." *Journal of climate* 25, no. 12 (2012): 4154-4171

Merz, B., Aerts, J.C.J.H., Arnbjerg-Nielsen, K., Baldi, M., Becker, A., Bichet, A., Blöschl, G., Bouwer, L.M., Brauer, A., Cioffi, F. and Delgado, J.M., 2014. Floods and climate: emerging perspectives for flood risk assessment and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(7), pp.1921-1942.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Vuuren, D. P. V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482

Scotti, Vincenzo, Mario Giannini, and Francesco Cioffi. "Enhanced flood mapping using synthetic aperture radar (SAR) images, hydraulic modelling, and social media: A case study of Hurricane Harvey (Houston, TX)." *Journal of Flood Risk Management* 13, no. 4 (2020): e12647.

Spinoni, Jonathan, Paulo Barbosa, Alfred De Jager, Niall McCormick, Gustavo Naumann, Jürgen V. Vogt, Diego Magni, Dario Masante, and Marco Mazzeschi. "A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 22 (2019): 100593.

Titolo del progetto (inglese): Forecast on the short and long run of extreme hydrological events by assimilation of satellite, radar, ground based networks data and global circulation models

Progetto di ricerca (inglese):

Since 1950, a significant increase in the severity, duration and frequency of droughts (Spinoni et. al. 2013, Chiang et al., 2021) as well as an increase in the intensity and frequency of extreme rainfall modulated by large-scale atmospheric circulation has been observed in different regions of the planet (Cioffi et al., 2015; Donat et al., 2016). The intensification of these latter extreme events also affects regions subject to more pronounced drought conditions, highlighting an amplification of the range of variability of the hydrological cycle. Some studies have also shown there is an intensification of tropical cyclones, in particular in the Atlantic Ocean, which are more intense and destructive (Bathia et al., 2019, Scotti et al. 2020).

There is therefore a strong interest to develop methods to forecast such events at the different temporal and spatial scales involved: hourly or daily for river or tropical cyclone floods, monthly or seasonal for droughts, decades for climate projections aimed to assess the frequency, magnitude, consequences of these hydrological extreme events in order to plan adaptation actions.

The Paris agreements on the limitation of greenhouse gas emissions, as well as the United Nations Conference in Sendai on the reduction of the risk of disasters (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030), underline how the greatest challenges posed by the change climate on a planetary scale concern issues related to water safety that occur at a local or regional scale in terms of scarcity of water resources, drought, flood risks produced by more intense and frequent extreme hydrological events. A recent report on sustainable development (Messerli et al., 2019) underlines how warning systems for droughts, floods and others extreme weather events, which combine models, remote sensing with data collection in the field, could guide vulnerable countries, providing them with timely information that can be used to strengthen resilience, reduce risks and prepare more effective responses. Climate predictions could be used to assess the vulnerability of specific regions of the world and assess how ecosystems and

societies respond to such events.

The evidence of climate changes has put in discussion the basic paradigms of traditional approaches until now followed by hydrologists and water resources engineers: steadiness, randomness of flood processes bounded at catchment scale. A number of scientists and researchers are emphasizing the necessity to enlarge the approach to estimate flood magnitude and frequency, including global deterministic processes, spatial and temporal large-scale circulation patterns and global climate mechanisms (Merz et. al.,2014) .

This enlargement of the view poses a number of challengers since our understanding of the causes and magnitude of the variations of the hydrological cycle is still unsatisfactory. In fact the prediction of future changes of precipitation regime on continental regions remains uncertain, especially for extreme hydrological events. A variety of sophisticated and spatially distributed General Circulation Models (GCMs) have been developed and used for both weather predictions, as well as, for climate projections (O'Neil et. al., 2016). The hydrologic cycle, specifically the main storm tracks and their impacts on continental rainfall, continue to be poorly simulated in these models. However, these aspects are very important for climate change adaptation, mitigation and climate risk management (Cioffi et al. 2021). The proposed research is addressed to explore, by using observations and models, the link existing between atmospheric/ocean global processes and continental local ones. The importance of such issue has been in the past emphasized by Karamperidou et al. (2012), Cioffi et al. (2015,2016,2017,2020) and Conticello et al. (2018,2020). In these papers analysis of observations from different sources, as well as, methodologies and models were developed to explore, to represent and to quantify the link between large scale atmospheric circulation patterns and local rainfall regime in different part of the world.

On the basis of such researches a collaborative activity has been developed in the last years between the proponent of this project and the company E-Geos Telespazio, that financially supported PhD, fellowships and subscribed two research contracts in which the proponent is principal investigator. Such contracts concern both forecast of extreme hydrological events, as well as, post event reconstructions. Specifically one of contracts was aimed to the development of a local scale Flooding Early Warning System (EWS) for the St. Lucia island (Caribbean) - constituted by an ensemble of flooding risk forecast subsystems. Potentially applicable to Atlantic tropical and extra-tropical regions, EWS involves different temporal and spatial scales typical of flooding forecasting. The time scales considered are: a) 0-2 hours, now casting; b) 24-48 hours, short range; c) 3-10 days, middle to long range. Spatial scale are associated to the most relevant phenomena: synoptic/global scale, to capture the influence of large scale atmospheric circulation patterns, storms and hurricanes; microscale for local precipitation recorded by rain-gauge stations; mesoscale referred to the rainfall/runoff phenomena at basin scale. A scheme of the EWS and Now Casting system is shown in the figure from which appears evident the complex structure of the forecast system which assimilates observations from different sources(radar, satellite and ground based gauge networks), atmospheric model simulations, statistical rainfall downscaling models and hydraulic models.

The PhD candidate will be therefore involved in the critical analysis of reliability of the approaches until now developed, the extension of such approaches to seasonal drought forecast and to climate projections of hydrological extreme, the improvement of the methodology and models and their validation in European study cases.

EWS and Now Casting system for St. Lucia island (Caribbean)

Bhatia, Kieran T., Gabriel A. Vecchi, Thomas R. Knutson, Hiroyuki Muakami, James Kossin, Keith W. Dixon, and Carolyn E. Whitlock. "Recent increases in tropical cyclone intensification rates." *Nature communications* 10, no. 1 (2019): 1-9.

Chiang, Felicia, Omid Mazdiyasni, and Amir AghaKouchak. "Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity." *Nature communications* 12, no. 1 (2021): 1-10.

Cioffi, Francesco, Upmanu Lall, Ester Rus, and Chandra Kiran B. Krishnamurthy. "Spacetime structure of extreme precipitation in Europe over the last century." *International Journal of Climatology* 35, no. 8 (2015): 1749-1760.

Cioffi, Francesco, F. Conticello, and Upmanu Lall. "Projecting changes in Tanzania rainfall for the 21st century." *International Journal of Climatology* 36, no. 13 (2016): 4297-4314.

Cioffi, Francesco, Federico Conticello, Upmanu Lall, Lucia Marotta, and Vito Telesca. "Large scale climate and rainfall seasonality in a Mediterranean Area: Insights from a nonhomogeneous Markov model applied to the AgroPontino

plain." *Hydrological Processes* 31, no. 3 (2017): 668-686.

Cioffi, Francesco, Federico Rosario Conticello, and Upmanu Lall. "Stochastic Scenarios for 21st Century Rainfall Seasonality, Daily Frequency, and Intensity in South Florida." *Journal of Water Resources Planning and Management* 146, no. 8 (2020): 04020058.

Cioffi, Francesco, A. De Bonis Trapella, and Upmanu Lall. "Managing Flood Risk in Coastal Areas Considering Climate Change Uncertainties." In *AGU Fall Meeting Abstracts*, vol. 2020, pp. OS009-0008. 2020.

Conticello, Federico, Francesco Cioffi, Bruno Merz, and Upmanu Lall. "An event synchronization method to link heavy rainfall events and largescale atmospheric circulation features." *International Journal of Climatology* 38, no. 3 (2018): 1421-1437

Donat, Markus G., Andrew L. Lowry, Lisa V. Alexander, Paul A. O’Gorman, and Nicola Maher. "More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions." *Nature Climate Change* 6, no. 5 (2016): 508-513.

Messerli, Peter, Endah Murniningtyas, Parfait Eloundou-Enyegue, Ernest G. Foli, Eava Furman, Amanda Glassman, Gonzalo Hernández Licona et al. "Global sustainable development report 2019: the future is now—science for achieving sustainable development." (2019)

Karamperidou, Christina, Francesco Cioffi, and Upmanu Lall. "Surface temperature gradients as diagnostic indicators of midlatitude circulation dynamics." *Journal of climate* 25, no. 12 (2012): 4154-4171

Merz, B., Aerts, J.C.J.H., Arnbjerg-Nielsen, K., Baldi, M., Becker, A., Bichet, A., Blöschl, G., Bouwer, L.M., Brauer, A., Cioffi, F. and Delgado, J.M., 2014. Floods and climate: emerging perspectives for flood risk assessment and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(7), pp.1921-1942.

O’Neill, B. C., Tebaldi, C., Vuuren, D. P. V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482

Scotti, Vincenzo, Mario Giannini, and Francesco Cioffi. "Enhanced flood mapping using synthetic aperture radar (SAR) images, hydraulic modelling, and social media: A case study of Hurricane Harvey (Houston, TX)." *Journal of Flood Risk Management* 13, no. 4 (2020): e12647.

Spinoni, Jonathan, Paulo Barbosa, Alfred De Jager, Niall McCormick, Gustavo Naumann, Jürgen V. Vogt, Diego Magni, Dario Masante, and Marco Mazzeschi. "A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 22 (2019): 100593.