

# The Social Discount Rate in Cost-Benefit Analysis for flood risk management: Reasoning on the intertemporal preferences

Francesca Torrieri\*,  
Federica Cadamuro Morgante\*\*,  
Alessandra Oppio\*\*\*

*keywords:* social discount rate,  
cost-benefit analysis, flood risk management,  
intergenerational environmental debt

## Abstract

About the Flood Risk Management Plans (PGRA) the European Community (DIR. 2007/60; Regulation No. 1303/2013) introduces the need to provide an assessment of the prevention and mitigation measures for the hydraulic risk through a Cost-Benefit Analysis (CBA), (Cohesion Fund, 2014-2020). Indeed, the CBA helps identifying a priority ranking of structural and non-structural interventions to be implemented so to reduce the probability of flooding and the negative consequences for human health, the environment, cultural heritage and economic activities.

In Cost-Benefit Analysis (CBA) application, the Social Discount Rate (SDR) covers a fundamental role in revealing the intergenerational concern and the willingness to pay for environmental protection and debt inheritance of a society into a specific territorial-time dimension.

In particular, scientific research on the hydraulic risk area like the national and international guidelines demonstrates no agreement about the methodologies for estimating the SSS and the (SSS) value adopted in different

territorial contexts.

For this reason, this paper aims at investigating literature debates about SDR effectiveness on a value-based assessment and how it is applied in CBA analysis dealing with intergenerational environmental costs redistribution and human health protections.

The theoretical explanation is supported by applying CBA analysis to the real case study of Olbia city, where relevant flood events occurred in the last fifty years and, in particular, the last one in 2013, causing significant losses in economic welfare and human lives.

First results from the empirical application show how the choice of the SSS and the time-frame of the interventions have a strong impact on the effectiveness of the strategic decisions from a social point of view. In particular, these two factors' influence is more evident in long-term scenarios due to intertemporal prices' cumulative and multiplicative effects, which reduce future values such as environmental and social benefits when discounted.

## 1. INTRODUCTION

Climate change, together with continuous and inappropriate human actions to the morphology of the territory, has led to a substantial increase in catastrophic events in the last twenty years, causing significant economic, social, and environmental damage to the populations and the exposed assets.

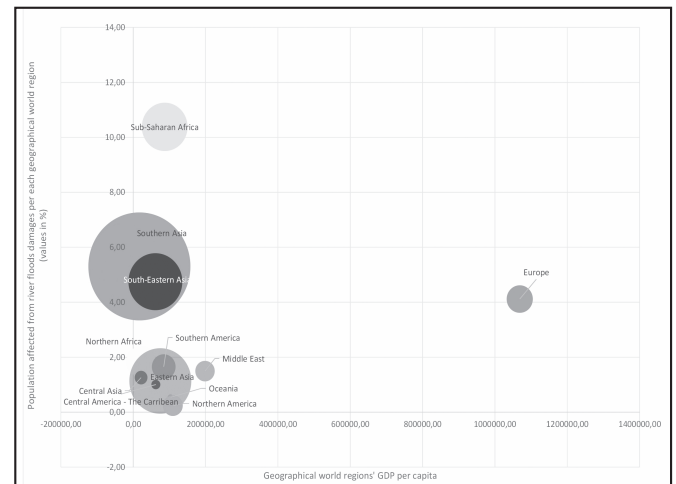
According to the data published by the annual report "Counting the Cost 2019: a year of climate breakdown" (Kramer 2019), only in 2019 – from southern Africa to North America, from Australia to Asia, up to Europe –

**Table 1 - World geographical areas exposed to flood risk and the amount of world population exposed to flood risk (values in %)**

A	B	C	D	E
Rank (pop affected by flood in relative values - D column)	Geographical area (ONU classification)	Current annual average population affected by river floods (absolute values)	Population affected from river floods damages (% on total population)	GDP per capita
1	Sub-Saharan Africa	1938172.89	10.38	87060.21
2	Southern Asia	9652634.78	5.30	17093.88
3	South-Eastern Asia	2690059.89	4.75	61295.00
4	Europe	630009.62	4.11	1068538.18
5	Northern Africa	787836.07	1.84	21898.35
6	Southern America	517441,50	1.65	84358.05
7	Middle East	346848.38	1.49	198496.43
8	Central Asia	151950.78	1.26	21622.00
9	Eastern Asia	3560878.96	1.13	74918.69
10	Central America - The Carribean	73648.47	1.00	62501.54
11	Oceania	30277.77	0.54	103007.94
12	Northern America	354766.88	0.24	109606.78
<b>TOTAL</b>		<b>20734525.98</b>	<b>33.71</b>	<b>19103</b>

floods, storms and fires have caused human losses of over 4,500 individuals, resulting in billions of dollars in economic damage. The latest UN report, "The human cost of disaster 2000-2019" - confirms this trend by reporting that from 2000 to 2019, 7,348 natural disasters were recorded for an estimated cost of almost 3 trillion dollars and the death of over 1.2 million people. Among the natural disasters, hydrogeological<sup>1</sup> ones are among the most frequent (50%), with an estimated damage in 2019 equal to 36.8 billion US \$ (Unsdir 2019) and a population exposed to the annual risk of about 20,734,526 people, representing 33.7% of the total population.

The Table 1 (Source: [www.wri.org/flood](http://www.wri.org/flood)) shows world geographical areas (ONU classification) exposed to flood risk and the amount of world population exposed to flood risk (values in %). While Figure 1 differentiates world geographical areas with respect to the percentage of population exposed to river floods' damages, together

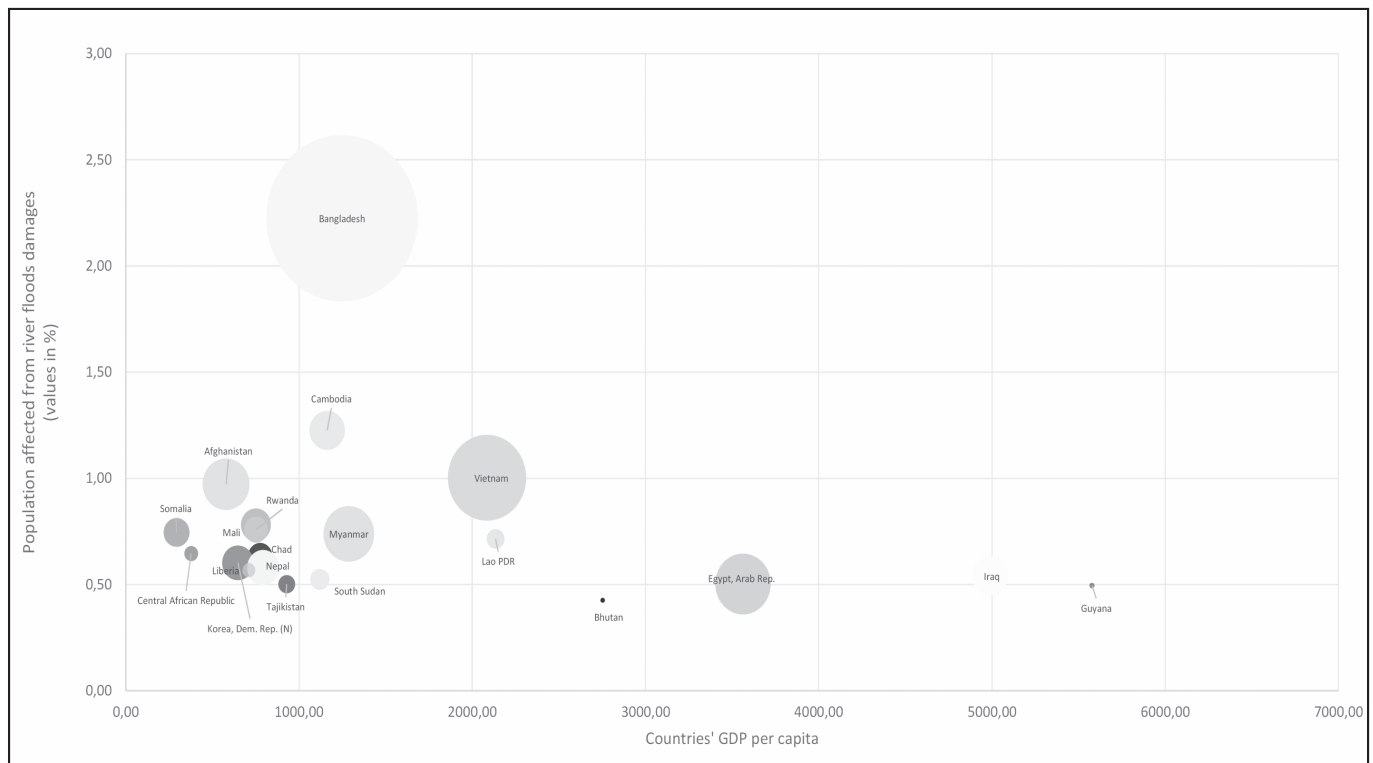


**Figure 1 - World geographical areas with respect to percentage of population exposed to river floods' damages, together with GDP per capita and absolute number of people affected from river floods' damages per area.**

Source: Authors' elaboration on data from World Resource Institute and World Bank.

<sup>1</sup> The current legislation (Dir. 2007/60; Reg. No. 1303/2013) defines: "hydrogeological instability" as the condition that characterizes areas where natural or anthropic processes, relating to the dynamics of water bodies, soil or slopes, determine risk conditions on the territory"; and "soil protection" the set of actions and activities related to the protection and safeguarding of the territory, rivers, canals and collectors, lakes, lagoons, the coastal strip, groundwater, as well as the territory connected to these, to reduce the hydraulic risk, stabilize the phenomena of geological instability, optimize the use and management of the water heritage, enhance the related environmental and landscape characteristics.





**Figure 4 -** Top 20 world countries with respect to percentage of population exposed to river floods' damages, together with GDP per capita and absolute number of people affected from river floods' damages per country. Source: authors' elaboration on data from World Resource Institute and World Bank.

Italian territory, with a population exposed to the risk of approximately 18,000,000 people, and 37% of the real estate assets located in areas at risk (Ispra Report, 2018).

Concerning this scenario, the response of international political institutions was to follow a "Risk management" approach, not focused only on the reconstruction of damages and the provision of grant aids but aimed at introducing a culture of forecasting and prevention, focused on correct identification of risk conditions and the adoption of interventions aimed at minimizing the impacts of the events (Torrieri et al., 2018).

The European Directive 2007/60, implemented in the Italian regulatory context by Legislative Decree 49/2010, introduces the obligation for all member states to prepare Flood Risk Management Plans (PGRA). This strategy aimed to establish a framework for assessing and managing flood risks able to mitigate the negative consequences for human health, the environment, cultural heritage, and economic activities by identifying structural and non-structural actions to reduce the likelihood of flooding.

More precisely, the primary objectives of the PGRA appear to be the diminishing of the dangerousness and vulnerability of areas classified as at-risk through the implementation of "non-structural" interventions capable of mitigating the potential negative impacts on human

health, the territory, cultural heritage, the environment, economic and social activities.

The assessment of risk prevention and mitigation measures, based on an analysis of the economic costs and benefits, becomes a relevant activity in order to identify a priority ranking of the interventions to be implemented and the related economic and financial sustainability (Torrieri Rossitti, 2020; Torrieri et al., 2021). Recently, a topic of great interest is the ability of central administrations to financially tackle the safety of the territory and the post-event emergency (Dell'Ovo, Torrieri et al., 2018).

Cost-Benefit Analysis (CBA) was born as a technique for evaluating investments in the private sector and, subsequently, it spread in the field of public choices as a tool for supporting the economic-financial feasibility analyses of a single project, a program or even of economic policies and also for comparing the profitability of multiple initiatives and determining an order of priority for interventions. (Lichfield, 1988; Florio, 2002; Pennisi and Scandizzo, 2003). This investment evaluation technique is based on the assumption that all the Benefits and Costs related to a project can be evaluated in monetary terms to measure the improvement of the collective well-being downstream of the project, compared to the scenario in which the intervention is not realized. The economic

analysis considers the principle of “intertemporal discounting of values” or on the forecast of discounted future values.

First applications in assessing flood risk mitigation and management plans and projects date back to the early 1960s (Lind, 1967), but only in the 1990s the use is spread in different international context (BCA Reference Guide, FEMA), thanks to the introduction of Geographic Information Systems (GIS) and their ability to process and combine spatial data relating to the danger of predicted events with the different components of urban and territorial contexts at risk (Shreve and Kelman, 2014; Mancini et al., 2017).

The latest report of the European Court of Auditors (ECA)<sup>2</sup> on the experiments in progress within the FRMPs, highlights numerous issues that still emerge in the application of the CBA to the sector under investigation, given the complexity of the topic analysed and the uncertainty of natural phenomena. Especially, problems concerning: a) the definition of a social welfare function for the ex-ante estimate of the expected damages; b) the definition of an appropriate analysis time horizon; c) the estimate of a Social Discount Rate (SDR) for discounting future cash flows, which takes into account systemic risks but also those specific to the sector (Torrieri et al., 2016).

The present article focuses on estimating the social discount rate by addressing the issue starting from case study research carried out from a general perspective on CBA.

Not by chance, an incorrect use of the SDR can lead to socially inefficient and/or arbitrary choices. Social discount rate's impact on the calculation of the present value of cash flows, especially in long-term scenarios, tends to be greater than that linked to the other parameters of the analysis, due to the cumulative and multiplicative effect of intertemporal prices, which leads to a reduction in future values (such as environmental and social benefits) when discounted.

Estimating issues as the social discount rate within the CBA will be addressed first by highlighting the problems that generally emerge from the principle of “intertemporal discounting of values”. Then, the attention will be focused on the floods hazard sector with specific reference to the most recent evaluation experiences developed at the international and national level.

The application to a case study will then be proposed to analyse the impact of the variation of the SDR within a BCA to choose hydraulic risk mitigation interventions according to the outputs of a sensitivity analysis.

<sup>2</sup> European Court of Auditors: Special report no 25/2018, Floods Directive

## 2. THE SOCIAL DISCOUNT RATE IN COST-BENEFIT ANALYSIS

In public decisions, the aggregation of values referring to different periods is based on a rate defined as the SDR due to the particular context to which it is applied differently from the financial interest rates ordinarily used for private investments. The definition of the SDR is controversial, and the debate is so broad that it includes ethical and philosophical arguments in addition to the economic ones (Nesticò and Maselli, 2020).

Since the end of the 1970s, together with consolidation of the concept of sustainable development, two relevant issues have emerged in the choice of the SDR: the first refers to the theme of intertemporal efficiency, the second to the issue of intergenerational equity (Page 1997). The fulfilment of both of these objectives makes the traditional CBA an obsolete evaluation approach. This aspect is particularly dysfunctional if applied to projects characterized by significant environmental externalities and multi-year time horizons. The questions raised by Resources For the Future (RFF), which in 1977 prompted an open discussion about the choice of the discount rate in public investment (Lind, 1982), are still central today and continue to fuel the debate. Can projects whose effects are distributed over time horizons of over one hundred years be considered extended versions of projects lasting 30/40 years? What is the most appropriate discount rate in these cases? If the project generates non-negligible intergenerational effects, how can they be evaluated? (Almansa Sáeza and Calatrava Requena, 2007)

The choice of high discount rates makes the long-term social costs very low compared to the benefits achievable in the short term, resulting in an orientation favouring current generations' preferences over future ones. On the contrary, introducing a principle of equity between generations suggests using low discount rates, equal to zero, or even negative. In particular, this position finds its theoretical foundation in the very notion of sustainability and its main variations with the precautionary principle and the possible substitutability of resources. From an operational point of view, an orientation towards forms of weak sustainability admits the downward adjustment of the discount rate (Kula, 1997; Martelli and Pennisi, 2000). On the contrary, the acceptance of a robust sustainability paradigm implies the use of negative discount rates (Jones et al., 2000; Oxera, 2002). A further approach consists of using SDR decreasing over time when the uncertainty is high due to very long-time horizons of the valuation, and the satisfaction and growth of the well-being of future generations are stringent in the face of non-renewable resources. (De Francesco et al., 2006; De Francesco et al. 2012; De Francesco et al., 2013).

In the scientific literature, the most commonly used methods for estimating the SDR are:

- The Social Rate of Time Preference (SRTP), largely used in European Government and in mostly developed



countries. The social rate of time preference reflects the rate of consumption preference of the society at a present time against the future. Thus, the public investment will reflect the level of time preference expressed by society.

- The most adopted method for SRTP determination is the Ramsey's Formula. This formula reflects in its three factors (see Eq.(1) in Section 4; 4.2) two important concepts: a) the already cited "myopic" behaviour of consumers that privilege present benefits and are impatient; b) the willingness to save today to obtain more in the future, because consumption is expected to grow in the future and marginal utility of consumption diminishes (Zhuang, 2007; Nesticò et al., 2016; Nesticò, and Maselli, 2020).

However, part of the literature suggests that using SRTP to discount future costs and benefits could be problematic since it does not take into account only intertemporal social preferences and, thus, it does not consider the positive externalities for private subjects with the consequent redistributive effects (Zhuang, 2007).

The Social Opportunity Cost (SOC) that is the project marginal real rate of return in private sector. In this case, the major criticisms of the approach remark that the calculated rate reflects more the logic of the private market rather than the public ones (Zhuang, 2007).

Besides these two most adopted approaches, some authors in literature propose the alternative approaches of the Weighted Average Approach and the Shadow Price of Capital Approach (SPC) that tend to reconcile SRTP and SOC and overcome their limits. In other words, these two approaches assume that benefits generated by public intervention can advantage also future private investments (Zhuang, 2007; Nesticò and Maselli, 2020). In particular, the SPC approach recognizes that the costs of a public project can incentive private investments and that the benefits can also be reinvested in the private sector. These two approaches assume that total costs and benefits of a public project are equal to the sum of both actual and future costs/benefits generated from public investment together with the ones generated from the private reinvestment (Nesticò and Maselli, 2020).

Although the debate on the determination of the SDR is still open, as demonstrated by the comprehensive restitution of the alternative approaches that can be used for its determination, literature shows a convergence on some aspects of a methodological nature, while privileging those approaches with a time-variant discount rate or resulting in the integration of the two conventional approaches SRTP and SOC following the intergenerational discounting paradigm (Paz et al., 2016): a) the classification of the SDR within an intergenerational context with an evident propensity to adjust the discount rate in relation to the characteristics of the good/service being valued and the time horizon considered; b) a general preference for the hyperbolic

model, especially in the case of long-term projects (Henderson and Bateman, 1995; Cropper et al., 1994), and, on the contrary, a limited tendency to choose a SDR equal to zero; c) the convergence on the position expressed by Pearce in 2003 regarding the choice of approaches declining over time; d) the opportunity to integrate monetary valuations with other methodologies, such as multi-criteria analyses due to the more remarkable ability they have to consider intangible aspects that generally characterise strategies for the conservation of public goods (Munda, 2008; Martínez-Paz et al., 2013; Rodríguez-Labajos and Martínez-Alier 2013). Some examples of approaches following this trend in environmental fields are the so called ecological discounting, the time declining approach, the component-based discounting approach, the dual discount rate approach etc. (ref. Gollier, 2009; Arrow et al., 2014; Defrancesco et al., 2014; Vasquez, et al., 2018; Emmerling et al., 2019; Muñoz-Torrecillas et al., 2019; Nesticò and Maselli, 2020).

Besides these premises, the next section will introduce a literature review on CBA case studies by investigating attitudes of researchers and countries' governments towards the discounting of cost and benefits and, so, the different weight attributed to intergenerational values concerning risk and vulnerability contexts at stake.

### 3. THE SOCIAL DISCOUNT RATE IN FLOOD RISK ANALYSIS

A special contribution given by is the literature review about the studies and applications of the SDR in the most recent flood risk analysis at a worldwide scale.

Of particular concern, the literature review represents the opportunity to compare the SDR in different countries while considering local specificities like demographic and financial profiles. Thus, the literature review has a twofold purpose: from one side, it explores the most common praxes or methodologies adopted by researchers to provide a SDR value; from the other side, by starting from case studies offered by selected papers, the literature review would inspect and compare world countries attitude to discount uncertain future events while attributing weight to inter-generational benefits and costs of adopted policies. About the second point, some data like national GDPs, government bonds and interests' rates, number and percentage of population exposed to hazard are other supportive elements collected to explore (if a correlation exists) on which determined economic basis SDRs are.

The selection of the case studies has been carried out according to following three criteria:

- Empirical application of the SDR to project evaluations against flood hazards;
- Period of publication of the paper, from 2000 to the most recent ones;

- Use of CBA to support the economic and social feasibility of the proposed projects.

Table 2 synthesises all the collected researches, organized following a chronological order and world geographical regions. The table clearly makes an evidence that the majority of researches were published since 2000 following a growing development trend of CBA for flooding events in the last period (due to a growing need to study effects of climate change, as introduced in this volume), in contrast to very few previous empirical applications in the field.

Concerning Table 2, it is also important to underline the variability of the collected researches in the choice of the SSS for the different territorial and environmental contexts considered and the approaches used for the estimation of the SSS. Generally, the interested world regions appear polarised in four main areas like the West Pacific Asian coasts, the Central Asia region, the European continent and Central America around the Mexico Gulf. Not surprisingly, these world regions are densely populated, face storms or tsunamis and are typically prone to seasonal rains or increasing extreme atmospheric phenomena.

In researches regarding the first two geographical areas, the West Pacific Asian coasts and the Central Asia region, authors tend to elicit a high SDR of around 10%-12% on a time baseline of 15-50 years measures' life cycle, with respect to a declared high volatility of 0%-20% discount value adopted in similar environmental projects. The high heterogeneity of SDR value, probably due to extreme uncertainty of risk exposure and the precariousness of social and economic conditions of local population in developing countries, induce many authors to consider in the CBA more than one scenario and test the effect of different discount rates, even if in quite all researches no reference is made about approaches or method for empirical estimation of the discount rate.

A first example, the CBA commissioned by the EU-SOPAC Project (European Scripps Orbit and Permanent Array Center) (Holland, 2008), provides the local Government the economic returns of investing in the early warning systems application for Navua city in the Fiji Islands. The report's refers to other Pacific environmental and development projects, in which rates fluctuate between 3% and 12% with a mode of 10%. Therefore, he presents three scenarios with 3%, 7%, and 10% SDRs and, in the end, he suggests the most likely values assuming a 10% SDR, consistently with the ADB (Asian Development Bank) guidelines of 2006 that state that its practice is to apply a SDR of 10%-12% on development projects.

Similarly, Burton and Venton (2009) provide a SDR of 10% applied over 15 years in their CBA for the Philippines National Red Cross's "Community-Based Disaster Risk Management" (CBDRM) program. The Program contributed to applying some structural measures - cases of the footbridge, sea wall, and dyke construction- in the Philippines against tsunamis and storms.

The same trend is confirmed by Mechler (2005) that uses a SDR of 12% in an ex-ante analysis of the costs and benefits of integrated mitigation measures proposed in the Samarang city region (Indonesia).

While, an exception, Seekao and Pharino (2018) study through a CBA the effects of some structural and non-structural measures against floods phenomena that affect shrimp farms in Thailand along the Bang Pakong River. In this study, that because of displayed theoretical assumptions could be classifiable as a SRTP approach, the SDR used is 2.7% for 50 years projected life of considered measures. The Central Intelligence Agency prescribes the SDR data in the CIA World Factbook (and conformed to the notes from European IPCC (2007a)).

In the aforementioned researches, the SDR estimate refers to values reported in the national guidelines and local banks' rates or it is assumed the trend of similar projects.

By shifting from the West Pacific Asian coasts to Central Asia, the most diffused SDR for India and Nepal is 12%, applied on primarily structural mitigation measures against flooding events (e.g., Kull et al., 2008, Nepal Red Cross report 2008, White and Rorick 2010, Kunreuther H. and Michel-Kerjan E., 2012) on a forecasted 10-50 years measures' reliability.

Then, Khan et al. (2008) consider a CBA to evaluate ex-ante the convenience of a series of structural and non-structural mitigation measures (e.g., highway construction, rapid warning systems relocation of houses along the alluvial plain and restoration of the area with wetlands, Etc.) in Lai basin area of Pakistan. Damages are counted by taking into consideration costs accrued by the last great flooding disaster in 2001. The author uses a SDR of 12%, even if he does not explain the choice.

Likewise, Hidari (2009) investigated the ex-post benefits of flood mitigation plans in IRAN across the floodplain areas of Dez and Karun rivers (mitigation measures include detention dams, levees, or floodwalls, dikes, flood diversions, and reservoirs). The SDR used for the Economic analysis is 10%, after considering an optimum return period of 25 years for the developed measures.

In China, the most populous world country (Tab. 1 and Fig. 1), the considered SDR is 5% as suggested in the EMF (Electromagnetic Field) standards set for the Chinese area. Moritomo and Hope (2004) verify the future Three Gorges dam's project's convenience along the Chinese Yangtze River through a CBA, by stating from the national standard SDR of 5% and a time frame of 100 years in the CBA. The robustness of the obtained results is verified with a sensitivity analysis which shows that the SDR is one of the most critical factors.

While in developing countries, the future social costs and benefits are discounted at high values in Western wealthier regions, the SDRs are significantly lower.

In Europe, Directive 2007/60 and Regulation No. 1303/2013 introduce a SDR of around 3.5% and of 5.5% (5.5% for

[ those Member States that benefit from the European Cohesion Fund and 3.5% for all the other Member States) concerning those projects for hydraulic risk prevention and prescribe the Ramsey Formula for the discount rate calculation. However, the same Directive 2007/60 indicates that the Member States can adopt different values, as long as they are justified in the socio-economic specificities of each nation. Then, the Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects proposes an adjusted SSS of 3% and 5%, differentiating between member states that benefit from the European and non-European Cohesion Fund again.

The following research works developed on the European area generally use an SDR of 3% – 3.5% following a priori the standard of the aforementioned regulatory apparatus.

A first example, the CRUE ERA-NET Project Association (2008) reports evaluating potential benefits of early warning systems for flash-flood (EWASE) and meteorological services for the area around the Traisen river in Lower Austria province. The CBA considers a SDR of 3%, according to the European standards (the Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects).

In the close rural site of Auenbach in Austria, Holub and Fuchs (2008) apply the CBA to compare the advantages and disadvantages of different mitigation from the cost-efficiency point of view measures and use a SDR of 3.5% over 80 years. In this case, the SDR is derived from the average interest rate of long-lasting federal bonds.

A slightly higher rate is encountered in the case studies part of the “Deltaplan” project along the Meuse river in the Netherlands (Bouma J.J., Francois D. and Troch P., 2005). In the presented CBA, the adopted SDR ranges from 4% to 5% that corresponds to the prescribed rate by national regulation for large structural projects.

A very recent increase in publications about flood and hydraulic risk analysis is occurring in Italy and tendency follows SRTP approach as prescribed by European criteria.

Albano, Mancusi e Abbate (2017) apply two different SDRs in their economic analysis, with the purpose to evaluate the cost-effectiveness of the proposed measures in Serio Valley, North Italy. More precisely, the final NPV calculation is performed assuming a lifetime measure of 30 years and a SDR of 3%. For the non-structural measure, a SDR of 2% is adopted over a lifetime measure of 20 years. Also in this case, the value of the SDR is assumed with reference to the Directive 2007/60 and the associated legislation.

In another case study in Abruzzo Region (Albano et al., Scorzini and Leopardi 2017), authors cite the EU Flood Directive and claim the importance of using quantitative approaches (based on estimating the expected annual damage as a risk indicator “expected annual damage EAD”) for flood risk mapping in addition to the traditional qualitative methods. Then, the authors investigate and demonstrate the high sensibility of the economic results due to the significant uncertainty inherent in damage

modelling. A SDR of 3.5% over a lifetime of 50 years is assumed in NPV calculation.

Trovato and Giuffrida (2018) propose different SDR values starting from the Cost-Benefit Analysis Guide for Investment Projects standards. The research work aims to evaluate the convenience of proactive flood risk mitigation strategies against reactive post-damage recovery actions. To this end, the researchers use the recovery costs incurred in five municipalities in North-Eastern Sicily after the flooding of the Fiumedinisi-Capo Peloro river basin in 2009 and the budget allocated for the ex-ante management of the hydraulic risk. Then, the level of intergenerational solidarity was assessed, considering the costs incurred after the damage and the propensity of the municipal administration to invest in risk prevention. Based on a CBA, these values were compared using a variable discount rate ranging from 3% to 5.5% (EU CBA Guide). Finally, a sensitivity analysis was conducted, considering a weighted average value of 3.69% calculated on the risk level of each of the five observed municipalities.

The American case studies are more addressed to coastal territories affected by recurrent storms and inundation of Pacific and Atlantic Oceans, while the used SDRs have similar values to the European ones.

This is the case of Haer et al. (2017) that introduce an ex-ante analysis of flood risk and the desirability of flood protection in Tabasco’s state in Mexico, which faces severe flooding on an almost yearly basis. The study shows how a multi-disciplinary cascade of hazard modelling, risk modelling, and a CBA can be applied to provide the first indicator of economically efficient adaptation strategies. Final results are provided by considering critical uncertainties about climate change impacts on flood risks, indirect damage caused by floods, the width of the protected floodplains, and the adopted SDR. Concerning the latter, by applying Ramsey’s formula, the authors obtain a baseline SDR of 4%.

Reguero et al. (2018), in the same geographical region, compare green or Nature-Based Solutions infrastructures’ cost-effectiveness (e.g. wetlands and oyster coral reefs) with grey infrastructures (e.g. dams and marine barriers) and interventions on individual buildings (e.g. elevation of the bases) for the USA Gulf Coasts. Discounted costs and benefits of compared measures are assumed on a 20 years’ implementation period (two periods of 20 and 40 years are considered) with a discount rate of 2% and 10% to assess the range of variation in benefit to cost ratios. Finally, the research shows that the green infrastructures solution generally appears more attractive in terms of economic convenience and risk reduction by comparing the various measures considered. Moreover, a different SDR value does not significantly alter the obtained rank of mitigating measures in the long run. The authors, therefore, recommend coordinated use of green and grey measures to maximize risk reduction.

Peng and Song (2018) determine through a CBA the cost-



effectiveness of building levees segments reinforcements in Miami City to protect Miami River floods residents. The BCRs and the NPV project for all cumulative expected damages to the built environment are calculated by 2025, 2050, 2075, and 2100. The SDR is 3% for both benefits and costs.

Only for the Peruvian Piura city (the adopted polder system along the city river) is used a SDR of 12% in line with the standard used by the Asian Development Bank and the aforementioned Asian case studies. The author (Mechler, 2005) does not explain the calculation to obtain the SDR but specifies that the elicited value is in line with other SDRs used in similar environmental and development projects where rates fluctuate between 3% and 20%. The author then proposes a sensitivity analysis concerning varying the value of SDR from 0% to 20% (values inspired by the reference literature) on the result of the economic-financial analysis. Even with the maximum value of 20%, the indicators return a convenience in adopting the measure.

The presented literature review suggests some main aspects which are worthy of comment: i) the economic valuations applied to flood risk mitigation projects have recently developed in the environmental project assessment domain. Therefore, only a few recent research works emphasise tools and methodologies for estimating the SDR and speculate on SDR values implications in evaluating the project's economic feasibility; ii) although the effectiveness of the CBA for the choice between alternative risk mitigation projects is highlighted, many authors suggest the integration with other assessment tools such as choice modelling, contingency assessments, multi-criteria analyses to take into account also the intangible aspects, like those related to the perception of risk; iii) there is no agreement on the methods and the SDR exact value to be adopted for different contexts. This statement is particularly true for those presented case studies on developing countries due to the high economic-political uncertainty and territorial vulnerability. While, the authors who consider the concept of sustainability and intergenerational principles in their research work refer to the SRTP approach (also following what is prescribed by Governments standards), and the selected case studies mainly concern more developed geographical areas such as Europe and America; iv) as the previous graphs built on data collected in the literature highlighted (Fig. 1, 3 and 4), the SDR values tend to be lower in countries with a higher GDP per capita than in developing countries. In the first case, a lower SDR value balances the intergenerational effects and the needs of future generations with the current ones. In contrast, in the second case, a higher SDR value privileges current benefits over future ones. Governments still opt for long-term projects with constant SDRs even as future uncertainty increases and intergenerational values weigh more and more. To this end, it would be more sustainable for the next strategic choices to decrease the

value of SDR, such as considering smaller and less expensive projects with a short life cycle.

#### 4. THE CASE STUDY OF OLBIA IN SARDINIA REGION, ITALY

The present chapter describes the main results of the applied CBA to a case study of particular interest concerning the evaluation of alternative structural and non-structural mitigation measures for hydraulic risk for the city of Olbia in the Sardinia Region in Italy. In particular, the SDR influence is tested on the choice between alternative interventions in line with the variation of other input parameters of the analysis with specific reference to the time and costs of carrying out the mitigating works.

Firstly, the Italian context concerning the present hydrogeological risk phenomena is framed.

##### 4.1 Flood risk phenomena in the Italian context

Italy is ranked one hundred twenty-sixth among world countries most affected by river flood phenomena (0.05% of the annual population affected by river floods). The Italian ISPRA-Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale displays in its "2018 Report" the areas with hydraulic hazards following the Flood Directive classification<sup>3</sup>. ISPRA counts in Italy 12,405 km<sup>2</sup> areas with high hydraulic hazard with a return period between 20 and 50 years (4.1% of the national territory). The areas with medium danger (return period between 100 and 200 years) amount to 25,398 km<sup>2</sup> (8.4%) and those with low danger (rare phenomena of maximum expected impact) to 32,961 km<sup>2</sup> (10.9%). The table below (Tab. 3) shows the hydraulic hazard areas by geographic macro-areas proposed by ISPRA (2017 data).

In this context, the total inhabitants in hazardous areas are 9,341,533 (15.7% of the total population), of which 2,062,475 (3.5% of total pop.) live in highly dangerous areas, and 6,183,364 (10.4% of total pop.) live in medium danger areas. Peaks of residents in highly dangerous areas are registered in northern regions. The following table and graph (Tab. 4 and Fig. 5) correlate regions per capita income, resident population, and people in hazardous areas (2017 data).

<sup>3</sup> The Art. 6 of the Flood Directive requires that hazard and flood risk maps be drawn up for the areas at significant potential risk. The "hazard maps" contain the perimeter of the areas that could be affected by floods according to three probability scenarios (i.e. dangerousness): low (extreme events), medium (time of return  $\geq 100$  years), high. Each scenario must be characterized by the flood extent, the levels and, if appropriate, the speeds or flow rates; the "risk maps" indicate the potential negative consequences for people, economic activities, the environment and cultural heritage in the context of the three aforementioned probability scenarios.

**Table 2 - Synthesis of the literature review on CBA analysis applied in flood risk context".**  
Source: Authors elaboration

AUTHOR	YEAR OF PUBLICATION	PLACE	APPLIED MEASURE	SOCIETAL BENEFITS ACCRUED FROM APPLIED MEASURE	ANALYSED COSTS FOR SOCIETY	TIME FRAME OF THE ANALYSIS	SDR NATIONAL TARGET	SOURCE FOR APPLIED SDR	USED SDR	APPROACH AND METHOD FOR EMPIRICAL ESTIMATION OF SDR
Morimoto R. and Hope C.	2004	Area of Yangtze River in western Hubei province - China	Mitigation measures: > Dam (Three Gorges Project)	> Economic growth of the area > High quantity energy provision > Clean energy provision > Raise of flood control capacity > Improve navigation along the river > Reduction of human losses > Damage reductions to crops	> Construction costs > Potential archaeological losses > Resettlement costs for population > Downstream effects to land and fishery activity > Tourism losses	100 years	2%-4%	According to EMF data (Integrated Assessment of Climate Change Energy Modeling Forum 1994)	5%	Approach: not specified but classifiable as SRTP Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature. The estimated growth rates in China are 4% (1999-2000), 3.5% (2000-2002), 3.3% (2002-2040), 3.1% (2040-2060), 3% (2060-2100), 2% (2100-2120), according to EMF (1994)
Bouma J.J., Francois D. and Troch P.	2005	Area of land around the Rhine Meuse-Scheldt delta - The Netherlands	Mitigation measures: > "DeltaPlan" projects (mostly, dams and flood barriers) after 1953 flood > Other structural intervention along Meuse river after 1993 flood	> The diminished maintenance costs > Land reclamation benefits > Infrastructural benefits (roads) > Development of freshwater fisheries > Public services > Further brackishment prevented.	> Direct implementation costs > Interest losses during the implementation, > Costs to the fisheries and shellfish cultures > Costs of land reclamation > Infrastructure and traffic costs	ND	4%-5%	National applied discount rate for large infrastructures and flood damages calculation (lowest value)	4%-5%	Approach: not specified but "sustainability" concept is cited Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
Mechler R.	2005	Piura city - Peru	Mitigation measures: > Polder and canal rehabilitation project	> Reduction of flooding risks through elevation of existing dikes and polder construction > For irrigation purposes, the Polder can be used to store rainwaters	PM. A top-down approach looking at sectors instead of at individual units. > Private sector: household; > Public sector: education, health, water ans sewage, electricity, transport and communication; > Economic sector: agriculture and irrigation, mining and oil, fishery, industry, commerce > Environment; > Emergency spending.	30 years	Not specified in the paper	Comparison with environmental and development projects: rates fluctuate between 3% and 20%; Asian Development Bank standards	12%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature and following Asian Development Bank standards (ADB 2003)
Mechler R.	2005	Semarang - Indonesia	Mitigation measures: > An integrated water management and flood protection scheme	> Reduction of flooding impacts	> Costs derived from infrastructures construction and management. (verify, non concordo on Boss)	50 years	Not specified in the paper	Asian Development Bank standards	12%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature and following Asian Development Bank standards (ADB 2003)
CRUE ERA-NET project	2008	Province of Lower Austria - Austria	> Early warning systems for flash-floods introduced in small river basins characterized by short hydrological response times	> longer warning times allow a more effective activation of preventive measures	> Investment costs, maintenance costs and operational costs of the early warning system > Economic costs due to false alarms of the system	20 years	Not specified in the paper	Comparison with previous Early warning systems for flash-flood studies in Europe	3%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
Holland P.	2008	Nausa - Fiji Island	Mitigation measures: > Early warning systems	> damage reduction for households and individuals (1_evacuation costs; 2_reduction in lost income; 3_medical expenses); > reduction of business and personal losses (1_individuals and companies have more time to save valuables; 2_movable business or assets); > reduction of government and humanitarian aids (e.g. 1_individuals are able to protect more efficiently their properties; 2_less environmental management actions; 3_infrastructures; 4_primary services to society).	> Household losses; > Business losses (commercial activities and primary production); > Governments and local authorities expenditures in new infrastructures and primary services like instructions, medical expenses, etc.; > Other unvalued costs, like people trauma, use of volunteers, etc.	20 years	Not specified in the paper	Comparison with Pacific environmental and development projects: rates fluctuate between 3% and 12%, with a mode of 10%	3%, 7%, 10%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature. The author provides three scenarios with 3%, 7% and 10% of SDRs, due to the high variability of used rates in similar empirical studies. The suggested final rate is of 10%, according to most applied rates and consistent with ADB (Asian Development Bank) guidelines of 2005. (In the report, the author specifies that Pacific commercial bank rates fluctuate between 5% and 7%)
Hobub M. and Fuchs S.	2008	Auenbach rural site - Alpine regions in Austria	> Local structural protection systems (e.g. enhanced constructors and sealed openings)	> Direct damage to buildings in red and yellow risk zones are avoided (infrastructural facilities, agricultural and silvicultural areas excluded)	> Costs derived from structural protection systems construction and maintenance.	80 years	Not specified in the paper	Long-lasting federal bonds	3.5%	Approach: not specified but classifiable as SRTP Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature. The interest rate of 3.5% derives from the average rate of interest of long-lasting federal bonds
Khan F. et al.	2008	Lal basin areas - Pakistan	Mitigation measures: > hydraulic interventions > rapid warning systems > relocation of houses along the alluvial plain and restoration of the area with wetlands	> Increased resistance of highways to floods > Reduction of river peak and increase of flood capacity following river improvements > Decrease in the death rate and injuries > Reduction of damage to private property (in case residents have necessary reaction time) > Reduction or removal of the risk for people previously residing in the floodplain > Ecological benefits following the reclamation of the area	> Damages after 2001 flood	30 years	Not specified in the paper	Not specified	12%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
Kull D. et al.	2008	Region along Rohini River basin in Eastern Uttar Pradesh - India	A) Embankments B) People-centered strategy at three levels: 1a) individual (raising of house plinths, raising of fodder storage units, and water and sanitation package); 2b) local community (early warning system, raising community handpumps and toilets, building of village flood shelters, establishing community grain banks, establishing community seed banks, local maintenance of key drainage bottlenecks, development of self-help groups and purchasing of community boats). 3b) Societal level (promotion and strengthening of flood adapted agriculture and overall healthcare system).	> Reduction of the risk of death, injury or disease after floods; improvement of agricultural practices and productivity	> Cost for embankment constructions and application of people-centered strategy > Sunk costs perceived by people collected through interviews PM. Costs are assumed in the analysis to be covered by a single external entity, instead of local community	43 years	Not specified in the paper	It is assumed that standard practice in developing countries considers a discount rate of 10-12%	10-12%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature. The 0-20% range is considered in a sensitivity analysis with the aim to better understand the implication of the chosen rate. The purpose of the sensitivity analysis is to compare benefits and costs accrued from embankments use and people-centered strategy along past and future scenarios of high climate change uncertainty.
Nepal Red Cross	2008	Ilam district - Nepal	> Flood mitigation works > Construction of flood shelters > Maintenance of the walls > Creation of operational units for the implementation of DDR measures > First aid training > Availability of ambulances	> Protection of crops through mitigation works > Moving livestock to safe areas thanks to the application of preventive measures > Protection of wells from contamination > Decrease in the mortality rate and diseases following the presence of ambulances	> Territory > Crops > Homes protected by mitigation works > Protection of water resources > First aid courses	15 years	Not specified in the paper	Not specified	10%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
Burton C.C. and Venton C.	2009	Provinces of Antique, Palawan and Surigao del Norte in Philippines	> Evaluation of Philippines National Red Cross "community-based disaster risk management" (CBDRM) program - cases of footbridge, sea wall and dyke construction.	> asset protection (e.g. homes, crops and livestock) > health benefits (e.g. access to drinking water) > social benefits (e.g. access to schools and hospitals)	> Costs associated with infrastructures (footbridge, sea wall, dyke)	15 years	Not specified in the paper	Comparison with rates used by development banks undertaking similar projects	10%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
Heidari A.	2009	Dez and Karun river floodplains south-west region of IRAN	Mitigation measures: > Detention dams > Levees or floodwalls > Dikes > Flood diversions	> Reduction or abatement of floods damages, particularly for crops (no human life loss encountered in past floods)	> Construction costs of mitigating measures	25 years	Not specified in the paper	Not specified	10%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
White Bo A. and M.M. Rorick	2010	Kailali district - Nepal	The Kailali Disaster Risk Reduction Initiatives (KDRRI) promoted by Mistry Corp Nepal and the Nepal Red Cross Society. The initiatives include: physical interventions (e.g. evacuation routes, embankments, community preparation, enhancement of buildings capacity) and early warning systems	> Damage reduction to flooded houses and individual goods > Loss reduction of stored grain and annual crops > Less earth dispersion because of the flood > Contaminated water is fully avoided	> Damage to flooded houses > Damage to property in homes > Loss of stored grain and annual crops > Land lost following the flood > Loss of infrastructure > Number of people exposed to contaminated water > Size of buildings / land value	10 years	Not specified in the paper	Asian Development Bank	12%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature. The discount rate value was arbitrarily chosen with respect to the most popular rate assumed by the Asian Development Bank for CBA in India
International Federation of Red Cross - IFRC	2012	Bangladesh	> Creation of community groups to raise awareness of risks and preparedness to react > Awareness raising on health and hygiene issues > Construction of wells to facilitate access to drinking water > Construction of escape routes > Establishment of an emergency fund	> Raising awareness of risks through the creation of groups at community level > Increase of knowledge on health and hygiene > Building escape routes reduce the number of lives lost and injuries > The emergency fund allows reconstructions after the flood event	> Costs for implementation of DDR measures	15 years	Not specified in the paper	Not specified	7.74% (inflation rate)	Approach: not specified Empirical estimation method: an inflation rate of 7.74% was used, representing the average inflation over the years 2006 to 2011. Note that no discount rate was applied, as researchers considered it inappropriate in the context of risk reduction. High discount rates lead to an over-valuation of the present over future risks.
Kunreuther H. and Michel-Kerjan E.	2012	Residential area in 34 world countries highly exposed to alluvial phenomena	Mitigation measures: > One-meter high-wall > Elevate the property by one meter > Early warning system	> Reduction of forecasted damages for buildings and infrastructures > Reduction of human lives losses	> Construction costs of mitigating measures applied in the 34 world countries and supporting analysis	10, 25, 50 years	Not specified in the paper	Not specified	5%-12%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature. The author refers to "typical discount rates used for development projects"
Albano R., Mancusi L., Albate A.	2017	Serie valley in North Italy	Mitigation measures: > Structural reconstruction/maintenance work of a riverbank > Non structural: early warning system	> Avoided annual damages after structural measures application and human losses averted thanks to non structural measures	> Construction and maintenance costs of applied/mitigating measures	For structural intervention: 30 years For non structural intervention: 20 years	DIR 2007/60; Regulation No. 1303/2013	DIR 2007/60; Regulation No. 1303/2014	For structural intervention: 3% For non structural intervention: 2%	Approach: not specified but classifiable as SRTP Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature and following European directive 2007/60 standards
Haer T. et al	2017	Tabasco state, Mexico	Mitigation measures: > Dikes along rivers and coasts	> Avoided annual damages after structural measures application	> Construction and maintenance costs of applied/mitigating measures	100 years	Not specified in the paper	Authors' calculation, based on rates used by other authors	4%	Approach: SRTP Empirical estimation method: Ramsey's formula: $r = p + \theta g$ . Where, $p$ is the rate of pure time preference set at 1%, the average growth rate is 3%, and the consumption elasticity of marginal utility $\theta$ is assumed to be 1. By applying Ramsey's formula, authors obtain a baseline social discount rate of 4%. No explanation is given about rates value selection.

Follows Table 2 - Synthesis of the literature review on CBA analysis applied in flood risk context"

# The Social Discount Rate in Cost-Benefit Analysis for flood risk management: Reasoning on the intertemporal preferences

Follow Table 2 - Synthesis of the literature review on CBA analysis applied in flood risk context".

Source: Authors elaboration

AUTHOR	YEAR OF PUBLICATION	PLACE	APPLIED MEASURE	SOCIETAL BENEFITS ACCRUED FROM APPLIED MEASURE	ANALYSED COSTS FOR SOCIETY	TIME FRAME OF THE ANALYSIS	SDR NATIONAL TARGET	SOURCE FOR APPLIED SDR	USED SDR	APPROACH AND METHOD FOR EMPIRICAL ESTIMATION OF SDR
Scorzini A.R. and Leopardi M.	2017	17 basins of the Abruzzo Region (central Italy)	Two different projects in Abruzzo Region: > 3 basins covering a total area of about 76 ha > 5 basins covering a total area of about 1307 ha	> Avoided annual damages after structural measures application	> Construction and maintenance costs of applied mitigating measures	50 years	DIR 2007/66.; Regulation No. 1303/2014	DIR 2007/66.; Regulation No. 1303/2015	3.5%	Approach: not specified but classifiable as SRTP Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature and following European directive 2007/60 standards
Peng B. and Song J.	2018	City of Miami USA	Mitigation measures: > Building levees segments along Miami River	> Avoided damages after building levees segment	> Construction and maintenance costs of applied mitigating measures	2025, 2050, 2075, 2100 (recurrence of storm surges event)	Not specified in the paper	Not specified	3%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
Reguero B.G. et al.	2018	Gulf Coast (Mexico) - USA	Mitigation measures: > Green or nature-based measures (e.g. oyster reef restoration) > Grey or structural measures (e.g. local levees, dikes, sandbags) > Policy measures (e.g. home elevation) > Wetland and beach restoration	> Decrease in built environment damages > Averted human losses	> Construction and maintenance costs of applied mitigating measures	20, 40 years	Not specified in the paper	Not specified	2%, 10%	Approach: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature Two discount rates are used to test the sensitivity of variation in benefit to cost ratios
Seebaa C. and Phatino C.	2018	Bangkaong River basin in Chachoengsao province - Thailand	Mitigation measures: > Dike height increases and > Netting around the ponds > Non structural but not included in the economic analysis > early harvesting and shifting the crop calendar	> Avoided damages for shrimp farms	> Costs for investments in flood control measures (construction and maintenance)	50 years	IPCC (2007a)	Prescribed by the Central Intelligent Agency	2.7%, 4%	Approach: not specified but classifiable as SRTP Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature and following the Central Intelligent Agency in the CIA world factbook standards and IPCC (2007a)
Trovato M.R. and Giuffrida S.	2018	Fiumedini-Capo Felino river basin - North Eastern Sicily	Applied proactive land protection policy after the flood (e.g.: expenses for first aid interventions, assistance to the population and identification of damage; restoration and reconstruction of destroyed and damaged properties; housing for homeless families; contributions to businesses located in damaged areas or buildings; social security, welfare and suspension of tax obligations and payments by residents in the province)	> Avoided damages to land and structures/infrastructures > Loss of human life	> Costs derived from applied land protection policies (recovery costs)	20 years	"Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects" - European Union; Brussels, Belgium, 2008	Authors' calculation starting from European Cost-Benefit Analysis Guidelines	3.69%	Approach: SRTP under sustainability principles Empirical estimation method: experimental application of a SDR model that takes into account the importance of the different areas of the damaged territory, decreasing in cases of valuable areas and vice-versa. In this study, a different SDR ranging between 3% and 5.5% has been attributed to each of the considered municipalities in inverse proportion to the risk level of the areas in which they are located. The overall SDR, 3.69%, has been calculated as average SDR weighted taking into account the number of installations as well.

Table 3 - Italian hydraulic hazard regions by geographic macro-areas.

Source: Authors' elaboration on ISPRA report 2018 data

Geographical macro-areas	Area	Area with hydraulic - L.D. 49/2010						
		High - "P3"		Mediuma - "P2"		Low - "P1"		
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
North-West	Piemonte, Valle D'Aosta, Lombardia, Liguria	57,927.0	3,277.5	5.7%	4,864.4	8.4%	8,359.0	14.4%
North-East	Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna	62,326.0	3,997.6	6.4%	12,655.2	20.3%	13,429.0	21.5%
Centre	Toscana, Umbria, Marche, Lazio	58,084.0	2,054.0	3.5%	3,940.9	6.8%	6,006.0	10.3%
South	Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria	73,798.0	2,124.6	2.9%	2,726.8	3.7%	3,139.7	4.3%
Isles	Sicilia, Sardegna	49,932.0	951.5	1.9%	1,210.3	2.4%	2,027.3	4.1%
<b>Total Italy</b>		<b>302,066.0</b>	<b>12,405.0</b>	<b>4.1%</b>	<b>25,398.0</b>	<b>8.4%</b>	<b>32,961.0</b>	<b>10.9%</b>
Northen-central Italy	North-West, North-East and Centre	178,337.0	9,329.1	5.2%	21,460.5	12.0%	27,794.0	15.6%
Southern Italy	South and Isles	123,730.0	3,076.1	2.5%	3,937.1	3.2%	5,167.0	4.2%
<b>Total Italy</b>		<b>302,066.0</b>	<b>12,405.0</b>	<b>4.1%</b>	<b>25,398.0</b>	<b>8.4%</b>	<b>32,961.0</b>	<b>10.9%</b>

Another critical factor is the nature and the time horizon of mitigation measures adopted in Italian territory to manage hydraulic risk and to which extent they affect the riskiness and dangerousness of national areas.

In 2020 ISPRA published the report of the ReNDiS Project ("Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo") in which are displayed the overall average duration of hydrogeological risk mitigation interventions by geographical areas and by amount derived from the

economic framework during the period 1999-2019 (Tab. 5).

To be noticed, in Table 5, the trend of the average implementation times does not substantially change much even when comparing the average durations for the different geographical areas according to the cost class. Only for cost classes above two million euros, there is a slight tendency towards lengthening the duration of the implementation times of the interventions located in the

**Table 4 - Italian Regions ranking with respect to percentage of population exposed to river floods' damages.**

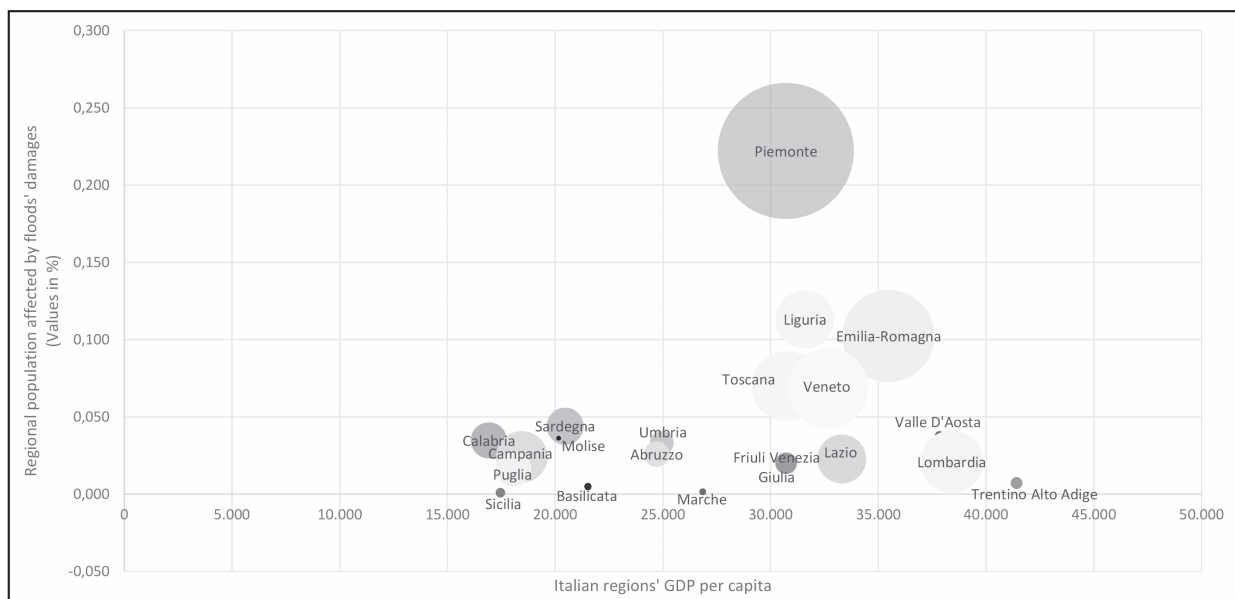
Rank	Region	Floods affected population in 2017	%	2017 per capita regional GDP (€)
6	Piemonte	968,986	0.222	30,710
12	Liguria	177,612	0.113	31,594
7	Emilia-Romagna	444,008	0.102	35,469
9	Toscana	256,189	0.070	30,744
5	Veneto	333,052	0.069	32,672
11	Sardegna	72,100	0.044	20,467
19	Valle d'Aosta	4,769	0.038	37,837
20	Molise	1,135	0.036	20,167
10	Calabria	68,197	0.035	16,924
17	Umbria	29,309	0.033	24,956
14	Abruzzo	33,793	0.026	24,713
2	Campania	139,171	0.024	18,454
3	Lazio	124,985	0.023	33,306
1	Lombardia	203,813	0.021	38,406
15	Friuli Venezia Giulia	24,363	0.020	30,722
8	Puglia	66,156	0.016	18,069
16	Trentino Alto Adige	7,388	0.007	41,417
18	Basilicata	2,860	0.005	21,521
13	Marche	2,419	0.002	26,852
4	Sicilia	4,761	0.001	17,460

North (7.3 years) compared to the rest of Italy. In the last twenty years and especially since 2010, hydraulic interventions predominate in the type of interventions at a national level, with a consequent increase in local and national funding actions for the construction of the related mitigation measures (ReNDiS, 2020). However, according to the ISPRA report (ISPRA, 2018), if the structural interventions are correlated with the variations of the dangerous areas proposed by ISPRA (especially in recent years since 1998) and with the number of victims from floods or economic damage (ref. Tab. 6). The same ISPRA report concludes that there is no significant influence of the interventions on reducing or downgrading high-risk areas in the short term. This observation, shared by ISPRA and ReNDiS reports, can be explained as a consequence of the long-term time horizons for constructing the mitigation measures. More precisely, the works financed in recent years will produce effects only in the near future as the average time of implementation of structural interventions (including the start-up, design, award procedure, execution of works, and testing phases) is equal to 4.7 years (Tab. 5), with the 80% of the works carried out between 2.1 and 7.8 years.

#### 4.2 The territorial context of Olbia and main flood phenomena

Olbia city is located in the north-eastern area of Sardinia along the Olbia Gulf. This urban centre is densely populated. It expands towards the western side across a flat surface of 376.1 km<sup>2</sup> bordered by a mountain belt and it is characterized by a rich hydrographic network (at least six torrents).

Over the last fifty years, Olbia has been bit by three

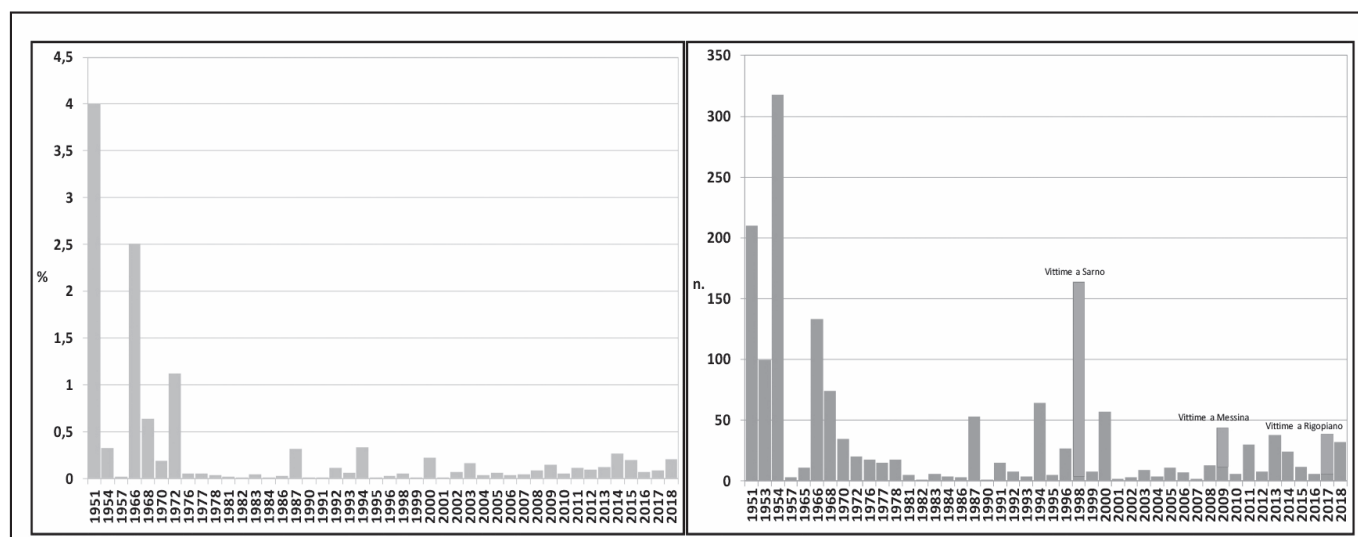


**Figure 5 - GDP per capita and absolute number of people affected from river floods' damages per country.**  
Source: Authors' elaboration on data from ISTAT, ISPRA report (2018) and Italian MEF.



**Table 5 - Overall average duration of hydrogeological risk mitigation interventions by geographical area and by expenditure.** Source: Authors'elaboration on REnDiS report 2020 data

Average total duration of interventions carried out divided by cost classes and geographical areas								
Cost classes (€)	North		Centre		South and Isles		Total	
	Number of interventions	Total average interventions	Number of interventions	Total average interventions	Number of interventions	Total average interventions	Number of interventions	Total average interventions
0-100.000	109	3.8	112	3.9	46	4.4	267	4.0
100.000-500.000	664	4.4	433	4.3	559	4.3	1,656	4.3
500.000-1.000.000	261	5.2	249	5.0	340	5.3	850	5.2
1.000.000-2.000.000	95	6.2	88	5.8	143	5.8	330	5.9
> 2.000.000	41	7.3	34	6.8	77	6.5	152	6.8
ND	150	4.9	51	4.3	101	4.8	302	4.8
<b>Total amount</b>	<b>1,320</b>	<b>4.8</b>	<b>967</b>	<b>4.6</b>	<b>1,266</b>	<b>4.9</b>	<b>3,557</b>	<b>4.8</b>



**Figure 6 - From left to right “a) valuation of economic damages of main flood events occurred in Italy with respect to Italian GDP; b) Victims of main flood events in Italy”.** Source: REnDiS report 2020, p. 3.

main floods with increasing occurrence due to climate changes: the first one was in 1979, then (probably the most devastating) in 2013 and, the last in 2015. The high population density, together with an uncontrolled growth of the urban fabric mainly the '70ies and the presence of a sprawled drainage basin converge today toward a fragile tightening scenario for hydrographic risk.

In particular, after the 2013 flood, the Civil Protection Department introduced new prevention actions for citizens with the result to avoid human losses during the subsequent event in 2015.

However, the Sardinian Basin Authority (in charge of monitoring hydrogeological risk and designing policies or

regulating the local basins) considers some structural mitigation measures against flooding phenomena in regulatory plans. The following table (Tab. 6) sums up structural mitigation measures provided by the Sardinian Basin Authority with relative costs and construction durations of each intervention.

As displayed in Table 6, the structural works are sized for very long return periods of 100, 200 and 500 years and, consequently, require greater resources in terms of costs and construction times.

To identify which of the structural measures listed above would be the most convenient for Olbia citizens in maximizing benefits and minimizing costs, a CBA has been applied to this case study.

**Table 6** - "Structural and non-structural mitigation measures proposed by the Sardinian Basin Authority with relative time of realisation and construction costs".

Source: Authors' elaboration on data from [www.regione.sardegna.it/autoritadibacino](http://www.regione.sardegna.it/autoritadibacino)

T	1/T	Type intervention	Time of realisation (years)	Cost (€)
1	1	No structural measures required	0	-
2	0.5	No structural measures required	0	-
5	0.2	Ordinary maintenance of waterways	1	100.000,00
20	0.05	Widening of the canals and reconstruction of the bridges	3	5.040.000,00
25	0.04	Construction of the retention basins	4	22.540.000,00
50	0.02	Construction of spillways	5	72.115.000,00
100	0.01	Structural measures designed to counter flood phenomena with T=100	10	82.367.500,00
200	0.005	Structural measures designed to counter flood phenomena with T=200	10	92.620.000,00
500	0.002	Structural measures designed to counter flood phenomena with T=500	15	97.251.000,00

In the case of Olbia it was also assessed to what extent the Flood Early Warning Systems (FEWS) can contribute in reducing the residual damage<sup>4</sup> (and so, the residual risk) not mitigated by the considered structural measures.

The analysis has started from the assessment of the flood risk with tools and procedure suggested in the European Directive n. 2007/60/EC<sup>5</sup> like the floods maps by using

<sup>4</sup> In economic terms (monetary), residual damages are different from avoided damages and are those damages not covered by mitigation measures.

<sup>5</sup> The Directive 2007/60 / EC (Floods Directive - FD) provides the reference framework for the assessment and management of flood risks and is implemented in Italy with Legislative Decree 49/20105.

QGIS and FEST models for the hydrographs calculated on four return periods of 50, 100, 200 and 500 years).

A second step consisted in estimating the expected damage after calculating the exposure and vulnerability of different building categories (from residential to commercial, offices and industrial) and by calculating them in monetary terms. The expected damage is defined starting from the damage curves calculated through the database HAZUS-MH distributed by FEMA - US Federal Emergency Management Agency (2010) and have been estimated tangible monetary damages. The included building tangible damages were assigned by considering costs of replacement and restoration of structures and referred to the last flood event in 2015 (Mancini et al., 2019).

The economic damage calculated for each considered flood scenario (return time of 500, 200, 100 and 50 years) were translated in a graph as a function of the probability of occurrence to obtain a damage curve through an interpolation.

The last step, CBA on 30 years, was performed on each of the aforementioned mitigating measures (Tab. 6) to elicit the most socially and economically preferable. Cost and benefits considered referred only to tangible direct damages. Additionally, a second CBA was performed to evaluate the impact that non-structural measures (FEWS) have on reducing damage not mitigated by structural interventions (residual risk).

The SDR used for the CBA applications was diversified in 2.66%, calculated on the base of the Ramsey formula, within the time horizon considered of 30 years, and 1.5% applied at the 30th year to take into account selected the continuity of both the costs and the benefits that each intervention will generate in the years following the time horizon according to the (application of perpetuity logic).

Operationally, the Ramsey formula has been applied following Eq.(1) below:

$$SDR = p + n \cdot g \quad (1)$$

With  $p = 1\%$  as the utility discount rate reflecting the pure time preference,  $n = 1,109$  as the elasticity of the marginal utility of consumption and  $g = 1,5\%$  as the annual rate of growth of per capita real consumption.

In order to estimate the above mentioned Ramsey formula parameters, the authors proceeded through an empirical analysis (Nesticò, De Mare and Conte, 2016).

More precisely:

- The utility discount rate reflecting the pure time preference  $p$  was estimated equal to zero by following the prevailing tendency in literature that consider the benefits of current generations equal the benefits of future ones. Whilst, it was included an intertemporal discount rate of 1% due to a high factor of hydraulic risk of the studied Italian area. Not by chance, hydraulic risk is defined in literature (Percoco, 2007) as a quite fluctuating number in a range between 0.98% and 1%

based on mortality rate;

- The elasticity of the marginal utility of consumption  $n$  was estimated by following the Personal Taxation model (Percoco, 2008; Nesticò et al., 2016), so to consider a value around 1,109 for the Italian case;
- The annual rate of growth of per capita real consumption  $g$  was estimated by considering the standard approach in literature that forecast the index of future growth with respect to the growth rate of per capita consumption of past years. Time series published by Istat on the change in GDP in the years 1995-2014 and for the Region of Sardinia revealed a growth rate of 1.5%.

The main results of the experiment are discussed in the following paragraph.

## 5. RESULTS AND DISCUSSION

The CBA for the case study of Olbia city includes nine different scenarios, replicated with respect to different adopted structural measures by the Sardinian Basin Authority. The nine scenarios were repeated secondly by including FEWS with the aim to test the residual risk reduction.

Results were compared through the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR) and the Benefit-Cost ratio (B/C).

About the structural mitigation measures, the analysis highlighted that the most advantageous interventions (both with respect to the NPV, the TIR, and the B/C ratio) were those with a higher residual hazard (specifically  $T = 20$  years,  $H = 1 / T = 0.05$ ) and, in particular, referred to the

**Table 7 - Results and main indicators of CBA analysis of Olbia Case study with respect to different scenarios derived from the application of nine mitigation measures. Source: Authors' elaboration.**

T	1/T	NPV (€)	IRR	B/C
1	1	- 1.437.491.136,31	-	0
2	0,5	- 1.385.169.589,05	-	0,01
5	0,2	- 210.559.969,59	-	0,75
20	0,05	627.244.830,96	16,46%	2,6
25	0,04	567.325.455,12	12,43%	2,26
50	0,02	493.043.887,56	9,44%	1,85
100	0,01	411.037.139,98	6,81%	1,73
200	0,005	439.442.666,26	6,93%	1,77
500	0,002	289.768.449,95	155,22%	1,55

option "widening the canals and reconstruction of bridges". The table 7 sums up the three indicators for all the nine scenarios (different return periods).

Generally, most evident data remark that the measures designed for flood scenarios with return periods of 1, 2 and 5 years have disadvantageous performance indices both in terms of NPV and in terms of B/C ratio, while other scenarios are advantageous with respect to all performance indices. But the much preferable intervention among those considered as advantageous is, both in economic and social terms, the one that allows to mitigate the damage corresponding to a flood scenario characterized by  $T = 20$  years.

The integration of FEWS with structural interventions were tested with respect to their capability of reducing, depending on the warning time of flood (24-48h) and the degree of preparation of the population (unprepared-prepared), the damage component not mitigated by structural works (residual damage).

Even with the integration of FEWS at the same SDR the most convenient scenario in the CBA was the  $T=20$ . More precisely, the results achieved highlighted the economic convenience, both in terms of NPV and B/C ratio, of the interventions designed for low payback periods (in this case  $T = 20$  years). Generally, the presence of a trained population makes all the planned interventions acceptable, regardless of the alert time considered and makes the 5-year intervention TIR even better (corresponding to an ordinary maintenance of waterways intervention).

The analyses conducted for the Olbia case study include the possibility of designing mitigation interventions with residual hazards more significant than those traditionally used in Italy by the basin district authorities. The work, therefore, highlights how, from the point of view of CBA, it is not advantageous to dimension structural interventions with traditional values of residual hazard compared to interventions that admit a residual risk corresponding to twenty-year payback times.

However, as the final goal of the present research work is to investigate the relation between the final Net Present Value and the Social Discount Rate (and so, its weight on the CBA), a sensitivity analysis on Olbia case study results were additionally provided on cash flows generated without the use of FEWS.

More precisely, by starting from the optimal elicited scenario of 20 years of payback period, the simulation of Net Present Value was repeated three times by using SDR of 3.5%, 5% and 10% that are respectively the most popular SDRs used in literature for European case studies, the SDR targeted by the Dir. 2007/60 and the most popular SDRs suggested from the literature review for worldwide case studies. The three NPV were calculated with a constant discount rate over the 30 years and a decreasing discount rate.

As expected, the results confirmed that the higher the SDR, the lower the NPV. Thus, considering a lower SDR or

a decreasing option over time does not privilege the current investments returns while, on the contrary, attaches a higher degree of preference to intergenerational equity; on the contrary, a high SDR makes the long-term social costs very low compared to the benefits achievable in the short term, resulting in an orientation in favour of the preferences of current generations to future ones. Nevertheless, the considered scenario (the structural measures were optimistically built up in three years) did not produce significant results by solely considering the discount rate variation. In fact, the modification of the discount rate, while slightly affecting the values of the performance indices, would not change the choice of the preferable intervention (T = 20 years).

Thus, after the first observation, it was decided to test the SDR influence on the NPV and the variation of time construction of the same structural mitigation measure (widening of the canals and reconstruction of bridges). In the second test with SDRs of 3,5%, 5% and 10%, it was assumed to complete the same structural measure over 7 years, based on the data provided by ISPRA (for the latter, see Sect. 4) about average construction times of mitigation measure for North Italy for those interventions with a final expenditure higher than 2 million of Euros. A sub-scenario of 7 years, an optimistic scenario of 4 years and a pessimistic of 10 years based on literature were included.

The graph and the tables in figure 7 synthesize the relation between the SDR and the NPV for the three temporal sub-scenarios of 7, 4 and 10 years, also considering the weight of costs deriving from construction and postponed avoided damages.

It is noteworthy to mention that if the construction period

of a mitigation measure is postponed, as a consequence, the construction costs and costs derived from not avoided damages weigh more on the cash flow.

In the optimistic scenario, the SDRs slightly weigh on the NPV that always remains positive. On the contrary, a 10% discount rate impacts the NPV of 7 and 10 years' sub-scenarios, making them negative, and in the case of 10 years, even a discount rate of 5% makes the net present values approaching the negative threshold.

## 6. CONCLUSIONS

The present contribution introduces a reflection on the SDR in CBAs applied to the choice of hydraulic risk mitigation interventions within the Flood Risk Management Plans provided for by Italian legislation (Legislative Decree 49/2010) in response to the European Directive on waters (DIR. 2007/60).

The reflection, framed in the theoretical context of reference (see Chap. 2 and 3), starts from an analysis of the case studies published at the international and national level on applying the CBA to the evaluation of investments for risk mitigation. The literature analysis highlights the significant variability in the use of the SDR and the non-homogeneity the approaches to evaluation, unlike the different social, environmental and economic ship contexts. There is a range of variation in the SDR from a minimum of 2% to a maximum of 12% concerning the time horizon of analysis and variable from a minimum of 15 years to a maximum of 100 years.

It is therefore evident that the choice of the SDR is influenced by multiple factors of a macro and micro-

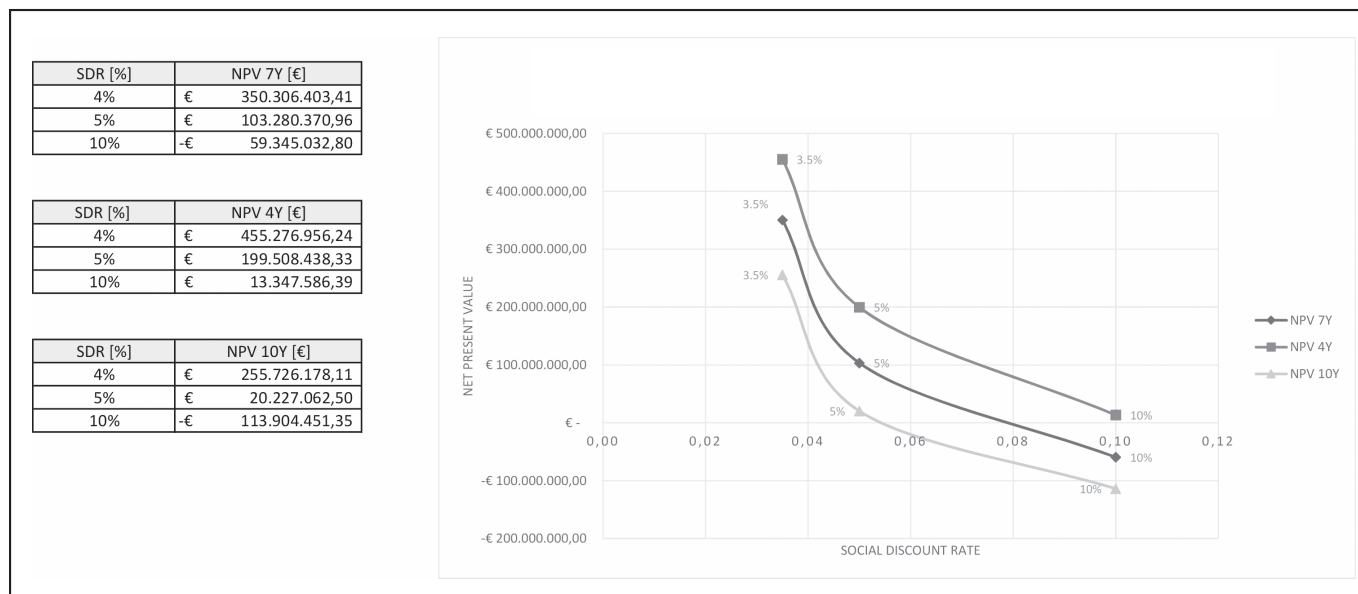


Figure 7 - Relation between SDR and NPV with respect to three sub-scenarios of 4, 7 and 10 years of mitigation measures' construction times. Source: Author's elaboration.



economic nature and the horizon time. If the analysis is limited to the short-term, it better reflects the financial market values by using higher SDR. In contrast, if the analysis considers a long-term over thirty years, the SDR decreases to mitigate the effect of the “tyranny of the present” by better balancing the needs of future generations with the current ones (Pearce et al. 2003, Oxera 2002).

The application to the Italian case study of Olbia city, hit by a strong flood in 2013, made it possible to test the results of the theoretical assumptions just mentioned in a real case.

As the results of the Olbia case analysis show, the time of completion of the structural mitigation works and the choice of the social discount rate related to them are the most influencing factors in the CBA outcome.

Consistently with literature (Apat 2006), the articulation of the damage over time (and therefore of the costs and benefits) strictly depends on the type and identity of the event, and, in particular, on the reversibility of the adverse effects like the possibility of restoring the damaged assets.

In the case of irreversible residual damage, or equally, of benefits that last for an infinite time, such as flood

damage, the SDR will be lower at the end of the analysis period in order to reflect the value of the perpetuity in the permanent phase versus the transitory one.

The time for carrying out the mitigation works, if prolonged, affects the duration of the transitional phase compared to the permanent one, moving forward along the timeline the benefits of the intervention obtained downstream and, therefore, reducing their current value. This aspect highlights how it might appear preferable to choose interventions that have more immediate effects over time, even in the face of more significant permanent social-economic-environmental residual damage, to maximize the current benefits.

The ongoing debate focuses still on the choice of the scenario that can be more effective in balancing present benefits and future residual damages.

In this perspective, CBAs can represent a valuable tool to support the choice of the preferable scenario, by taking into account issues of a social and economic nature. The debate on whether to use this analysis tool is still open to weight non-economic aspects related to the assessment of environmental and social damage, for which multi-criteria approaches appear instead more suitable.

### ACKNOWLEDGMENTS

*The case study was developed as Master degree final thesis “LE ANALISI COSTI-BENEFICI A SUPPORTO DEI PIANI DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONALE” Roberto Dossi, Supervisor: Prof. Marco Mancini, Co-Advisor: arch. Francesca Torrieri - Politecnico di Milano Master Degree Course in Hydraulic Civil Engineering.*

\* **Francesca Torrieri**, Department of Industrial Engineering, Piazzale Tecchio 80, Naples, 80134, Italy  
e-mail: ftorrie@unina.it

\*\* **Federica Cadamuro Morgante**, Department of Architecture and Urban Studies (DAStU), Politecnico di Milano, via Bonardi 3, Milano, 20133, Italy  
e-mail: federica.cadamuro@polimi.it

\*\*\* **Alessandra Oppio**, Department of Architecture and Urban Studies (DAStU), Politecnico di Milano, via Bonardi 3, Milano, 20133, Italy  
e-mail: alessandra.oppio@polimi.it

### Authors' contribution

*This research work is attributed in equal parts to the three authors.*

### Bibliography

ALBANO R., MANCUSI L., ABBATE A., *Improving flood risk analysis for effectively supporting the implementation of flood risk management plans: The case study of “Serio” Valley*, Environmental Science and Policy 75, 2017, pp. 158–172.

ALMANSA SÁEZA C., CALATRAVA-REQUENA J., *Reconciling sustainability and discounting in Cost-Benefit Analysis: A methodological proposal*, Ecological economics 60 (4), 2007, pp. 712–725.

APAT, *Rapporto APAT-Edizione 2006, Qualità dell'ambiente urbano III*, APAT, Roma 2006.

- ARROW K.J., CROPPER M.L., GOLLIER C., GROOM B., HEAL G.M., NEWELL R.G., NORDHAUS W.D., PINDYCK R.S., PIZER W.A., PORTNEY P.R., et al, *Should governments use a declining discount rate in project analysis?* Rev. Environ. Econ. Policy, 8, 2014, pp. 145–163.
- BOTTERO M., FERRETTI V., MONDINI G., *From the environmental debt to the environmental loan: Trends and future challenges for intergenerational discounting*, Environment, Development and Sustainability Volume 15, Issue 6, 2013, pp. 1623–1644.
- BOUMA J.J., FRANCOISE D. AND TROCH P., *Risk assessment and water management*, Environmental Modelling & Software 20, 2005, pp.141–151.
- BURTON C., VENTON C., *Case study of the Philippines national red cross: community based disaster risk management programming*, IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies), Ginevra, 2009.
- CROPPER M.L., AYDADE S.K., PORTNER P.R., *Preferences for live-saving programs: how the public discount time and age*, Journal of Risk and Uncertainty 8 (3), 1994, pp. 243–246.
- CRUE Eranet, *Effectiveness and Efficiency of Early Warning Systems for Flash Floods (EWASE)*, First CRUE ERANet Common Call Effectiveness and Efficiency of Non-structural Flood Risk Management Measures, CRUE Research report. No. I-5, 2008.
- DEFRANCESCO E., GATTO P., ROSATO P., *A 'component-based' approach to discounting for natural resource damage assessment*, Ecol. Econ, 99, 2014, pp. 1–9.
- DE FRANCESCO E., ROSATO P., ROSSETTO L., CANDIDO A., LA NOTTE A., “La scelta del saggio di sconto”, in De Framncesco (Ed), *Il risarcimento del danno ambientale: Aspetti teorici e operativi della valutazione economica*, 2012, pp. 155–178.
- DE FRANCESCO E., GATTO P., ROSATO P., *La scelta del saggio di sconto nella valutazione del risarcimento per danno all'ambiente*, Valori e Valutazioni, n. 9, 2012, pp. 107–124.
- EMMERLING J., DROUET L., VAN DERWIJST K.-I., VAN VUUREN D., BOSETTI V. TAVONI M., *The role of the discount rate for emission pathways and negative emissions*, Environ. Res. Lett 14, 104008, 2019.
- EUROPEAN UNION, *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*, European Union: Brussels, Belgium, 2008.
- EUROPEAN COMMISSION, *Directive 2007/60/EC Flood directive*, OJ L288, 6.11.2007.
- EUROPEAN COURT OF AUDITORS, *Relazione speciale n° 25 sulla Direttiva Alluvioni*, 2018.
- FEMA, *BCA Reference Guide*, 2009.
- FLORIO M., *La valutazione degli investimenti pubblici. I progetti di sviluppo nell'Unione Europea e nell'esperienza internazionale*. Volume primo, Franco Angeli, Milano, 2002.
- GOLLIER C., *Ecological discounting*, J. Econ. Theory, 145, 2009, pp. 812–829.
- HEIDARI A., *Structural master plan of flood mitigation measures*, Nat. Hazards Earth Syst Sci, 9, 2009, pp. 61–75.
- HOLLAND P., *An economic analysis of flood warning in Navua, Fiji, European Union Development Fund (EU EDF)*, in 8th – SOPAC Project Report 122, *Reducing Vulnerability of Pacific ACP States*, Fiji Technical Report, Suva, Fiji, 2008.
- HOLUB M., FUCHS S., *Benefits of local structural protection to mitigate torrent-related hazards*, in: Brebbia CA, Beritatos E (eds), *Risk Analysis VI, WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, vol. 39, Southampton, U.K.: WIT Press, 2008, pp. 401 –11.
- HAER T. (ed), *Economic evaluation of climate risk adaptation strategies: Cost-benefit analysis of flood protection in Tabasco, Messico*, *Atmósfera* 30(2), 2017, pp. 101–120.
- HENDERSON N., BATEMAN I., *Empirical and public choice evidence for hyperbolic social discount rates and the implications for intergenerational discounting*. *Environmental and Resource Economics* 5, 1995, pp. 413–423.
- IFRC, *The long road to resilience: impact and cost-benefit analysis of communitybased disaster risk reduction in Bangladesh*, IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies), Ginevra, 2012.
- ISPRA, *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Rapporto 287/2018*, ISPRA, Roma, 2018.
- JONES G. E., DAVIES B., HUSSIAN S., *Ecological economics*, Blackwell Science, Oxford, 2000.
- MARTINEZ-PAZA J., ALMANSAB C., CASASNOVA V., JOSE Vs., *Pooling Expert Opinion on Environmental Discounting: An International Delphi Survey*, 2016.
- KHAN F., MUSTAFA D., KULL D. & THE RISK TO RESILIENCE STUDY TEAM, *Evaluating the costs and benefits of disaster risk reduction under changing climatic conditions: A Pakistan case study*, Risk to Resilience Working Paper No. 7, 2008.
- KULA E., *Time Discounting and Future Generations: the Harmful Effects of an Untrue Economic Theory*, Westport, CT, Quorum Books, Londra, 1997.
- KULL D., *Evaluating costs and benefits of flood reduction under changing climatic conditions: case of the Rohini River Basin, India*, Risk to Resilience Working Paper No. 4, 2008, Kathmandu, Nepal, p.3.
- KUNREUTHER H., MICHEL-KERJAN E., *Policy Options for Reducing Losses from Natural Disasters: Allocating \$75 billion*, in The Wharton School University of Pennsylvania, *Revised version for Copenhagen Consensus Center for Risk Management and Decision Processes*, Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A., 2012.
- LICHFIELD N., *L'approccio Costi-Benefici alla valutazione dei piani*, in *Atti Colloquio Internazionale I.R.I.S./C.N.R. Metodi di valutazione nella pianificazione urbana e territoriale*, Capri, 1988.
- LIND R.C., *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*,

John Hopkins University Press, Baltimore, 1982.

MANCINI M., LOMBARDI G., MATTIA S., OPPIO A., TORRIERI F., *An Integrated Model for Ex-Ante Evaluation of Flood Damage to Residential Building*, in *Green Energy and Technology. Appraisal: from Theory to Practice*, 2016, pp. 157–170.

MARTELLI M., PENNISI G., *Le basi metodologiche della valutazione di programmi e di progetti nelle procedure dell'Unione Europea: Il programma operativo multiregionale per l'ambiente (POMA)*, Associazione Italiana di Valutazione AIV, Terzo congresso nazionale, Roma-Torino, 2000.

MARTÍNEZ-PAZ J.M., PERNI A., MARTÍNEZ-CARRASCO F., *Assessment of the Programme of Measures for Coastal Lagoon Environmental Restoration Using Cost-Benefit Analysis European Planning Studies*, 21 (2), 2013, pp. 131–148.

MASELLI G., NESTICÒ A., *A probabilistic model for the estimation of declining discount rate [Un modello probabilistico per la stima del saggio di sconto declinante]*, *Valori e Valutazioni*, 2020(24): pp. 181–194.

MECHLER R., *Cost-benefit analysis of natural disaster risk management in developing countries*, Working paper for sector project 'Disaster Risk Management in Development Cooperation', GTZ, Berlino, 2005.

MECHLER R., HOCHRAINER S., KULL D., SINGH P., CHOPDE S., WAJIH S. & THE RISK TO RESILIENCE STUDY TEAM, *Uttar Pradesh drought cost-benefit analysis*, India, 2008.

MONDINI G., BOTTERO M., FERRETTI V., *From the environmental debt to the environmental loan: Trends and future challenges for intergenerational discounting*, *Environment Development and Sustainability* 15(6), 2013, pp. 1623–1644.

MORIMOTO R., HOPE C., *Applying a cost-benefit analysis model to the Three Gorges project in China*, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 22:3, 2004, pp. 205–220.

MUNDA G., *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*, 2008.

MUÑOZ-TORRECILLAS M.J., ROCHE J., CRUZ-RAMBAUD S., *Building a Social Discount Rate to be Applied in US Afforestation Project Appraisal*, *Forests*, 10, 445, 2019.

NEPAL RED CROSS, *Cost benefit analysis of a Nepal red cross society disaster risk reduction programme*, Kathmandu, Nepal, 2008.

NESTICÒ M., DE MARE G., CONTE A., *Approcci teorici ed empirici nella stima del saggio sociale di sconto. La formula di Ramsey per un valore nazionale aggiornato*, *Valori e Valutazioni*, vol. 14., 2016, pp. 47–62.

NESTICÒ A., MASELLI G., *A protocol for the estimate of the social rate of time preference: the case studies of Italy and the USA*, *Journal of Economic Studies*, Vol. 47 No. 3, 2020, pp. 527–545.

OPPIO A., TORRIERI F., DELL'OVO M., "How to Model Stakeholder Participation for Flood Management", in *Decision Support Systems VIII: Sustainable Data-Driven and Evidence-Based Decision Support*, 2018.

OXERA, *A social time preference rate for use in long-term discounting*, The office of the Deputy Prime Minister, Department for transport, and Department for the environment, food and rural affairs, Londra, 2002.

PAGE T., *Conservation and Economic efficiency, Resources for the Future*, John Hopkins University Press, Baltimora, 1977.

PAGE T., *On the Problem of Achieving Efficiency and Equity, Intergenerationally in Land Economics*, 4, 1977.

PEARCE D., GROOM B., HEPBURN C., KOUNDOURY P., *Valuing the future. Recent advances in social discounting*, in *World economics*, 4, 2, 2003, pp. 121–141.

PENG B., SONG J., *A case Study of Preliminary Cost-Benefit Analysis of Building Levees to Mitigate the Joint Effects of Sea Level Rise and Storm Surge*, *Water*, 2018, 10, 169.

PENNISI G., SCANDIZZO P.L., *Valutare l'incertezza*, Torino: G. Giappichelli Editore, 2003.

PERCOCO M., *A social discount rate for Italy*, *Applied Economics Letters*, 15:1, 2007, pp. 73–7.

REGUERO B.G., BECK M.W., BRESCH D.N., CALIL J., MELIANE I., *Comparing the cost effectiveness of nature-based and coastal adaptation: A case study from the Gulf Coast of the United States*, *PLoS ONE*, 13(4): e0192132, 2018.

ReNDiS Project report (ISPRA), *La difesa del suolo in vent'anni di monitoraggio ISPRA sugli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico. Report 328/2020*". ISPRA, Roma, 2020.

RODRÍGUEZ-LABAJOS B., MARTÍNEZ-ALIER J., *The economics of ecosystems and biodiversity: Recent instances for debate*, *Conservation and Society*, 11 (4), 2013, pp. 326–342.

SCORZINI A.R., LEOPARDI M., *River basin planning: from qualitative to quantitative flood risk assessment: the case of Abruzzo Region (central Italy)*, *Nat Hazards*, 2017, 88: pp. 71–93.

SEEKAO C., PHARINO C., *Cost-benefit analysis of shrimp farming's flood risk reduction strategies in Thailand*, *J Flood Risk Management* 11, 2018, pp. 805–816.

SHREVE C.M., KELMAN I., *Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction*, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 10, 2014, part A: pp. 213–235.

TORRIERI F., MANCINI M., MATTIA S., OPPIO A., *A spatial model for the economic evaluation of flood risks [Un modello spaziale di valutazione economica del danno atteso a supporto della gestione sostenibile delle aree a rischio alluvioni]*, *Territorio*, Issue 79, 2016, Franco Angeli, Milano, pp. 118–126.

TORRIERI F., OPPIO A., *The sustainable management of flood risk areas: Criticisms and future research perspectives*, in *Integrated Evaluation for the Management of Contemporary Cities*. Green Energy and Technology, 2018.

TORRIERI F., DE PAOLA P., BASILE M., VACCA G., DEL GIUDICE V., *Cost Benefit Analysis for a hydraulic project: a case study*, 4th International Symposium on New Metropolitan

Perspectives, NMP 2020; Reggio Calabria; Italy; 26 May 2020 through 28 May 2020, Vol. 178 SIST, 2021, pp. 2159–2168.

TROVATO M.R. and GIUFFRIDA S., *The Monetary Measurement of Flood Damage and the Valuation of the Proactive Policies in Sicily*, Geosciences 2018, 8, p. 141.

VASQUEZ-LAVÍN F., OLIVA R.D.P., HERNÁNDEZ J.I., GELCICH S., CARRASCO M., QUIROGA M., *Exploring dual discount rates for ecosystem services: Evidence from a marine protected area network*, Resour. Energy Econ. 55, 2018, pp. 63–80.

WHITE B.A., RORICK M.M., *Cost-benefit analysis for community-based disaster risk reduction in Kailali, Nepal*, Mercy Corps Nepal, Lalitpur, Nepal, 2010.

#### Internet references

Population Pyramid, [www.populationpyramid.net](http://www.populationpyramid.net)

Aqueduct floods, [www.wri.org/flood](http://www.wri.org/flood)

The World Bank, [www.data.worldbank.org](http://www.data.worldbank.org)

United Nations Statistics Division (UNSD)  
[www.unstats.un.org](http://www.unstats.un.org)

Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), [www.istat.it](http://www.istat.it)

Ministero dell'Economia e delle Finanze - MEF,  
[www.dt.mef.gov.it](http://www.dt.mef.gov.it)

Istituto superiore per la protezione e la ricerca  
ambientale - ISPRA, [www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

Autorità di Bacino Regionale della Sardegna,  
[www.regione.sardegna.it/autoritadibacino](http://www.regione.sardegna.it/autoritadibacino)



# Il saggio sociale di sconto nell'Analisi Costi-Benefici per la gestione del rischio alluvionevole: Riflessioni sulle preferenze intertemporali

Francesca Torrieri\*,  
Federica Cadamuro Morgante\*\*,  
Alessandra Oppio\*\*\*

*parole chiave:* tasso sociale di sconto,  
analisi costi-benefici, gestione del rischio alluvionevole,  
debito intergenerazionale ambientale

## Abstract

*Nell'ambito dei Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), la Comunità Europea (Dir. 2007/60; Regulation No. 1303/2013) ha introdotto la necessità della valutazione delle misure di prevenzione del rischio alluvioni sulla base di una Analisi Costi-Benefici (ACB), al fine di individuare una graduatoria di priorità degli interventi strutturali e non strutturali da attuarsi per ridurre la probabilità di inondazione e le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.*

*Rispetto all'applicazione dell'ACB, la stima del Saggio Sociale di Sconto (SSS) rappresenta uno degli aspetti più critici per esprimere il valore delle preferenze intertemporali, la disponibilità a pagare per la tutela dell'ambiente e la qualità della vita, nonché il peso attribuito all'eredità del debito futuro intergenerazionale in una specifica dimensione spazio-temporale.*

*In particolare, le applicazioni al settore del rischio idraulico così come le linee guida nazionali e internazionali mostrano come non vi sia ancora una convergenza di opi-*

*nioni sulle metodologie da applicare per la stima del SSS e sul valore da adottare in differenti contesti territoriali.*

*A partire da un'analisi della letteratura sul ruolo del SSS nelle ACB applicate al settore della prevenzione del rischio idraulico, il presente articolo propone un quadro ampio di casi di studio in differenti contesti geografici, che sottopone a una riflessione critica in merito agli aspetti teorici e operativi.*

*Le riflessioni teoriche sono poi sperimentate attraverso un'applicazione dell'ACB alla città di Olbia, dove si sono verificate grandi alluvioni negli ultimi cinquant'anni, l'ultima delle quali nel 2013, che hanno causato perdite significative in termini di benessere economico e vite umane. I primi risultati ottenuti mostrano come la scelta del SSS, così come la temporalizzazione degli interventi, sia determinante per l'efficacia delle decisioni dal punto di vista sociale, soprattutto in scenari di lungo periodo, a causa dell'effetto cumulato e moltiplicativo dei prezzi intertemporali che porta a ridurre i valori futuri, quali per esempio i benefici ambientali e sociali, se scontati all'attualità.*

## 1. INTRODUZIONE

I cambiamenti climatici, insieme a continue e inappropriate modifiche del territorio, hanno portato nell'ultimo ventennio a un sostanziale incremento degli eventi catastrofici, causando ingenti danni economici, sociali e ambientali alle popolazioni e ai beni esposti.

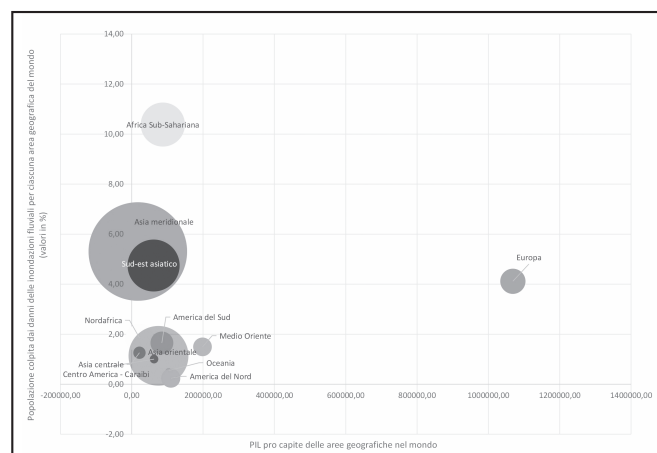
Secondo i dati pubblicati nel rapporto annuale "Counting the Cost 2019: a year of climate breakdown" (Krame, 2019), solo nel 2019 – dall'Africa meridionale al Nord America, dall'Australia all'Asia, fino all'Europa – inondazioni, tempeste e incendi hanno causato la morte di oltre 4.500 persone con danni economici per miliardi di dollari. L'ultimo

**Tabella 1 - Aree geografiche nel mondo esposte al rischio di alluvione e percentuale di popolazione esposta al rischio di alluvione**

A	B	C	D	E
Graduatoria (pop colpita da alluvione in valori relativi - colonna D)	Aree geografiche (classificazione ONU)	Popolazione media annua attualmente interessata da alluvioni fluviali (valori assoluti)	Popolazione colpita dai danni delle inondazioni fluviali %	Pro-capite
1	Africa Sub-Sahariana	1938172,89	10,38	87060,21
2	Asia meridionale	9652634,78	5,30	17093,88
3	Sud-est asiatico	2690059,89	4,75	61295,00
4	Europa	630009,62	4,11	1068538,18
5	Nord Africa	787836,07	1,84	21898,35
6	America del Sud	517441,50	1,65	84358,05
7	Medio Oriente	346848,38	1,49	198496,43
8	Asia centrale	151950,78	1,26	21622,00
9	Asia Orientale	3560878,96	1,13	74918,69
10	Centro America - Caraibi	73648,47	1,00	62501,54
11	Oceania	30277,77	0,54	103007,94
12	America del Nord	354766,88	0,24	109606,78
<b>TOTALE</b>		<b>20734525,98</b>	<b>33,71</b>	<b>19103</b>

rapporto dell'UN "The human cost of disaster 2000-2019" conferma tale tendenza riportando che dal 2000 al 2019 sono state registrate 7.348 calamità naturali per un costo stimato di quasi 3.000 miliardi di dollari e la morte di oltre 1,2 milioni di persone. Tra i disastri naturali quelli idrogeologici<sup>1</sup> sono tra i più frequenti (50%) con un danno stimato nel 2019 pari a 36,8 miliardi di US \$ (Unsd, 2019) e una popolazione esposta al rischio annua pari a circa 20.734.526 persone che rappresentano il 33,7 % della popolazione totale.

In Tabella 1 (Fonte: [www.wri.org/flood](http://www.wri.org/flood)) sono riportati i paesi nel mondo (classificazione ONU) soggetti a rischio alluvionale e la relativa percentuale di popolazione esposta. La Figura 1, inoltre, offre una classificazione dei paesi nel mondo rispetto alla percentuale di popolazione esposta ai danni delle inondazioni fluviali, insieme al PIL pro-capite e al numero assoluto di persone colpite dai danni delle inondazioni fluviali per area.

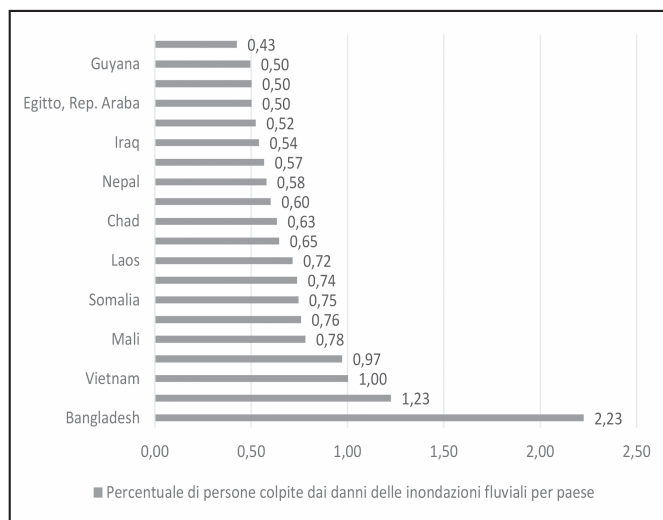


**Figura 1 - Aree geografiche nel mondo redistribuite rispetto alla percentuale di popolazione esposta ai danni delle alluvioni fluviali, insieme al PIL pro-capite e al numero assoluto di persone colpite dai danni delle inondazioni fluviali per area".**

Fonte: Elaborazione degli autori su dati del World Resource Institute e della World Bank.

<sup>1</sup> L'attuale normativa (Dir. 2007/60; Reg. No. 1303/2013), definisce il "dissesto idrogeologico" come la condizione che caratterizza aree ove processi naturali o antropici, relativi alla dinamica dei corpi idrici, del suolo o dei versanti, determinano condizioni di rischio sul territorio" e come "difesa del suolo" il complesso delle azioni ed attività riferibili alla tutela e salvaguardia del territorio, dei fiumi, dei canali e collettori, degli specchi lacuali, delle lagune, della fascia costiera, delle acque sotterranee, nonché del territorio a questi connessi, aventi le finalità di ridurre il rischio idraulico, stabilizzare i fenomeni di dissesto geologico, ottimizzare l'uso e la gestione del patrimonio idrico, valorizzare le caratteristiche ambientali e paesaggistiche collegate.

I grafici in Figura 2 e 3 mettono in luce una relazione inversa tra ricchezza economica del paese e percentuale di popolazione esposta al rischio. I 20 paesi più colpiti dal ri-



**Figura 2** - I primi 20 paesi del mondo per numero di persone colpite dai danni delle inondazioni fluviali.

Fonte: Elaborazione degli autori su dati World Resource Institute e World Bank.

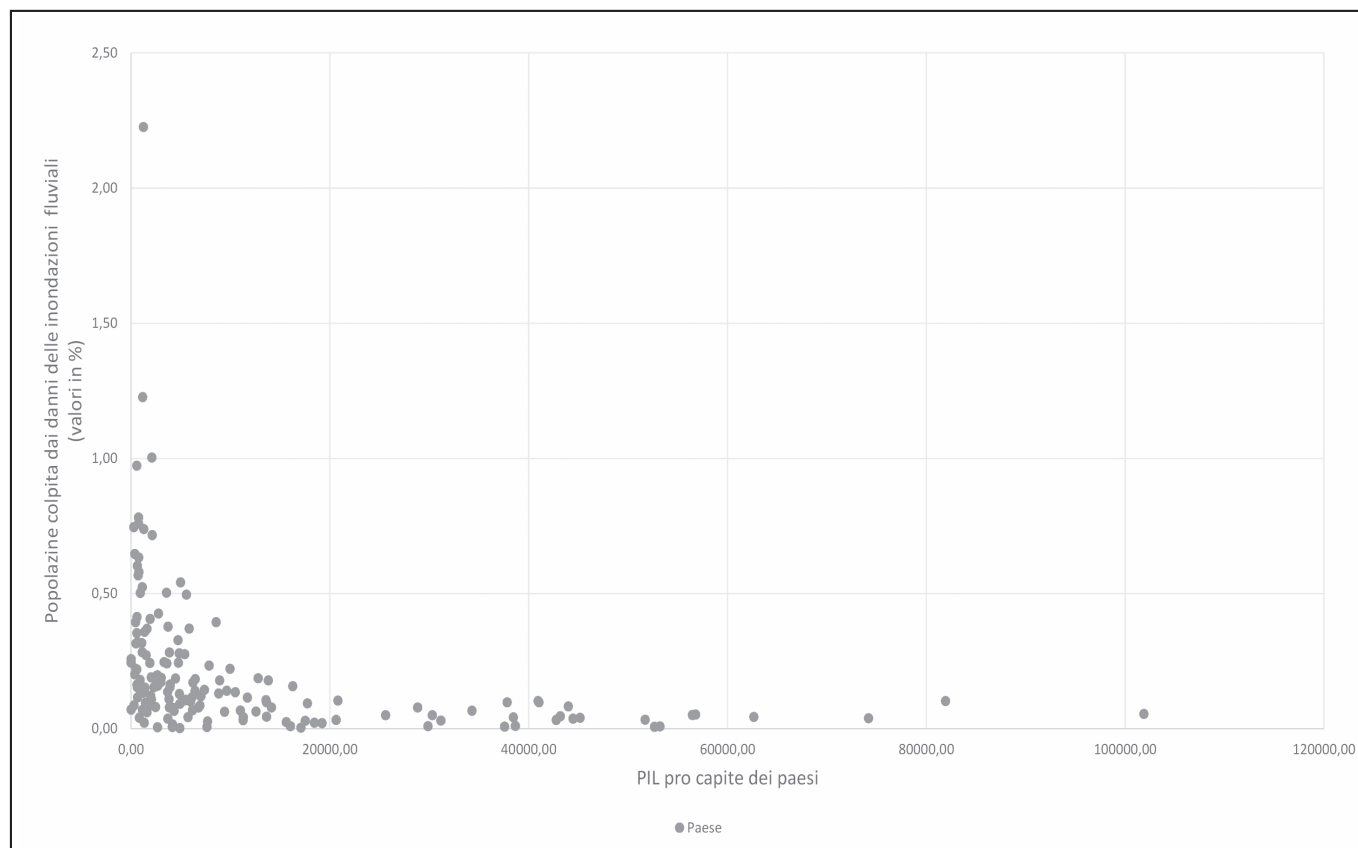
schio alluvionale risultano essere quelli con una più alta percentuale di popolazione esposta e con il PIL pro-capite più basso (Fig. 4). Tale relazione indica chiaramente come i paesi più poveri abbiano una minore resilienza rispetto alle catastrofi naturali e dunque subiscano maggiormente gli effetti dei cambiamenti climatici.

Il maggiore rischio a cui sono esposte le popolazioni residenti e l'instabilità economica di tali paesi si evidenzia nel costo opportunità sociale di utilizzo delle risorse pubbliche che appare molto più alto rispetto alle economie più forti (come specificato poi nel Cap. 3).

In Europa, che occupa una posizione centrale della graduatoria dei paesi esposti (Tab. 1 e Fig. 1), i costi economici dovuti agli eventi idrologici ammontano dal 1980 al 2017 a circa 166 miliardi di euro, ossia circa un terzo delle perdite derivanti da eventi di natura climatica.

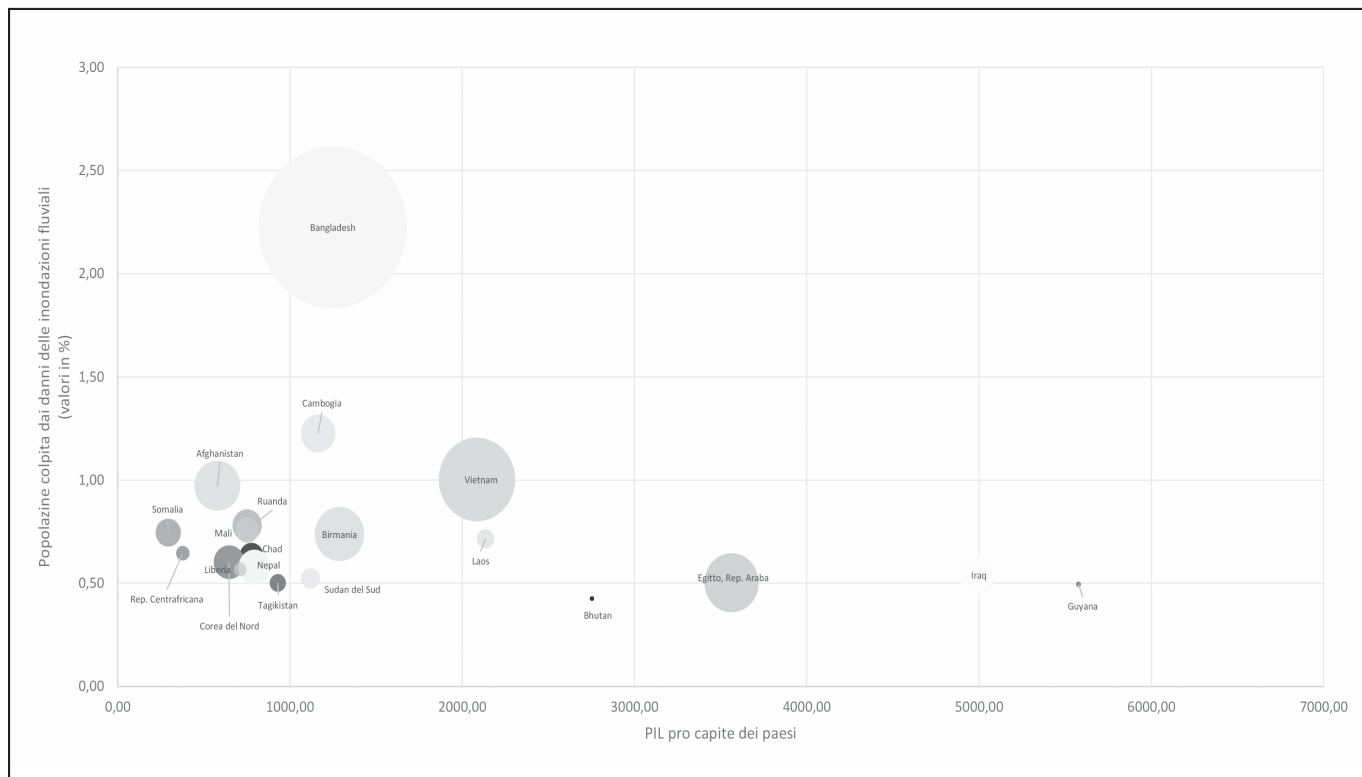
Inoltre, le proiezioni indicano che i danni provocati nell'UE dalle alluvioni, per l'effetto combinato dei cambiamenti climatici ed economici, aumenteranno di 46 miliardi di euro all'anno fino al 2050 e 98 miliardi di euro all'anno fino al 2080 (Relazione speciale n. 25 Direttiva Alluvioni EU).

L'ultimo rapporto ISPRA denuncia tale tendenza anche per il territorio italiano, con una popolazione esposta al rischio pari a circa 18.000.000 di persone e il 37% del patri-



**Figura 3** - PIL pro-capite dei paesi del mondo e percentuale di popolazione esposta ai danni delle inondazioni fluviali.

Fonte: Elaborazione degli autori su dati World Resource Institute e World Bank.



**Figura 4 -** Primi venti paesi del mondo per percentuale di popolazione esposta ai danni delle alluvioni fluviali, insieme al PIL pro-capite e al numero assoluto di persone colpite dai danni delle inondazioni fluviali per paese.  
Fonte: Elaborazione degli autori su dati World Resource Institute e World Bank.

monio immobiliare localizzato in aree a rischio (Rapporto Ispra, 2018).

Rispetto a tale scenario, la risposta delle istituzioni politiche internazionali è stata quella di adottare un approccio di “Risk management”, incentrato non solo sulla ricostruzione dei danni e sulla erogazione di servizi di emergenza, ma orientato a diffondere una cultura di previsione e prevenzione, incentrata sulla corretta individuazione delle condizioni di rischio e l’adozione di interventi finalizzati alla minimizzazione degli impatti degli eventi (Torrieri, Oppio et al., 2018).

La Direttiva Europea 2007/60, recepita nel contesto normativo italiano dal D.lgs. 49/2010, introduce l’obbligo di predisporre per tutti gli Stati membri dei Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) al fine di istituire strumenti per la valutazione e la gestione dei rischi da alluvioni volti a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l’ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche, a individuare azioni strutturali e non strutturali dirette a ridurre la probabilità di inondazione.

Nello specifico, gli obiettivi prioritari del PGRA appaiono quelli di riduzione della pericolosità e vulnerabilità delle aree classificate a rischio attraverso l’attuazione di interventi “non strutturali” in grado di mitigare i potenziali impatti negativi per la salute umana, il ter-

ritorio, i beni culturali, l’ambiente e le attività economico-sociali.

La valutazione delle misure di prevenzione e mitigazione del rischio, in base a un’analisi dei costi e dei benefici economici, diventa un’attività rilevante al fine di individuare una graduatoria di priorità degli interventi da attuarsi e la relativa sostenibilità economico-finanziaria (Torrieri e Rossitti, 2020; Torrieri et al., 2021). È noto, infatti, che un tema di grande interesse sia la capacità di far fronte finanziariamente alla messa in sicurezza del territorio e all’emergenza post evento catastrofico (Dell’Ovo et al., 2018).

L’Analisi Costi-Benefici (ACB) nasce quale tecnica di valutazione degli investimenti nel settore privato e si diffonde poi nel campo delle scelte pubbliche come strumento di supporto alle analisi di fattibilità economico-finanziaria di un singolo progetto, di un programma o anche di uno strumento di politica economica (Lichfield, 1988; Florio, 2002; Pennisi e Scandizzo, 2003). È una tecnica di valutazione degli investimenti basata sull’ipotesi che tutti i benefici e i costi correlati a un progetto possano essere valutati in termini monetari, al fine di misurare il miglioramento del benessere collettivo a valle del progetto rispetto allo scenario in cui l’intervento non sia realizzato. Si fonda sul principio dello “sconto intertemporale dei va-



lori", ovvero sulla previsione di valori futuri scontati all'attualità.

Le prime applicazioni nell'ambito della valutazione di piani e progetti di mitigazione e gestione del rischio da alluvioni risalgono ai primi anni '60 (Lind, 1967), ma solo negli anni '90 (BCA Reference Guide, FEMA), con l'introduzione dei Sistemi Informativi Geografici (GIS), se ne diffuse l'uso in diversi contesti internazionali grazie alla capacità di tali tecnologie di elaborare e correlare dati spaziali relativi alla pericolosità degli eventi attesi con le diverse componenti dei contesti urbani e territoriali a rischio (Shreve e Kelman, 2014; Mancini et. al., 2017).

Come si evince dall'ultima Relazione della Corte dei Conti Europea<sup>2</sup> sulle sperimentazioni in corso nell'ambito dei PGRA, numerose problematiche ancora emergono nell'applicazione della metodologia della ACB al settore in oggetto, data la complessità dei fenomeni analizzati e l'incertezza propria dei fenomeni naturali. Problematiche che attengono: a) alla definizione di una funzione di benessere sociale per la stima ex-ante dei danni attesi; b) alla definizione di un appropriato orizzonte temporale di analisi; c) alla determinazione di un SSS per l'attualizzazione dei flussi di cassa futuri, che tenga conto dei rischi sistemici ma anche di quelli specifici di settore (Torrieri et. al., 2016).

Il presente articolo si sofferma sulla stima del SSS, affrontando il tema a partire da un'analisi della letteratura scientifica.

Un uso non corretto del SSS, infatti, può condurre a scelte socialmente inefficienti e/o arbitrarie poiché il suo impatto sul valore attuale dei flussi di cassa, soprattutto con riferimento a orizzonti temporali di lungo periodo, è infatti maggiore di quello di altri parametri dell'analisi, a causa dell'effetto cumulato e moltiplicativo dei prezzi intertemporali che porta a ridurre i valori futuri (quali per esempio i benefici ambientali e sociali) se scontati all'attualità.

Pertanto, affrontata la questione della determinazione del SSS nell'ambito dell'ACB, evidenziando le problematiche che emergono in generale dal principio dello "sconto intertemporale dei valori", per poi spostare l'attenzione sul rischio alluvionale con specifico riferimento alle più recenti esperienze di valutazione sviluppate in ambito internazionale e nazionale.

L'impatto della variazione del SSS sarà successivamente testato nell'ambito di una ACB per la scelta di interventi di mitigazione del rischio idraulico.

## 2. IL SAGGIO SOCIALE DI SCONTO NELLE ANALISI COSTI-BENEFICI

Nell'ambito delle decisioni pubbliche, l'aggregazione di

valori riferiti a momenti diversi si basa su un saggio che viene definito saggio sociale di sconto (SSS), in ragione del particolare ambito al quale si applica e che lo distingue dai saggi di interesse finanziari, ordinariamente utilizzati negli investimenti di tipo privato. La definizione del SSS è controversa e il dibattito così ampio da includere argomenti di natura etica, filosofica, oltre che economica (Nesticò and Maselli, 2020).

A partire dalla fine degli anni '70 del secolo scorso, contestualmente al consolidarsi del concetto di sviluppo sostenibile, sono emerse due questioni rilevanti nella scelta del SSS: la prima fa riferimento al tema dell'efficienza intertemporale, la seconda all'istanza di equità intergenerazionale (Page, 1997). Le domande poste dal Resources For the Future (RFF), che nel 1977 sollecitò una discussione aperta intorno alla scelta del SSS negli investimenti pubblici (Lind, 1982), sono ancora oggi centrali e continuano ad alimentare il dibattito: i progetti i cui effetti si distribuiscono lungo orizzonti temporali di oltre cento anni possono essere considerati come versioni estese di progetti della durata di 30/40 anni?; qual è in questi casi il SSS più appropriato?; se il progetto genera effetti intergenerazionali non trascurabili, come possono essere valutati? (Almansi Sáeza and Calatrava Requena, 2007).

È infatti evidente come la scelta di SSS elevati renda i costi sociali di lungo periodo molto bassi rispetto ai benefici conseguibili a breve termine, comportando un orientamento a favore delle preferenze delle attuali generazioni rispetto a quelle future. Al contrario, l'introduzione di un principio di equità tra generazioni suggerisce di ricorrere a saggi di sconto prossimi allo zero, se non negativi. In particolare, questa posizione trova il suo fondamento teorico nella nozione stessa di sostenibilità e nelle sue principali declinazioni in rapporto al principio di precauzione e alla sostituibilità o meno delle risorse. Da un punto di vista operativo, un orientamento verso forme di sostenibilità debole ammette l'aggiustamento verso il basso del SSS (Kula, 1997; Martelli e Pennisi, 2000). Al contrario, l'accettazione di un paradigma di sostenibilità forte implica l'uso di saggi negativi (Jones et al., 2000; Oxaer, 2002). Un ulteriore approccio consiste nell'uso di SSS decrescenti nel tempo, quando l'incertezza è elevata in ragione di orizzonti temporali della valutazione molto lunghi e il soddisfacimento e la crescita del benessere delle generazioni future è stringente a fronte di risorse non rinnovabili (De Francesco et al., 2006; De Francesco et al. 2012; De Francesco et al., 2013).

Nella letteratura scientifica i metodi maggiormente utilizzati per la stima del SSS sono:

- il Saggio Sociale di Preferenza Temporale (SSPT), ampiamente utilizzato in ambito europeo e nei paesi maggiormente sviluppati. Il SRTP è definito come il tasso al quale la società è disposta a scambiare il consumo attuale con quello futuro. Pertanto, l'investimento pubblico rifletterà il livello di preferenza temporale espresso dalla società. La formula più utilizzata per la stima del SRTP è la formula di Ramsey. Questa formula

<sup>2</sup> European Court of Auditors: Special report no 25/2018, Floods Directive.

include nei suoi tre fattori (vedi Eq. (1) al Cap. 4; Par. 4.2) due importanti concetti: a) il comportamento “miope” dei consumatori che tendono a privilegiare un beneficio presente rispetto a uno futuro (consumatori impazienti-miopi); b) il miglioramento del benessere della generazione attuale a cui corrisponde un’ utilità maggiore derivante dal consumo delle risorse attuali rispetto a quelle future (Zhuang, 2007; Nesticò, De Mare, Costa, 2016; Nesticò, Maselli, 2020). Una delle principali critiche mosse all’ utilizzo del SRTP è che il saggio così calcolato esprime esclusivamente una misura delle preferenze sociali intertemporali, non tenendo conto delle esternalità positive per i soggetti privati e dunque degli effetti redistributivi (Zhuang, 2007).

- il Costo Opportunità del Capitale Sociale (SOC), che invece riflette il rendimento marginale del progetto privato. In questo caso, le maggiori critiche all’ approccio osservano che tale saggio rifletta maggiormente le logiche di mercato private piuttosto che quelle pubbliche (Zhuang, 2007).

Oltre a questi due approcci più frequentemente adottati, alcuni autori in letteratura propongono modelli alternativi, quali l’ Approccio della Media Pesata (“Weighted Average Approach”) e l’ Approccio del Prezzo Ombra del Capitale (SPC), che conciliano le logiche del SRTP e del SOC e ne superano i limiti. In altre parole, questi ultimi due approcci assumono che i benefici generati dall’ intervento pubblico possano andare a vantaggio di futuri investimenti privati (Zhuang, 2007; Nesticò, Maselli, 2020). In particolare, l’ approccio SPC riconosce che i costi di un progetto pubblico possono incentivare investimenti privati e che anche i benefici possono essere reinvestiti nel settore privato. Il tal senso il costo e il beneficio totale di un progetto pubblico è dato dalla somma dei costi e benefici attuali e futuri sia del progetto pubblico che del reinvestimento privato (Nesticò e Maselli, 2020).

Sebbene il dibattito sulla determinazione del SSS sia ancora aperto, come ha dimostrato l’ indagine della letteratura scientifica, emerge una evidente convergenza su alcuni aspetti di carattere metodologico, ossia la scelta di un SSS variabile nel tempo e l’ integrazione dei due approcci convenzionali SRTP e SOC col paradigma di sconto intergenerazionale (Paz et al., 2016). Nello specifico, i suddetti aspetti metodologici comprendono: a) la classificazione del SSS all’ interno di un contesto con un’ evidente propensione all’ adeguamento del saggio di sconto in relazione alle caratteristiche del bene/servizio oggetto di valutazione e all’ orizzonte temporale considerato; b) una generale preferenza per il modello iperbolico, soprattutto nel caso di progetti a lungo termine (Henderson e Bateman, 1995; Cropper et al., 1994), e, al contrario, una limitata tendenza a scegliere un SSS pari a zero; c) la conferma della posizione espressa da Pearce nel 2003 in merito alla scelta di approcci decrescenti nel tempo; d) l’ opportunità di integrare le valutazioni monetarie con altre metodologie, come le analisi multicriteriali per la loro maggiore capacità di considerare gli

aspetti intangibili che generalmente caratterizzano le strategie per la conservazione dei beni pubblici (Munda, 2008; Martínez-Paz et al., 2013; Rodríguez-Labajos e Martínez-Alier, 2013). Alcuni esempi che seguono questa tendenza in campo ambientale sono il cosiddetto sconto ecologico, l’ approccio decrescente temporale (*time-declining*), l’ approccio dell’ attualizzazione per componenti (*component-based*), l’ approccio del doppio tasso di sconto (*dual discount rate*) ecc., per i quali si rimanda alla letteratura a favore della sintesi (rif. Gollier, 2009; Arrow et al., 2014; Defrancesco et al., 2014; Vasquez et al., 2018; Emmerling et al., 2019; Muñoz-Torrecillas et al., 2019; Maselli e Nesticò, 2020).

Rispetto alle prime due sezioni introduttive, il prossimo paragrafo tratterà una revisione della letteratura sui casi di studio ACB al fine di mettere in luce il diverso peso attribuito ai valori intergenerazionali rispetto ai contesti specifici di rischio e alle vulnerabilità in gioco.

### 3. IL SAGGIO SOCIALE DI SCONTO NELL’ ANALISI DEL RISCHIO ALLUVIONALE

Un contributo originale di questo articolo è la rassegna della letteratura sugli studi e le applicazioni del SSS nelle più recenti analisi del rischio alluvionale a livello internazionale.

In particolare, la revisione della letteratura rappresenta l’ opportunità di confrontare i SSS in diversi paesi tenendo conto delle specificità locali come i rispettivi profili demografici ed economici. Pertanto, la revisione della letteratura ha un duplice scopo: da un lato, esplora le metodologie più comuni adottate dai ricercatori per determinare il valore del SSS; dall’ altro, partendo da casi studio selezionati, esamina e confronta l’ attitudine dei paesi del mondo a scontare eventi futuri incerti, attribuendo peso ai benefici e ai costi intergenerazionali delle politiche adottate. Riguardo al secondo punto, alcuni dati come PIL nazionali e titoli di stato e tassi di interesse, numero e percentuale di popolazione esposta al rischio, sono elementi di supporto indagati per meglio comprendere su quale base economica vengano formulati i SSS.

Gli articoli scientifici sono stati selezionati secondo i seguenti criteri:

- applicazioni empiriche del SSS alle valutazioni di progetto per i rischi di alluvioni o inondazioni;
- periodo di pubblicazione dell’ articolo, dall’ anno 2000 fino a quelli più recenti;
- utilizzo della ACB per la valutazione della fattibilità economica e sociale dei progetti proposti.

Nella Tabella 2 è riportata una sintesi degli studi analizzati ordinati cronologicamente e distinti per differenti aree geografiche. Emerge in modo evidente dalla tabella che la maggior parte degli studi è stata sviluppata a partire dall’ anno 2000 in ragione di una crescente attenzione alle problematiche di gestione del rischio idraulico e alla

stima degli effetti del cambiamento climatico sui fenomeni alluvionali.

È inoltre importante sottolineare la variabilità delle casistiche esaminate nella scelta del SSS rispetto ai differenti contesti territoriali e ambientali analizzati, nonché degli approcci utilizzati per la stima.

In generale, le regioni coinvolte nello studio appaiono polarizzate in quattro aree principali: le coste asiatiche del Pacifico occidentale, la regione dell'Asia centrale, il continente europeo e l'America centrale intorno al Golfo del Messico. Non sorprende che queste regioni del mondo siano densamente popolate, affrontino tempeste o tsunami e siano tipicamente soggette a piogge stagionali o all'aumento di fenomeni atmosferici estremi.

Nelle ricerche riguardanti le prime due aree geografiche, le coste asiatiche del Pacifico occidentale e la regione dell'Asia centrale, gli autori tendono ad applicare un elevato SSS, di circa 10%-12% rispetto a un ciclo di vita delle misure pari a 15-50 anni, partendo da un approccio sintetico-comparativo con progetti simili per i quali hanno riscontrato un ampio intervallo del valore di sconto tra 0%-20%. L'elevata eterogeneità del valore dei SSS, probabilmente dovuta all'estrema incertezza dell'esposizione al rischio e alla precarietà delle condizioni sociali ed economiche della popolazione locale nei paesi in via di sviluppo, induce molti autori a considerare nella ACB più di uno scenario e a testare l'effetto di diversi tassi di sconto.

Un primo esempio è la ACB commissionata dal progetto EU-SOPAC - European Scripps Orbit and Permanent Array Center (Holland, 2008) al fine di stimare per il governo locale la convenienza economica della realizzazione di sistemi di allerta rapida per la città di Navua nelle isole Fiji. L'autore del rapporto fa riferimento ad altri progetti ambientali e di sviluppo del Pacifico, in cui i tassi oscillano tra il 3% e il 12% con un valore modale del 10%. Presenta quindi tre scenari con SSS del 3%, 7% e 10% e suggerisce i valori più probabili ipotizzando un SSS del 10%, coerentemente con le linee guida dell'ADB (Asian Development Bank) del 2006 che suggeriscono l'applicazione di un SSS del 10%-12% sui progetti di sviluppo.

Allo stesso modo, Burton e Venton (2009) forniscono un SSS del 10% applicato in 15 anni nella loro ACB per il programma "Community - Based Disaster Risk Management" (CBDRM) della Croce Rossa Nazionale delle Filippine. Il Programma ha contribuito alla realizzazione di alcune misure strutturali - passerelle pedonali, barriere di contenimento e costruzione di dighe - contro tsunami e tempeste.

La stessa tendenza viene confermata da Mechler (2005) che utilizza un SSS del 12% in un'analisi ex-ante dei costi e dei benefici delle misure di mitigazione integrate proposte nella regione della città di Samarang (Indonesia).

Mentre, d'eccezione, Seekao e Pharino (2018) studiano attraverso una ACB gli effetti di alcune misure strutturali

e non strutturali contro i fenomeni di alluvione che colpiscono gli allevamenti di gamberi in Thailandia lungo il fiume Bang Pakong. In questo studio, che rispetto agli assunti teorici esposti dagli autori stessi si potrebbe ricondurre a un approccio SRTP, il SSS utilizzato è del 2,7% per la durata prevista di 50 anni delle misure considerate.

Nei casi summenzionati la stima del SSS è riferita a valori riportati nelle linee guida nazionali oppure è desunta dal confronto con progetti simili.

Spostandosi dalle coste asiatiche del Pacifico occidentale all'Asia centrale, il SSS più diffuso per India e Nepal è del 12%, applicato principalmente a misure di mitigazione strutturali contro eventi alluvionali (es. Kull et al., 2008; Nepal Red Cross report, 2008; White and Rorick, 2010; Kunreuther e Michel-Kerjan, 2012) considerando un orizzonte temporale di 10-50 anni.

Khan et al. (2008) sviluppano una ACB per valutare ex-ante la convenienza di una serie di misure di mitigazione strutturali e non strutturali (ad esempio, costruzione di autostrade, sistemi di allerta rapida, ricollocazione di case lungo la pianura alluvionale e bonifica dell'area con zone umide, ecc.) nell'area del bacino di Lai in Pakistan. I danni vengono stimati prendendo in considerazione i costi sostenuti dopo l'ultima grande alluvione del 2001 e l'autore utilizza un SSS del 12%, anche se non ne motiva la scelta.

Allo stesso modo, Hidari (2009) studia i benefici ex-post dei piani di mitigazione delle inondazioni in Iran nelle aree delle pianure fluviali Dez e Karun mediante misure di mitigazione quali grandi strutture di contenimento, piccoli argini, dighe, deviazioni dei flussi e bacini idrici. Il SSS utilizzato per l'analisi economica è del 10%, dopo aver considerato un periodo di ritorno ottimale di 25 anni.

In Cina, il paese più popoloso al mondo (Tab. 1 e Fig. 1), Moritomo e Hope (2004) valutano la convenienza economica del progetto della diga delle Tre Gole lungo il fiume Yangtze cinese sulla base di una ACB assumendo un orizzonte temporale di 100 anni e un SSS pari al 5% in riferimento agli standard EMF (Electromagnetic Field). La robustezza delle soluzioni trovate è verificata in base a un'analisi di sensitività da cui emerge che il SSS è uno dei fattori di maggiore criticità.

Diversamente, mentre nei paesi in via di sviluppo i futuri costi e benefici sociali sono scontati a valori elevati, nelle regioni occidentali con economie più stabili i SSS sono significativamente più bassi.

In Europa la Direttiva 2007/60 e il Regolamento n. 1303/2013 propongono agli Stati Membri l'adozione di un SSS del 3,5% e del 5,5% (5,5% per gli stati che beneficiano dell'intervento del Fondo di Coesione Europeo e di 3,5% per tutti gli altri) per quei progetti di prevenzione del rischio idraulico nell'ambito degli investimenti pubblici e suggeriscono la formula Ramsey per il calcolo del SSS. Tuttavia, la medesima direttiva indica che gli Stati membri possono adottare valori diversi, purché trovino



giustificazione nelle specificità socio-economiche di ciascuna nazione. La *Guida all'Analisi Costi-Benefici per i Progetti di Investimento* dell'Unione Europea propone, inoltre, un SSS aggiustato del 3% e del 5%, sempre differenziando tra stati membri che beneficiano del Fondo di Coesione Europeo e non.

Gli articoli analizzati in riferimento all'area europea utilizzano generalmente un SSS di 3% - 3,5% seguendo a priori lo standard dell'apparato normativo sopracitato.

Il progetto CRUE ERA-NET (2008) riporta la valutazione dei potenziali benefici dei sistemi di allerta rapida per alluvioni improvvise (*EWASE*) e dei servizi meteorologici per l'area intorno al fiume Traisen nella provincia dell'Austria Inferiore. L'analisi Costi-Benefici considera un SSS del 3% seguendo gli standard indicati dalla normativa europea (*Guida all'Analisi Costi Benefici*).

Nel vicino sito rurale di Auenbach in Austria, Holub e Fuchs (2008) applicano la ACB per confrontare i vantaggi e gli svantaggi di diverse misure di mitigazione dal punto di vista dell'efficienza dei costi e utilizzano un SSS del 3,5% su un arco temporale di 80 anni. In questo caso, il SSS è determinato in riferimento al saggio di interesse medio dei titoli federali di lunga durata.

Un saggio leggermente più alto si riscontra nei casi di studio parte del progetto "Deltaplan", lungo il fiume Mosa nei Paesi Bassi (Bouma J.J. et al., 2005). Nella ACB, il SSS adottato va dal 4% al 5% che corrisponde al tasso prescritto dalla normativa nazionale per i grandi progetti strutturali.

In Italia, recentemente, si sta verificando un aumento evidente delle pubblicazioni sull'analisi del rischio idraulico e alluvionale e la tendenza segue l'approccio SRTP, come prescritto dai criteri europei.

Albano, Mancusi e Abbate (2017) applicano due diversi SSS nella loro analisi economica, con lo scopo di valutare il rapporto costo-efficacia delle misure proposte in Valle del Serio, Nord Italia. Più precisamente, il calcolo del VAN finale viene eseguito assumendo una misura di durata di 30 anni e un SSS del 3%. Per la misura non strutturale viene adottato un SSS del 2% rispetto al ciclo di vita di 20 anni. Anche in questo caso, il valore del SSS viene assunto in riferimento alla Direttiva 2007/60 e alla normativa associata.

In un altro caso studio nella Regione Abruzzo (Albano et al., Scorzini e Leopardi, 2017), gli autori citano la Direttiva UE sulle alluvioni e rivendicano l'importanza di utilizzare approcci quantitativi basati sulla stima del danno annuale atteso "*expected annual damage - EAD*" come indicatore di rischio per la mappatura del rischio alluvionale in aggiunta ai tradizionali metodi qualitativi. Quindi, gli autori indagano e dimostrano l'elevata sensibilità dei risultati economici a causa della significativa incertezza insita nella modellazione del danno. Nel calcolo del VAN si assume un SSS del 3,5% per una durata di 50 anni.

Trovato e Giuffrida (2018) propongono diversi valori di SSS partendo dai parametri indicati dalla già citata *Guida al-*

*l'Analisi Costi-Benefici per i Progetti di Investimento*. Il lavoro di ricerca ha lo scopo di valutare la convenienza di strategie proattive di mitigazione del rischio alluvionale rispetto alle azioni reattive di recupero post-danno. A tal fine, sono stati presi in considerazione i costi di recupero sostenuti in cinque comuni nella Sicilia nord-orientale dopo l'esondazione del bacino del fiume Fiumedinisi-Capo Peloro nel 2009, nonché i costi stanziati per la gestione ex-ante del rischio idraulico.

È stato altresì valutato il livello di solidarietà intergenerazionale, considerando le spese sostenute post-danno e la propensione dell'amministrazione comunale agli investimenti per la prevenzione del rischio. Tali valori sono stati confrontati in base a una ACB utilizzando un tasso di sconto variabile compreso in un intervallo dal 3% al 5,5% (*Guida ACB EU*). È stata infine condotta un'analisi di sensitività considerando un valore medio ponderato di 3,69% rispetto al livello di rischio di ciascuna delle 5 municipalità osservate.

I casi di studio americani, per lo più riferiti a territori costieri colpiti da tempeste ricorrenti e inondazioni degli Oceani Pacifico e Atlantico, presentano valori di SSS simili a quelli rinvenuti nei casi europei.

Questo è il caso di Haer et al. (2017) che sviluppa un'analisi ex-ante delle misure di protezione dalle inondazioni nello stato di Tabasco in Messico, colpito da gravi fenomeni quasi ogni anno. Lo studio mostra come un approccio integrato multidisciplinare di modelli di calcolo della vulnerabilità, modelli di calcolo del rischio e la ACB possano supportare la scelta di strategie di prevenzione economicamente efficienti. Il modello proposto tiene conto dell'effetto dei cambiamenti climatici sui fenomeni alluvionali e della stima dei danni indiretti causati dalle inondazioni. Il SSS adottato pari al 4% è stato stimato utilizzando la formula di Ramsey.

Reguero et al. (2018), nella stessa regione geografica, confrontano interventi alternativi di messa in sicurezza delle coste del Golfo degli Stati Uniti sulla base di infrastrutture verdi o Nature Based Solutions (es. zone umide e barriere coralline di ostriche) piuttosto che sulle cosiddette infrastrutture grigie (es. dighe e barriere marine) o di interventi sulle singole proprietà immobiliari (es. elevazione degli edifici). Nella comparazione delle tre famiglie di misure, gli autori calcolano VAN e rapporto Benefici-Costi considerando due orizzonti temporali di 20 e 40 anni e due SSS del 2% e 10% al fine di comprendere l'influenza del saggio sulla scelta delle misure di mitigazione. Lo studio infine dimostra che dalla comparazione delle diverse misure considerate, la soluzione delle infrastrutture verdi appare in generale più appetibile in termini di rapporto convenienza economica e riduzione del rischio e che un diverso valore di SSS non altera in maniera significativa nel lungo periodo l'ordine di preferenza delle misure considerate. Gli autori, pertanto, consigliano un utilizzo coordinato di misure verdi e grigie al fine di massimizzare la riduzione del rischio.

Peng e Song (2018) determinano attraverso una ACB la convenienza economica della messa in sicurezza di tratti



di argini fluviali lungo il fiume Miami (Miami City) per proteggere i residenti dalle inondazioni. Il rapporto Benefici-Costi e il VAN del progetto per tutti i danni previsti agli immobili è stimato considerando quattro orizzonti temporali 2025, 2050, 2075 e 2100, mentre il SSS è del 3% sia per i benefici che per i costi.

Solo per la città peruviana di Piura, Mechler (Mechler, 2005) utilizza un SSS del 12% in linea con lo standard utilizzato dall'Asian Development Bank sulla ACB per la valutazione del sistema di bacini di espansione o *polder* adottato lungo il fiume. L'autore specifica che il valore del SSS è desunto da progetti con caratteristiche simili a quello analizzato dove i tassi oscillano tra il 3% e il 20% e che la scelta del 12% deriva dalla considerazione del valore maggiormente utilizzato in letteratura. L'autore propone poi un'analisi di sensitività rispetto al variare del valore di SSS da 0% a 20% (valori ispirati alla letteratura di riferimento) sul risultato dell'analisi economico-finanziaria, per la quale anche con il valore massimo del 20% gli indicatori restituiscono una convenienza nell'adozione della misura.

Dalla rassegna della letteratura presentata, è possibile fare alcune considerazioni: i) le valutazioni economiche applicate ai progetti di mitigazione del rischio alluvionale si sono sviluppate recentemente nell'ambito delle valutazioni ambientali. In pochi e nei più recenti lavori di ricerca viene attribuita maggiore importanza alla stima del SSS e alle sue implicazioni nelle verifiche di fattibilità economica; ii) seppur evidenziata l'efficacia della ACB per la scelta tra progetti alternativi di mitigazione del rischio, molti autori suggeriscono l'integrazione con altri strumenti di valutazione quali choice modelling, valutazioni di contingenza, analisi multicriteriali al fine di tener in conto gli aspetti intangibili anche legati alla percezione del rischio; iii) non vi è concordanza sui metodi e sul valore da adottare del SSS riferito a contesti differenti. Questa affermazione è particolarmente vera per i casi studio riferiti ai paesi in via di sviluppo a causa dell'elevata incertezza economico-politica e dell'alto livello di vulnerabilità territoriale. Quegli autori che considerano il concetto di sostenibilità e i principi intergenerazionali nel loro lavoro di ricerca fanno riferimento all'approccio SRTP (seguendo anche quanto prescritto da norme governative di riferimento) e i casi studio selezionati riguardano principalmente aree geografiche europee e americane maggiormente sviluppate; iv) come evidenziato nei grafici precedenti (Figg. 1, 3 e 4), strutturati sulla base dei dati raccolti in letteratura, i SSS tendono a essere inferiori nei paesi con un PIL pro-capite più elevato per bilanciare gli effetti intergenerazionali nonché le esigenze delle future generazioni con quelle attuali, mentre più alti nei paesi in via di sviluppo dove vengono privilegiati i benefici attuali rispetto a quelli futuri. I governi optano ancora per progetti di lunga durata con SSS costanti, nonostante l'incertezza futura aumenti e i valori intergenerazionali pesino sempre di più. A tal fine sarebbe più sostenibile per le prossime scelte strategiche diminuire il valore di SSS, come considerare progetti di minore entità e meno costosi con un ciclo di vita breve.

#### 4. IL CASO STUDIO DI OLBIA NELLA REGIONE SARDEGNA, ITALIA

Il presente capitolo descrive i principali risultati di un'applicazione dell'ACB a un caso studio di particolare interesse riguardante la valutazione di azioni alternative strutturali e non strutturali di mitigazione del rischio idraulico nella città di Olbia in Sardegna (Italia). In particolare, sarà analizzato il ruolo del SSS nella scelta tra interventi alternativi coerentemente alla variazione di altri parametri di input dell'analisi con specifico riferimento al tempo e ai costi di realizzazione delle opere.

Il caso di Olbia sarà inquadrato nel contesto italiano in riferimento ai fenomeni presenti di rischio idrogeologico.

##### 4.1 I fenomeni di rischio idrogeologico nel contesto italiano

L'Italia si colloca al centoventiseiesimo posto tra i paesi del mondo più colpiti da fenomeni di alluvione fluviale (0,05% della popolazione annua interessata). L'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale) presenta nel "Rapporto 2018" le aree a rischio idraulico secondo la classificazione della Direttiva Alluvioni<sup>3</sup> e conta in Italia 12.405 km<sup>2</sup> di aree ad alta pericolosità idraulica con un periodo di ritorno compreso tra 20 e 50 anni (pari al 4,1% del territorio nazionale). Mentre, le aree a medio pericolo (periodo di ritorno tra 100 e 200 anni) ammontano a 25.398 km<sup>2</sup> (8,4%) e quelle a bassa pericolosità (rari fenomeni di massimo impatto atteso) a 32.961 km<sup>2</sup> (10,9%). Nella tabella sottostante (Tab. 3) sono riportate le aree a rischio idraulico per macro-aree geografiche proposte dall'ISPRA (dati 2017).

In questo contesto, gli abitanti totali delle aree definite pericolose sono 9.341.533 (15,7% della popolazione totale), di cui 2.062.475 (3,5% della popolazione totale) vivono in aree altamente pericolose e 6.183.364 (10,4% della popolazione totale) vivono in aree di media pericolosità. Picchi di residenti in aree altamente pericolose si registrano nelle regioni settentrionali. La tabella e il grafico seguenti (Tab. 4 e Fig. 5) mettono in relazione regioni, reddito procapite, popolazione residente e abitanti in aree pericolose (dati 2017).

Altri fattori critici sono la natura e l'orizzonte temporale delle misure di mitigazione adottate nel territorio italiano per ge-

<sup>3</sup> L'art. 6 della Direttiva Alluvioni prevede la redazione di mappe della pericolosità e del rischio di alluvione per le aree a rischio potenziale significativo. Le "mappe di pericolosità" contengono il perimetro delle aree che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo tre scenari di probabilità (i.e. pericolosità): basso (eventi estremi), medio (tempo di ritorno  $\geq 100$  anni), alto. Ciascuno scenario deve essere caratterizzato dall'estensione delle piene, dai livelli e, se del caso, dalle velocità o portate; le "mappe del rischio" indicano le potenziali conseguenze negative per le persone, le attività economiche, l'ambiente e il patrimonio culturale nell'ambito dei tre scenari probabilistici citati.

**Tabella 2 - Sintesi della revisione della letteratura sulla ACB applicata nel contesto del rischio alluvionale.**  
Fonte: Elaborazione degli autori

AUTORE/I	ANNO DI PUBBLICAZIONE	CASO STUDIO	MISURA DI MITIGAZIONE APPLICATA	BENEFICIO SOCIALE INDOTTO DALLA MISURA DI MITIGAZIONE APPLICATA	COSTI PER LA SOCIETA' CONSIDERATI NELLA CBA	INTERVALLO TEMPORALE CONSIDERATO	SDR NAZIONALE DI RIFERIMENTO	FONTE PER L'APPLICAZIONE/ CALCOLO DEL SDR	VALORE SDR UTILIZZATO	APPROCCI E METODI PER LA STIMA EMPIRICA DEL SDR
Morimoto R. e Hope C.	2004	Area circostante il fiume Yangtze nella provincia occidentale di Hubei - Cina	Misure di mitigazione: > Dighe (Three Gorges Project)	> Crescita economica del territorio > Fornitura di energia ad alta qualità > Fornitura di energia pulita > Aumento della capacità di controllo delle inondazioni > Migliora la navigazione lungo il fiume > Riduzione delle perdite umane > Riduzione dei danni alle colture	> Costi di costruzione > Potenziali perdite archeologiche > Costi di risarcimento per la popolazione > Effetti a valle sulla terra e sull'attività di pesca > Diminuzione dei flussi turistici	100 anni	2%-4%	Dati dell'EMF 1998 (Integrated Assessment of Climate Change Energy Modeling Forum 1998)	5%	Approccio: non specificato ma classificabile come SFTP Metodo di stima empirica: il tasso di attuazione è calcolato come « tasso di crescita annua+tasso di preferenza temporale puro. I tassi di crescita stimati in Cina sono del 4% (1999-2000); 3,5% (2000-2020); 3,1% (2020-2040); 3,1% (2040-2060); 3% (2060-2100); 2% (2100-2120), secondo EMF (1998)
Bouma J.J., Francois D. e Trocch P.	2005	Area attorno il delta del fiume Rhine-Meuse-Scheldt - Paesi Bassi	Misure di mitigazione: > Progetto "Deltaplan" (principalmente, dighe e barriere fluviali) dopo l'alluvione del 1953 > Altri interventi strutturali lungo il fiume Meuse dopo l'alluvione del 1995	> Riduzione dei costi di manutenzione > Benefici per la bonifica > Benefici infrastrutturali (arsene) > Sviluppo della pesca d'acqua dolce > Servizi pubblici > Riduzione dell'effetto dell'acqua salmastra	> Costi diretti di implementazione della misura > Perdite di interesse durante l'attuazione della misura > Costi per la pesca e le colture di crocevia > Costi di bonifica > Costi per le infrastrutture e il traffico	ND	4%-5%	Tasso di sconto nazionale applicato per grandi infrastrutture e per il calcolo di danni da alluvione	4%-5%	Approccio: non specificato ma viene citato il concetto di "sostenibilità" Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura
Mechler R.	2005	Città di Fiura - Perù	Misure di mitigazione: > Progetto di riabilitazione di poder e canali	> Riduzione dei rischi di inondazione attraverso l'elevazione delle dighe esistenti e la costruzione di poder > Per l'irrigazione, il poder può essere utilizzato per immagazzinare l'acqua piovana	N.B. Un approccio dall'alto verso il basso che guarda ai settori anziché alle singole unità. > Settore privato: famiglia; > Settore pubblico: educazione, sanità, acqua e fognatura, elettricità, trasporti e comunicazioni; > Settore economico: agricoltura e irrigazione, miniere e petrolio, pesca, industria, commercio > Spesa per i piani di emergenza	30 anni	Non specificato nell'articolo	Confronto con progetti ambientali di sviluppo: i tassi oscillano tra il 3% e il 20%; Standard della Asian Development Bank	12%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura e secondo standard Asian Development Bank (ADB 2001)
Mechler R.	2005	Semarang - Indonesia	Misure di mitigazione: > Un sistema integrato di gestione delle acque e protezione dalle inondazioni	> Riduzione degli impatti delle inondazioni	> Costi derivanti dalla costruzione e gestione delle infrastrutture.	50 anni	Non specificato nell'articolo	Asian Development Bank standards	12%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura e secondo standard Asian Development Bank (ADB 2001)
Progetto CRUE ERA-NET	2008	Provincia della Bassa Austria	Misure di mitigazione: > Sistemi di preallarme (Early warning systems) per piene improvvise introdotti in piccoli bacini fluviali caratterizzati da brevi tempi di risposta idrologica	> Tempi di preavviso più lunghi consentono una più efficace attivazione delle misure preventive	> Costi di investimento, costi di manutenzione e costi operativi del sistema di allerta (Early warning system) > Costi economici dovuti a falsi allarmi dell'impianto	20 anni	Non specificato nell'articolo	Confronto con i precedenti sistemi di allarme rapido per gli studi sulle inondazioni improvvise in Europa	3%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura
Holland P.	2008	Navau - Isole Fiji	Misure di mitigazione: > Sistemi di preallarme (Early warning systems)	> Riduzione danni per famiglie e persone fisiche (1_ spesa di evacuazione; 2_ riduzione del mancato guadagno; 3_ spesa mediche); > Riduzione delle perdite aziendali e personali (1_ privati e aziende hanno più tempo per mettere ai riparo i beni); > Per l'irrigazione, il poder può essere utilizzato per immagazzinare l'acqua piovana > Riduzione degli aiuti governativi e umanitari (1_ le persone sono in grado di proteggere in modo più efficiente le loro proprietà; 2_ meno sistemi di gestione ambientale; 3_ infrastrutture; 4_ servizi primari alla società)	> Perdite di beni privati; > Perdite aziendali (attività commerciali e produzione primaria); > Spesa dei governi e degli enti locali in nuove infrastrutture e servizi primari come istituzioni, scuole mediche, ecc.; > Aiuti umanitari; > Altri costi non valutati, come tramoni alle persone, uso di volontari per i soccorsi, ecc.	20 anni	Non specificato nell'articolo	Confronto con i progetti ambientali di sviluppo del Pacifico: i tassi oscillano tra il 3% e il 12%, con una media del 10%	3%, 7%, 10%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura L'autore fornisce tre scenari con 3%, 7% e 10% di SDR, a causa dell'elevata variabilità dei tassi utilizzati: in analisi simili sono del Pacifico. Il tasso finale suggerito è del 10%, secondo la maggior parte dei tassi applicati e coerente con le linee guida ADB (Asian Development Bank) del 2006. (Nel rapporto, l'autore specifica che i tassi delle banche commerciali del Pacifico oscillano tra il 5% e il 7%)
Hölbl M. e Fuchs S.	2008	Auenbach rural site - Alpine regions in Austria	Misure di mitigazione: > Sistemi di protezione strutturale locali (ad es. costruzioni rinforzate e aperture sigillate)	> Si evitano danni diretti agli edifici nelle zone ad alto rischio rosso giallo (rischio inondazione, aree agricole e selvicolture)	> Costi derivanti dalla costruzione e manutenzione di sistemi di protezione strutturale	80 anni	Non specificato nell'articolo	Bond governativi di lunga durata	3,5%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi analoghi in letteratura. Il tasso di interesse del 3,5% deriva dal tasso di interesse medio dei bond governativi di lunga durata
Khan R. et al.	2008	Aree circostanti il bacino del fiume Lai - Pakistan	Misure di mitigazione: > costruzione di autostrade > interventi idraulici > sistemi di allerta rapida > ricollocazione di case lungo la pianura alluvionale e ripristino dell'area con zone umide	> Maggiore resistenza delle autostrade alle inondazioni > Riduzione del picco del fiume e aumento della capacità di flusso a seguito di miglioramenti del fiume > Diminuzione del tasso di mortalità e feriti > Riduzione dei danni alla proprietà privata (nel caso in cui i residenti abbiano i tempi di reazione necessari) > Riduzione o eliminazione del rischio per le persone precedentemente residenti nella pianura alluvionale > Benefici ecologici a seguito della bonifica dell'area	> Danni successivi all'inondazione del 2001	30 anni	Non specificato nell'articolo	Not specified	12%	Approccio: not specified Empirical estimation method: synthetic approach by comparison with similar cases in literature
Kul D. et al.	2008	Regione territoriale lungo il bacino del fiume Rohini nell'Uttar Pradesh orientale India	A) Argini B) Strategia centrata sulle persone a tre livelli: 1-3) Individuo (sollevamento dei piani delle abitazioni, innalzamento dei depositi foraggi, pacchetto acqua e servizi igienico-sanitari); 2-3) Comunità locale (sistema di allarme rapido, allertamento di pompa a mano e servizi igienici comunitari, costruzione di rifugi per le inondazioni del villaggio, creazione di banche del grano comunitarie, creazione di banche di semi comunitarie, manutenzione locale delle strutture chiave del drenaggio, sviluppo di gruppi di autoaiuto e acquisto di barche comunitarie); 3-3) Livello sociale (promozione e rafforzamento dell'agricoltura adattata alle inondazioni e del sistema sanitario globale).	Riduzione del rischio di morte, lesioni o malattie in seguito ad alluvioni; miglioramento delle pratiche agricole e della produttività	> Costo per la costruzione degli argini e applicazione della strategia centrata sulle persone > Costi irrecuperabili percepiti dalle persone, raccolte attraverso le interviste PH. Nell'analisi si presume che i costi siano coperti di un unico ente terzo, anziché dalla comunità locale	43 anni	Non specificato nell'articolo	Si presume che la pratica standard nei paesi in via di sviluppo consideri un tasso di sconto del 10-12%	10-12%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura L'intervallo 0-20% è considerato in un'analisi di sensitività con l'obiettivo di comprendere meglio l'implicazione del tasso scelto. Lo scopo dell'analisi di sensitività è confrontare i benefici e i costi derivanti dall'uso degli argini e dalla strategia centrata sulle persone lungo scenari passati e futuri di elevata incertezza sui cambiamenti climatici.
Nepal Red Cross	2008	Distretto di Ilam - Nepal	> Opere di mitigazione delle alluvioni > Costruzione di ripari alluvionali > Manutenzione dei pozzi > Creazione di unità operative per l'attuazione delle misure di DDR > Formazione di primo soccorso > Disponibilità di ambulanze	> Protezione delle colture attraverso opere di mitigazione > Spostamento del bestiame in aree sicure grazie all'applicazione di misure preventive > Protezione dei pozzi dalla contaminazione > Diminuzione del tasso di mortalità e malattie a seguito della presenza di ambulanze	> Territorio > Culture > Abitazioni protette da opere di mitigazione > Tutela delle risorse idriche > Corsi di primo soccorso	15 anni	Non specificato nell'articolo	Non specificato	10%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura
Burton C.C. e Venton C.	2009	Province di Antique, Palawan e Surigao del Norte - Filippine	> Valutazione del Philippines National Red Cross "community based disaster risk management" Program (CBDRM) - casi di costruzione di ponti pedonali, dighe e argini	> Protezione dei beni (ad es. case, colture e bestiame) > Benefici per la salute (es. accesso all'acqua potabile) > Prestazioni sociali (es. accesso a scuole e ospedali)	> Costi associati alle infrastrutture (passerella, diga, argine)	15 anni	Non specificato nell'articolo	Confronto con i tassi utilizzati dalle banche di sviluppo che intraprendono progetti simili	10%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura
Heidari A.	2009	Pianure alluvionali dei fiumi Dez e Karun regione sud-occidentale dell'IRAN	Misure di mitigazione: > Dighe di contenimento > Muro di contenimento > Argini > Deviazioni delle inondazioni	> Riduzione o abbattimento dei danni provocati dalle inondazioni, in particolare per le colture (nessuna perdita di vite umane riscontrata in alluvioni passate)	> Costi di costruzione delle misure di mitigazione	25 anni	Non specificato nell'articolo	Non specificato	10%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura
White Bo A. e M. M. Rorick	2010	Distretto di Kailali - Nepal	"The Kailali Disaster Risk Reduction Initiatives (KDRRI)" promosso dal Mercy Corps Nepal e dalla Nepal Red Cross Society. Le iniziative comprendono: interventi strutturali (es. vie di evacuazione, argini, preparazione della comunità, potenziamento della capacità degli edifici) e sistemi di allerta precoce (early warning systems)	> Riduzione dei danni alle case allagate e ai singoli beni > Riduzione delle perdite di cereali immagazzinati e raccolti annuali > Minor dispersione di terra a causa dell'alluvione > L'acqua contaminata è completamente evitata	> Danni alle case allagate > Danni ai beni nelle abitazioni > Perdita di cereali immagazzinati e raccolti annuali > Terreno perso a seguito dell'alluvione > Perdita di infrastrutture > Numero di persone esposte ad acqua contaminata > Dimensioni dei fabbricati / valore del terreno	10 anni	Non specificato nell'articolo	Asian Development Bank (ADB)	12%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura. Il valore del tasso di sconto è stato scelto arbitrariamente rispetto al tasso più popolare assunto dalla Asian Development Bank per la CBA in India
International Federation of Red Cross - IFRC	2012	Bangladesh	> Creazione di gruppi comunitari per aumentare la consapevolezza dei rischi e la preparazione a reagire > Sensibilizzazione sui temi della salute e dell'igiene > Costruzione di pozzi per facilitare l'accesso all'acqua potabile > Costruzione di vie di fuga > Istituzione di un fondo di emergenza	> Aumentare la consapevolezza dei rischi attraverso la creazione di gruppi a livello comunitario > Aumento delle conoscenze in materia di salute e igiene > Costare vite di fuga riduce il numero di vite perse e feriti > Il fondo di emergenza consente ricoverazioni dopo l'evento alluvionale	> Costi per l'attuazione delle misure DDR	15 anni	Non specificato nell'articolo	Non specificato	7,74% (tasso di inflazione)	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: è stato utilizzato un tasso di inflazione del 7,74%, che rappresenta l'inflazione media negli anni dal 2006 al 2011. Si noti che non è stato applicato alcun tasso di sconto, in quanto i ricercatori lo hanno ritenuto inappropriato nel contesto della riduzione del rischio: i tassi di sconto (siti) portano ad una sopravvalutazione del presente rispetto ai rischi futuri.
Kunreuther H. e Michael-Karjan E.	2012	Aree residenziali in 34 paesi del mondo altamente esposte ai fenomeni alluvionali	Misure di mitigazione: > Dighe di detenzione > Muro alto un metro > Elevare la proprietà di un metro > Sistema di allerta precoce (Early warning system)	> Riduzione dei danni previsti per edifici e infrastrutture > Riduzione delle perdite di vite umane	> Costi di costruzione delle misure di mitigazione applicate nei 34 paesi del mondo e le analisi di supporto alla costruzione delle misure	10, 25, 50 anni	Non specificato nell'articolo	Non specificato	5%-12%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura. L'autore fa riferimento a "tassi di sconto tipici utilizzati per progetti di sviluppo"
Albano R., Mancosi L., Abbate A.	2017	Serio valley in Nord Italia	Misure di mitigazione: > Strutturale: lavori di ricostruzione/manutenzione delle pareti del fiume > Non strutturale: sistema di allerta precoce (Early warning system)	> Danni annuali evitati dopo l'applicazione di misure strutturali e perdite umane evitate grazie a misure non strutturali	> Costi di costruzione e manutenzione delle misure di mitigazione applicate	Per interventi strutturali: 30 anni Per interventi non strutturali: 20 anni	DIR 2007/60; Regolamento No. 1303/2013	Per intervento strutturale: 3% Per intervento non strutturale: 2%	Approccio: non specificato ma classificabile come SFTP Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi analoghi in letteratura e secondo le norme della Direttiva Europea 2007/60	

Segue Tabella 2 - Sintesi della revisione della letteratura sulla ACB applicata nel contesto del rischio alluvionale.

# Il saggio sociale di sconto nell'Analisi Costi-Benefici per la gestione del rischio alluvionale: Riflessioni sulle preferenze intertemporali

**Segue Tabella 2 - Sintesi della revisione della letteratura sulla ACB applicata nel contesto del rischio alluvionale.**  
Fonte: Elaborazione degli autori

AUTORE/I	ANNO DI PUBBLICAZIONE	CASO STUDIO	MISURA DI MITIGAZIONE APPLICATA	BENEFICIO SOCIALE INDOTTO DALLA MISURA DI MITIGAZIONE APPLICATA	COSTI PER LA SOCIETA' CONSIDERATI NELLA CBA	INTERVALLO TEMPORALE CONSIDERATO	SDR NAZIONALE DI RIFERIMENTO	FONTE PER L'APPLICAZIONE/ CALCOLO DEL SDR	VALORE SDR UTILIZZATO	APPROCCI E METODI PER LA STIMA EMPIRICA DEL SDR
Haer T. et al	2017	Stato di Tabasco, Mexico	Misure di mitigazione: > Argini lungo fiumi e coste	> Danni annuali evitati dopo l'applicazione di misure strutturali	> Costi di costruzione e manutenzione delle misure di mitigazione applicate	100 anni	Non specificato nell'articolo	Calcolo degli autori, basato sui tassi utilizzati da altri autori in letteratura	4%	Approccio: SRTP Metodo di stima empirica: formula di Ramsey: $r = p + 0q$ . Dove, $r$ è il tasso di pura preferenza temporale fissato all'1%, il tasso di crescita medio è $q$ 3% e $s$ assume che l'elasticità al consumo dell'utilità marginale sia 1. Applicando la formula di Ramsey, gli autori ottengono un tasso di sconto sociale di base del 4%. Non viene fornita alcuna spiegazione sulla selezione dei valori dei tre fattori.
Scorzini A.R. e Leopardi M.	2017	17 bacini fluviali della Regione Abruzzo (Centro Italia)	Due diversi progetti in Abruzzo: > 3 bacini per una superficie totale di circa 76 ha > 5 bacini per una superficie totale di circa 120 ha	> Danni annuali evitati dopo l'applicazione di misure strutturali	> Costi di costruzione e manutenzione delle misure di mitigazione applicate	50 anni	DIR 2007/60.; Regolamento No. 1303/2014	DIR 2007/60.; Regolamento No. 1303/2014	3,5%	Approccio: non specificato ma classificabile come SRTP Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi analoghi in letteratura e secondo le norme della Direttiva Europea 2007/60
Peng B. e Song J.	2018	Città di Miami - USA	Misure di mitigazione: > Costruire segmenti di argini lungo il fiume Miami	> Danni evitati dopo la costruzione del segmento degli argini	> Costi di costruzione e manutenzione delle misure di mitigazione applicate	2025, 2050, 2075, 2100 (ricorrenza delle mareggiate)	Non specificato nell'articolo	Non specificato	3%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura
Reguero B.G. et al.	2018	Costa del Golfo (Mexico) - USA	Misure di mitigazione: > Misure green o nature-based (ad es. ripristino della barriera corallina di ostriche) > Misure grigie o strutturali (ad es. argini locali, dighe, sacchi di sabbia) > Misure politiche (ad es. elevazione delle case private) > Ripristino di zone umide e spiagge	> Diminuzione dei danni all'ambiente costruito > Evitate perdite umane	> Costi di costruzione e manutenzione delle misure di mitigazione applicate	20, 40 anni	Non specificato nell'articolo	Non specificato	2%, 10%	Approccio: non specificato Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura. Vengono utilizzati due tassi di sconto per testare la sensibilità della variazione dei rapporti benefici/costi
Seekao C. e Phano C.	2018	Bacino del fiume Bangpakong nella provincia di Chaobangasao - Thailandia	Misure di mitigazione: > L'altezza della diga aumenta > Rete intorno agli stagni > Misura non strutturale ma non inclusa nell'analisi economica > raccolta anticipata e spostamento del calendario colturale	> Danni evitati per gli allevamenti di gamberi	> Costi per investimenti in misure di controllo delle alluvioni (costruzione e manutenzione)	50 anni	IPCC (2007a)	Prestito dalla Central Intelligence Agency	2,7%, 4%	Approccio: non specificato ma classificabile come SRTP Metodo di stima empirica: approccio sintetico per confronto con casi simili in letteratura e seguendo gli standard della Central Intelligence Agency nel CB World Factbook e IPCC (2007a)
Trovato M.R. e Giuffrida S.	2018	Bacino idrografico tra Capo Peloro e Fiumedini - Sicilia nord-orientale	Applicata una politica proattiva di protezione del territorio dopo l'alluvione (es: spese per interventi di primo soccorso, assistenza alla popolazione e identificazione dei danni), restauro e ricostruzione di proprietà distrutte o danneggiate; alloggi per famiglie senza dimora; contributi alle imprese ubicate in aree o edifici danneggiati; previdenziale, assistenziale e sospensione degli adempimenti fiscali e dei pagamenti da parte dei residenti in provincia)	> Danni evitati al suolo e alle strutture/infrastrutture > Perdita di vite umane	> Costi derivanti dalle politiche di tutela del territorio applicate (costi di recupero)	20 anni	"Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects" - Unione Europea, Bruxelles, Belgio, 2008	Calcolo degli autori a partire dalle European Cost-Benefit Analysis Guidelines	3,69%	Approccio: SRTP secondo i principi di sostenibilità Metodo di stima empirica: applicazione sperimentale di un modello SDR che tenga conto dell'importanza delle diverse aree del territorio danneggiato, decrescente nei casi di aree di pregio e sicurezza. In questo studio è stato attribuito a ciascuno dei comuni considerati un diverso SDR compreso tra il 3% e il 5,5% in proporzione inversa al livello di rischio delle aree in cui sono ubicati. Il SDR complessivo, 3,69%, è stato calcolato come SDR medio ponderato tenendo conto anche del numero ed eterogeneità di fattori di instabilità presenti.

**Tabella 3 - Regioni italiane a rischio idraulico per macro aree geografiche.**  
Fonte: elaborazione degli autori su dati Rapporto ISPRA 2018

Macro-aree geografiche	Area	Area a pericolosità idraulica - L.D. 49/2010						
		Elevata - "P3"		Media - "P2"		Bassa - "P1"		
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
Nord-ovest	Piemonte, Valle D'Aosta, Lombardia, Liguria	57.927,0	3.277,5	5,7%	4.864,4	8,4%	8.359,0	14,4%
Nord-est	Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna	62.326,0	3.997,6	6,4%	12.655,2	20,3%	13.429,0	21,5%
Centro	Toscana, Umbria, Marche, Lazio	58.084,0	2.054,0	3,5%	3.940,9	6,8%	6.006,0	10,3%
Sud	Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria	73.798,0	2.124,6	2,9%	2.726,8	3,7%	3.139,7	4,3%
Isole	Sicilia, Sardegna	49.932,0	951,5	1,9%	1.210,3	2,4%	2.027,3	4,1%
<b>Totale Italia</b>		<b>302.066,0</b>	<b>12.405,0</b>	<b>4,1%</b>	<b>25.398,0</b>	<b>8,4%</b>	<b>32.961,0</b>	<b>10,9%</b>
Centro-Nord	Nord-ovest, Nord-est e Centro	178.337,0	9.329,1	5,2%	21.460,5	12,0%	27.794,0	15,6%
Mezzogiorno	Sud e Isola	123.730,0	3.076,1	2,5%	3.937,1	3,2%	5.167,0	4,2%
<b>Totale Italia</b>		<b>302.066,0</b>	<b>12.405,0</b>	<b>4,1%</b>	<b>25.398,0</b>	<b>8,4%</b>	<b>32.961,0</b>	<b>10,9%</b>

stire il rischio idraulico, e di quanto le misure stesse incidano sulla rischiosità e pericolosità dei territori nazionali.

Nel 2020 l'ISPRA ha pubblicato il rapporto del Progetto ReNDiS ("Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo") in cui sono riportate le durate medie complessive degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico per aree geografiche e per classi di importo desunte dal quadro economico nel corso del periodo 1999-2019 (Tab. 5).

La Tabella 5 mette in evidenza come l'andamento dei tempi medi di realizzazione non subisca cambiamenti sostanziali anche confrontando le durate medie per le diverse aree geografiche a seconda della classe di costo. Solo per le classi di costo superiori ai due milioni di euro si registra una leggera tendenza ad allungare la durata dei tempi di realizzazione degli interventi localizzati al Nord (7,3 anni) rispetto al resto d'Italia. Negli ultimi vent'anni e soprattutto dal 2010, gli interventi di tipo idraulico hanno



**Tabella 4 - Classifica delle regioni italiane rispetto alla percentuale di popolazione esposta ai danni delle piene fluviali**

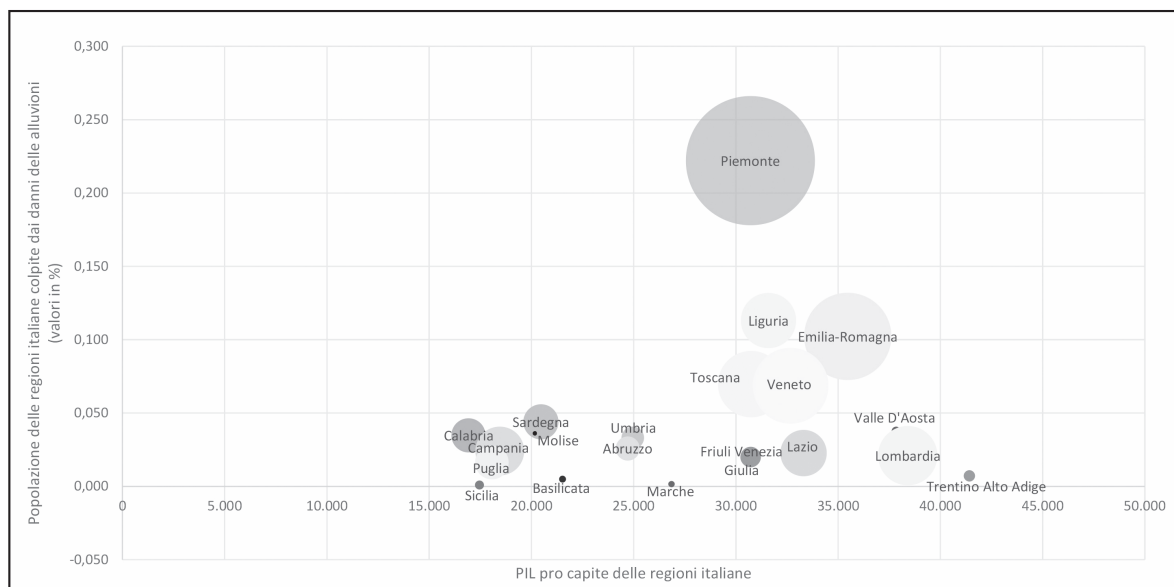
Classifica	Regione	Popolazione colpita da inondazioni nel 2017	%	PIL pro capite delle regioni nel 2017 (€)
6	Piemonte	968.986	0,222	30.710
12	Liguria	177.612	0,113	31.594
7	Emilia-Romagna	444.008	0,102	35.469
9	Toscana	256.189	0,070	30.744
5	Veneto	333.052	0,069	32.672
11	Sardegna	72.100	0,044	20.467
19	Valle d'Aosta	4.769	0,038	37.837
20	Molise	1.135	0,036	20.167
10	Calabria	68.197	0,035	16.924
17	Umbria	29.309	0,033	24.956
14	Abruzzo	33.793	0,026	24.713
2	Campania	139.171	0,024	18.454
3	Lazio	124.985	0,023	33.306
1	Lombardia	203.813	0,021	38.406
15	Friuli Venezia Giulia	24.363	0,020	30.722
8	Puglia	66.156	0,016	18.069
16	Trentino Alto Adige	7.388	0,007	41.417
18	Basilicata	2.860	0,005	21.521
13	Marche	2.419	0,002	26.852
4	Sicilia	4.761	0,001	17.460

assunto una prevalenza a livello nazionale sugli altri tipi di interventi, con conseguente aumento di finanziamenti locali e nazionali per la costruzione delle relative misure di mitigazione (ReNDiS, 2020). Tuttavia, secondo il rapporto ISPRA (ISPRA, 2018) se si correlano gli interventi strutturali con le variazioni delle aree di pericolosità proposte da ISPRA soprattutto negli ultimi anni dal 1998 e col numero di vittime da fenomeni alluvionali o i danni economici (rif. Tab. 6), non si osserva una significativa influenza dei primi (interventi) sulle seconde (riduzione o declassamento delle aree ad alto rischio) nel breve periodo. Questa osservazione, concorde tra i rapporti ISPRA e ReNDiS, può essere spiegata come conseguenza degli orizzonti temporali di lunga durata per la costruzione delle misure di mitigazione. Più precisamente, le opere finanziate negli ultimi anni produrranno effetti solo nel prossimo futuro in quanto il tempo medio di realizzazione degli interventi strutturali (comprensivo delle fasi di avvio, progettazione, aggiudicazione dei lavori, esecuzione delle opere e collaudo) è pari a 4,7 anni (Tab. 5), con l'80% dei lavori eseguiti tra 2,1 e 7,8 anni.

#### 4.2 Il contesto territoriale di Olbia e i maggiori eventi alluvionali registrati

La città di Olbia è situata nella zona nord-orientale della Sardegna lungo il Golfo di Olbia. Questo centro urbano è densamente popolato e si espande verso il versante occidentale su una superficie pianeggiante di 376,1 km<sup>2</sup>, delimitata da una fascia montuosa e caratterizzata da un ricco reticolo idrografico (almeno sei torrenti).

Negli ultimi cinquant'anni Olbia è stata colpita da tre principali alluvioni con frequenza crescente a causa dei cambiamenti climatici: la prima nel 1979, poi (probabilmente la

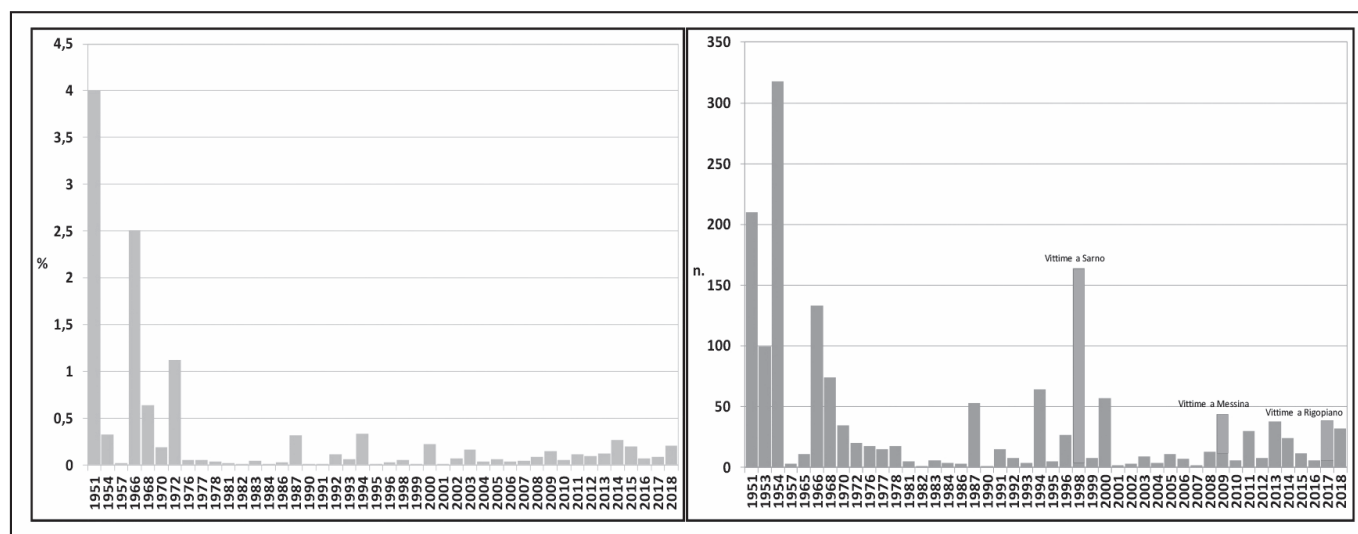


**Figura 5 - PIL pro capite e numero assoluto di persone colpite dai danni delle inondazioni fluviali per paese.**  
Fonte: Elaborazione degli autori su dati ISTAT, ISPRA (Report 2018) e MEF italiano



**Tabella 5 - Durata media complessiva degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico per area geografica e per spesa.** Fonte: Elaborazione degli autori su dati Rapporto ReNDiS 2020

Durata totale media di realizzazione degli interventi per classi di costo e per aree geografiche								
Classi di costo (€)	Nord		Centro		Sud e Isole		Totale	
	Numero interventi	Durata totale media	Numero interventi	Durata totale media	Numero interventi	Durata totale media	Numero interventi	Durata totale media
0-100.000	109	3,8	112	3,9	46	4,4	267	4,0
100.000-500.000	664	4,4	433	4,3	559	4,3	1.656	4,3
500.000-1.000.000	261	5,2	249	5,0	340	5,3	850	5,2
1.000.000-2.000.000	95	6,2	88	5,8	143	5,8	330	5,9
> 2.000.000	41	7,3	34	6,8	77	6,5	152	6,8
ND	150	4,9	51	4,3	101	4,8	302	4,8
<b>Totale complessivo</b>	<b>1.320</b>	<b>4,8</b>	<b>967</b>	<b>4,6</b>	<b>1.266</b>	<b>4,9</b>	<b>3.557</b>	<b>4,8</b>



**Figura 6 - Da sinistra a destra a) valutazione dei danni economici dei principali eventi alluvionali verificatisi in Italia rispetto al PIL pro capite italiano; b) vittime delle principali alluvioni in Italia.** Fonte: Rapporto ReNDiS 2020, pag. 3.

più devastante) nel 2013 e l'ultima nel 2015. L'elevata densità di popolazione, unitamente a una crescita incontrollata del tessuto urbano principalmente negli anni '70 e alla presenza di un bacino idrografico diffuso, hanno determinato una emergente fragilità insieme a un inasprimento della condizione territoriale rispetto al rischio idrografico.

In particolare, dopo l'alluvione del 2013, il Dipartimento della Protezione Civile ha introdotto nuove azioni di prevenzione per i cittadini con il risultato di evitare perdite umane durante l'evento successivo nel 2015.

L'Autorità di Bacino Regionale della Sardegna (incaricata del monitoraggio del rischio idrogeologico e della progettazione delle politiche o della regolazione dei bacini locali) considera nei piani regolatori alcune misure strutturali di mitigazione dei fenomeni alluvionali. La tabella seguente (Tab. 6) riassume le misure di mitigazione strutturale fornite dall'Autorità di Bacino Regionale della Sarde-

gna coi relativi costi e tempi di realizzazione per ciascun intervento. Come si evince dalla Tabella 6, le opere strutturali sono dimensionate per periodi di ritorno molto lunghi di 100, 200 e 500 anni e richiedono, ovviamente, risorse maggiori in termini di costi e tempi di realizzazione.

Al fine di individuare lo scenario di intervento più efficace in termini di costi e benefici per la collettività è stata applicata una ACB.

Inoltre, è stato anche valutato in che misura i sistemi di allerta rapida possano contribuire a ridurre il danno residuo<sup>4</sup> (e quindi il rischio residuo) non mitigato dagli interventi strutturali considerati.

<sup>4</sup> In termini economici, i danni residui sono diversi dai danni evitati e sono quei danni non coperti da misure di mitigazione.

**Tabella 6 - Misure di mitigazione strutturali e non strutturali proposte dall'Autorità di Bacino Regionale della Sardegna con relativi tempi e costi di realizzazione.**

Fonte: Elaborazione degli autori su dati da [www.regione.sardegna.it/autoritadibacino](http://www.regione.sardegna.it/autoritadibacino)

T	1/T	Tipologia di intervento	Tempi per la realizzazione dell'intervento (anni)	Costo intervento (€)
1	1	Nessuna misura strutturale richiesta	0	-
2	0,5	Nessuna misura strutturale richiesta	0	-
5	0,2	Ordinaria manutenzione dei corsi d'acqua	1	100.000,00
20	0,05	Allargamento dei canali e ricostruzione dei ponti	3	5.040.000,00
25	0,04	Costruzione dei bacini di ritenzione	4	22.540.000,00
50	0,02	Costruzione di canali scolmaroti	5	72.115.000,00
100	0,01	Misure strutturali progettate per contrastare fenomeni alluvionali con T=100	10	82.367.500,00
200	0,005	Misure strutturali progettate per contrastare fenomeni alluvionali con T=200	10	92.620.000,00
500	0,002	Misure strutturali progettate per contrastare fenomeni alluvionali con T=500	15	97.251.000,00

L'analisi è stata implementata secondo le indicazioni della Direttiva Europea n. 2007/60/CE<sup>5</sup> a partire dalla valutazione delle mappe di rischio idraulico costruite utilizzando i modelli QGIS e FEST per gli idrografi calcolati su quattro periodi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

La seconda fase dell'analisi ha previsto la stima del danno atteso calcolato in base all'esposizione e, quindi,

<sup>5</sup> La Direttiva 2007/60/CE (Direttiva Alluvioni - FD) fornisce il quadro di riferimento per la valutazione e la gestione dei rischi alluvionali ed è stata recepita in Italia con il D.lgs 49/20105.

alla vulnerabilità di diverse categorie di edifici dal residenziale al commerciale, terziario e produttivo, definita a partire dalle curve di danno calcolate attraverso il database HAZUS-MH distribuito da FEMA - US Federal Emergency Management Agency (2010) e alla stima dei danni monetari tangibili. I danni materiali degli edifici sono stati stimati mediante i costi di sostituzione e ripristino di strutture e di beni in essi ospitati e riferiti all'ultimo evento alluvionale del 2015 (Mancini et al., 2019).

I danni economici, calcolati per ciascuno degli scenari alluvionali considerati (con tempi di ritorno di 500, 200, 100 e 50 anni), sono stati descritti in un grafico in funzione della probabilità di accadimento e, attraverso un'interpolazione, si è ottenuta la curva di danno.

Infine, l'ACB è stata eseguita per ciascuna delle suddette misure di mitigazione (Tab. 6) considerando un orizzonte temporale di 30 anni allo scopo di individuare lo scenario socialmente ed economicamente preferibile, includendo costi e benefici riferiti ai soli danni diretti tangibili. Inoltre, è stato poi valutato l'impatto che le misure non strutturali (sistemi di allerta rapida) hanno sulla riduzione dei danni non mitigati da interventi strutturali (rischio residuo).

Il SSS utilizzato per l'applicazione della ACB è stato stimato pari al 2,66% per l'orizzonte temporale considerato di 30 anni, calcolato sulla base della formula Ramsey, e pari all'1,5% applicato all'ultimo anno (30°) per tenere conto sia dei costi che dei benefici che ciascun intervento genererà negli anni successivi all'orizzonte temporale preso in considerazione.

Operativamente, la formula di Ramsey è stata applicata seguendo l'Eq. (1) di seguito esposta:

$$SSS = p + n \cdot g \quad (1)$$

Con  $p = 1\%$  come tasso di sconto dell'utilità che riflette la pura preferenza temporale,  $n = 1,109$  come elasticità dell'utilità marginale del consumo e  $g = 1,5$  come tasso di crescita annuo del consumo reale pro-capite.

Per stimare i suddetti parametri della formula di Ramsey, gli autori hanno proceduto attraverso un'analisi empirica (Nesticò, De Mare e Conte, 2016).

Più precisamente:

- il saggio di sconto dell'utilità che riflette la pura preferenza temporale  $p$  è stato stimato considerando un tasso di preferenza temporale puro nullo in accordo con la prevalente letteratura di settore che sposa la tesi per cui il benessere dell'attuale generazione sia equivalente rispetto a quella futura. Viene invece considerato un saggio di sconto intertemporale pari al 1% in ragione del rischio idraulico alto presente nell'area di studio. Tale valore è infatti stimato in letteratura (Percoco, 2007) in un intervallo variabile tra lo 0,98% e 1% sulla base del tasso di mortalità;
- l'elasticità dell'utilità marginale del consumo  $n$  è stata stimata utilizzando il metodo della tassazione indipen-

dente (Percoco, 2007; Nesticò et al., 2016), per cui per l'Italia si stima un valore pari a 1,109;

- il tasso di crescita annuo del consumo reale pro-capite è stato stimato considerando l'approccio standard utilizzato in letteratura per cui si prevede la crescita futura sulla base del tasso di crescita del consumo pro-capite negli anni passati. Sulla base dei dati pubblicati da Istat sulla variazione del PIL negli anni 1995-2014 per il contesto in esame della Regione Sardegna è stato considerato un tasso di crescita pari al 1,5%.

I principali risultati ottenuti sono discussi nel paragrafo successivo.

## 5. RISULTATI E DISCUSSIONE

La ACB per il caso studio della città di Olbia comprende nove diversi scenari, replicati rispetto a diverse misure strutturali adottate dall'Autorità di Bacino Regionale della Sardegna. I nove scenari sono stati analizzati anche includendo i sistemi di allerta rapida con l'obiettivo di testare la riduzione del rischio residuo.

I risultati sono stati confrontati attraverso gli indicatori di convenienza economica del Valore Attuale Netto (VAN), del Tasso di Rendimento Interno (TIR) e del rapporto Benefici-Costi (B/C).

Per quanto riguarda le misure di mitigazione strutturali, l'analisi ha evidenziato che gli interventi più vantaggiosi (rispetto al VAN, al TIR e al rapporto B/C) sono stati quelli a maggiore pericolosità residua (nello specifico  $T = 20$  anni,  $H = 1 / T = 0,05$ ) e, in particolare, riferiti all'opzione "allargamento dei canali e ricostruzione dei ponti". La tabella seguente (Tab. 7) riassume i tre indicatori per tutti e nove gli scenari su diversi periodi di ritorno.

**Tabella 7 - Risultati e principali indicatori della ACB del caso studio di Olbia rispetto a diversi scenari derivati dall'applicazione di nove misure di mitigazione.**

Fonte: Elaborazione degli autori

T	1/T	VAN (€)	TIR	B/C
1	1	- 1.437.491.136,31	-	0
2	0,5	- 1.385.169.589,05	-	0,01
5	0,2	- 210.559.969,59	-	0,75
20	0,05	627.244.830,96	16,46%	2,6
25	0,04	567.325.455,12	12,43%	2,26
50	0,02	493.043.887,56	9,44%	1,85
100	0,01	411.037.139,98	6,81%	1,73
200	0,005	439.442.666,26	6,93%	1,77
500	0,002	289.768.449,95	155,22%	1,55

In generale, i dati rivelano che le misure progettate per scenari di piena con tempi di ritorno di 1, 2 e 5 anni hanno indici di performance svantaggiosi sia in termini di VAN che in termini di rapporto B/C, mentre altri scenari sono vantaggiosi rispetto a tutti gli indici di prestazione. Ma l'intervento di gran lunga preferibile tra quelli considerati vantaggiosi è, sia in termini economici che sociali, quello che consente di mitigare il danno corrispondente a uno scenario di piena caratterizzato da  $T = 20$  anni.

L'integrazione dei sistemi di allerta rapida con interventi strutturali è stata testata rispetto alla loro capacità di ridurre, in funzione del tempo di allerta di alluvione (24-48h) e del grado di preparazione della popolazione (impreparata-preparata), la componente di danno non mitigata da interventi strutturali (danno residuo).

È interessante notare che anche con l'integrazione dei sistemi di allerta rapida allo stesso SSS lo scenario più conveniente nella ACB è il  $T = 20$ . Più precisamente, i risultati conseguiti hanno evidenziato la convenienza economica, sia in termini di VAN che di rapporto B/C, degli interventi progettati per brevi tempi di ritorno (in questo caso  $T = 20$  anni). In genere, la presenza di una popolazione preparata rende accettabili tutti gli interventi programmati, indipendentemente dal tempo di allerta considerato e migliora il valore del TIR per un intervento quinquennale (corrispondente a un intervento di manutenzione ordinaria dei corsi d'acqua).

Le analisi condotte per il caso studio di Olbia includono la possibilità di progettare interventi di mitigazione con pericolosità residua più significativi di quelli tradizionalmente utilizzati in Italia dalle Autorità Distrettuali di Bacino. Il lavoro, quindi, evidenzia come, dal punto di vista della sola ACB, non sia vantaggioso dimensionare interventi strutturali con valori tradizionali di pericolosità residua rispetto a interventi che ammettono un rischio residuo corrispondente ai tempi di ammortamento ventennale.

Tuttavia, poiché l'obiettivo finale del presente lavoro di ricerca è quello di indagare la relazione tra il VAN finale e il SSS (e quindi il suo peso sulla ACB), è stata applicata anche un'analisi di sensitività sui risultati dei flussi di cassa generati senza l'utilizzo dei sistemi di allerta rapida rispetto al caso studio di Olbia.

Più precisamente, partendo dallo scenario ottimale individuato di 20 anni come tempo di ritorno, la simulazione del VAN è stata ripetuta tre volte relativamente a dei SSS di 3,5%, 5% e 10%, che sono rispettivamente il SSS più utilizzato in letteratura per i casi studio europei, il SSS oggetto della Dir. 2007/60 e il SSS più utilizzato in letteratura per casi di studio a livello internazionale. I tre VAN quindi sono stati calcolati con un tasso di sconto costante nei 30 anni e un tasso di sconto decrescente.

Come previsto, i risultati hanno confermato che maggiore è il valore del SSS, minore risulta il VAN. Come già introdotto nei capitoli precedenti, considerare un valore di SSS tendente allo zero o decrescente nel tempo esprime un orientamento a favore delle preferenze delle generazioni future, poiché considera l'impatto di costi e benefici so-

ciali nel lungo periodo; al contrario un SSS elevato rende i costi sociali di lungo periodo molto bassi rispetto ai benefici conseguibili a breve termine, comportando un orientamento a favore delle preferenze delle attuali generazioni rispetto a quelle future. Tuttavia, lo scenario considerato, per il quale le misure strutturali vengano costruite ottimisticamente in tre anni, non ha prodotto risultati significativi considerando solo la variazione del tasso di attualizzazione. Infatti, la modifica del tasso di attualizzazione, pur incidendo leggermente sui valori degli indici di performance, non modificherebbe la scelta dell'intervento preferibile ( $T = 20$  anni).

Pertanto, dopo la prima analisi, si è deciso di testare l'influenza del SSS sul VAN assieme alla variazione dei tempi di realizzazione della stessa misura di mitigazione strutturale (allargamento dei canali e ricostruzione dei ponti). Nella seconda prova con un SSS del 3,5%, 5% e 10% si è ipotizzato di completare la stessa misura strutturale in 7 anni, sulla base dei dati forniti da ISPRA (per questi ultimi, si veda il Par. 4), considerando i tempi medi di realizzazione della misura per il Nord Italia per quegli interventi con spesa finale superiore a 2 milioni di euro. Sono stati inclusi tre sotto-scenari ipotizzati a partire dalla letteratura: uno scenario pari a 7 anni, uno scenario ottimistico di 4 anni e uno pessimistico di 10 anni.

Il grafico e le tabelle in figura 7 sintetizzano il rapporto tra SSS e VAN per i tre sotto-scenari temporali di 7, 4 e 10 anni, considerando anche il peso dei costi derivanti da costruzione e danni evitati posticipati.

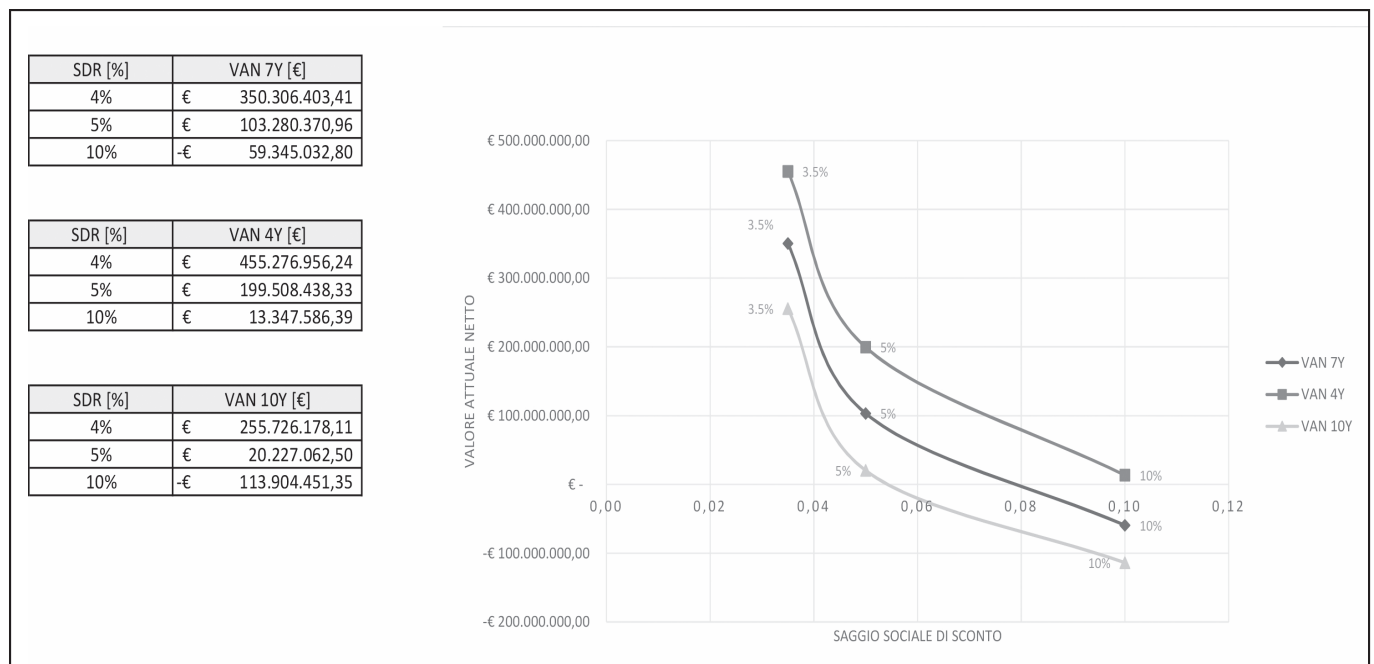
È interessante notare che, qualora il periodo di costruzione di una misura di mitigazione venga posticipato, i costi derivanti da danni non evitati gravano maggiormente sul flusso di cassa.

Infatti, nello scenario ottimistico, i SSS pesano leggermente sul VAN, che rimane comunque sempre positivo. Al contrario, un tasso di sconto del 10% impatta sul VAN dei sotto-scenari di 7 e 10 anni, rendendoli negativi, e nel caso di 10 anni, anche un SSS del 5% fa avvicinare i valori attuali netti alla soglia negativa.

## 6. CONCLUSIONI

Il contributo in oggetto presenta una riflessione sul SSS nelle ABC applicate alla scelta di interventi di mitigazione del rischio idraulico nell'ambito dei Piani di Gestione del Rischio previsti dalla normativa italiana (D.lgs 49/2010) in risposta alla Direttiva Europea sulle acque (DIR. 2007/60).

La riflessione, inquadrata nel contesto teorico di riferimento (Rif. Cap. 2 e 3), parte da un'analisi dei casi di studio pubblicati a livello internazionale e nazionale sull'applicazione della ABC alla valutazione di investimenti per la mitigazione del rischio. L'analisi della letteratura scientifica ha evidenziato la grande variabilità nella scelta del tasso sociale di sconto, nonché la non omogeneità di approccio alla valutazione in rapporto a diversi contesti sociali, ambientali ed economici. Difatti, si evidenzia un intervallo di variazione del SSS da un minimo del 2% a un massimo del 12% in relazione all'orizzonte temporale di



**Figura 7** - Rapporto tra SSS e VAN rispetto a tre sotto-scenari di 4, 7 e 10 anni di tempi di realizzazione delle misure di mitigazione. Fonte: Elaborazione degli autori.



riferimento, considerato anch'esso variabile e compreso in un intervallo da 15 anni a 100 anni.

Appare evidente, dunque, come nella scelta del saggio sociale di sconto siano da tenere in considerazione molteplici fattori di natura macro e microeconomica, nonché l'orizzonte temporale dell'analisi, che, se limitato al breve periodo riflette maggiormente i valori finanziari di mercato con la scelta di tassi di sconto più alti, mentre per analisi riferite a tempi superiori ai trent'anni il tasso di sconto decresce al fine di attenuare l'effetto della "tirannia dello sconto" contemperando meglio le esigenze delle future generazioni con quelle attuali (Pearce et al. 2003, Oxera 2002).

L'applicazione al caso di studio della città di Olbia, colpita da una forte alluvione nel 2013, ha permesso di testare i risultati delle riflessioni teoriche a un caso reale.

Come si evince dai risultati dell'analisi, i fattori che maggiormente influenzano i risultati della ABC sono il tempo di realizzazione delle opere di mitigazione strutturali e la scelta del SSS a esse correlato.

Come è noto in letteratura (Apat 2006), infatti, la distribuzione nel tempo del danno, dei costi e dei benefici dipende strettamente dalla tipologia e dall'entità dell'evento che lo ha generato, e in particolare dalla reversibilità degli effetti negativi insieme al livello di potenziale ripristino dei beni danneggiati.

Nel caso di danni residui irreversibili, e di contro di benefici che si protraggono per un tempo infinito, come ad esempio per i danni da alluvione, il tasso di sconto sociale sarà alla fine del periodo di analisi più basso. Al fine di riflettere il valore della *perpetuity* nella fase permanente rispetto a quella transitoria.

Il tempo di costruzione delle opere di mitigazione, se maggiore, influisce sulla durata della fase transitoria rispetto a quella permanente spostando avanti nel tempo i benefici ottenuti a valle dell'intervento e dunque riducendo il loro valore attuale. Tale aspetto evidenzia come, al fine di massimizzare i benefici attuali, appaia preferibile la scelta di interventi che hanno effetti immediati nel tempo, anche a fronte di un danno socio-economico-ambientale residuo permanente maggiore.

Il dibattito in corso si focalizza proprio sulla scelta dello scenario che possa essere di maggiore equilibrio tra benefici presenti e danni residui futuri.

In tale prospettiva le ACB possono rappresentare un utile strumento di supporto alla scelta dello scenario preferibile tenendo in conto obiettivi di natura sociale ed economica. Su questi aspetti, in particolare, è ancora aperta la disputa sull'opportunità di ricorso a questo tipo di analisi al fine di includere dimensioni difficilmente monetizzabili e riconducibili alle esternalità ambientali e sociali, rispetto alle quali approcci multicriteria appaiono invece più idonei.

### RINGRAZIAMENTI

*Il caso di studio è stato sviluppato nell'ambito della tesi magistrale LE ANALISI COSTI-BENEFICI A SUPPORTO DEI PIANI DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONALE dello studente Roberto Dossi, Relatore: Prof. Marco Mancini, Correlatore: arch. Francesca Torrieri - Politecnico di Milano, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile Idraulica.*

\* **Francesca Torrieri**, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Piazzale Tecchio 80, Napoli, 80134, Italia  
e-mail: [ftorrie@unina.it](mailto:ftorrie@unina.it)

\*\* **Federica Cadamuro Morgante**, Dipartimento di Architettura e Studi Urbani (DASU), Politecnico di Milano, via Bonardi 3, Milano, 20133, Italia  
e-mail: [federica.cadamuro@polimi.it](mailto:federica.cadamuro@polimi.it)

\*\*\* **Alessandra Oppio**, Dipartimento di Architettura e Studi Urbani (DASU), Politecnico di Milano, via Bonardi 3, Milano, 20133, Italia  
e-mail: [alessandra.oppio@polimi.it](mailto:alessandra.oppio@polimi.it)

### Contributo degli autori

*Il presente lavoro di ricerca è attribuito in parti uguali ai tre autori.*

## Bibliografia

- ALBANO R., MANCUSI L., ABBATE A., *Improving flood risk analysis for effectively supporting the implementation of flood risk management plans: The case study of "Serio" Valley*, *Environmental Science and Policy* 75, 2017, pp. 158–172.
- ALMANSA SÁEZA C., CALATRAVA-REQUENA J., *Reconciling sustainability and discounting in Cost-Benefit Analysis: A methodological proposal*, *Ecological economics* 60 (4), 2007, pp. 712–725.
- APAT, *Rapporto APAT-Edizione 2006, Qualità dell'ambiente urbano III*, APAT, Roma 2006.
- ARROW K.J., CROPPER M.L., GOLLIER C., GROOM B., HEAL G.M., NEWELL R.G., NORDHAUS W.D., PINDYCK R.S., PIZER W.A., PORTNEY P.R., et al, *Should governments use a declining discount rate in project analysis?* *Rev. Environ. Econ. Policy*, 8, 2014, pp. 145–163.
- BOTTERO M., FERRETTI V., MONDINI G., *From the environmental debt to the environmental loan: Trends and future challenges for intergenerational discounting*, *Environment, Development and Sustainability Volume 15, Issue 6*, 2013, pp. 1623–1644.
- BOUMA J.J., FRANCOISE D. AND TROCH P., *Risk assessment and water management*, *Environmental Modelling & Software* 20, 2005, pp.141–151.
- BURTON C., VENTON C., *Case study of the Philippines national red cross: community based disaster risk management programming*, IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies), Ginevra, 2009.
- CROPPER M.L., AYDADE S.K., PORTNER P.R., *Preferences for live-saving programs: how the public discount time and age*, *Journal of Risk and Uncertainty* 8 (3), 1994, pp. 243–246.
- CRUE Eranet, *Effectiveness and Efficiency of Early Warning Systems for Flash Floods (EWASE)*, First CRUE ERANet Common Call Effectiveness and Efficiency of Non-structural Flood Risk Management Measures, CRUE Research report. No. I-5, 2008.
- DEFRANCESCO E., GATTO P., ROSATO P., *A 'component-based' approach to discounting for natural resource damage assessment*, *Ecol. Econ.* 99, 2014, pp. 1–9.
- DE FRANCESCO E., ROSATO P., ROSSETTO L., CANDIDO A., LA NOTTE A., "La scelta del saggio di sconto", in De Francesco (Ed), *Il risarcimento del danno ambientale: Aspetti teorici e operativi della valutazione economica*, 2012, pp. 155–178.
- DE FRANCESCO E., GATTO P., ROSATO P., *La scelta del saggio di sconto nella valutazione del risarcimento per danno all'ambiente*, *Valori e Valutazioni*, n. 9, 2012, pp. 107–124.
- EMMERLING J., DROUET L., VAN DERWIJST K.-I., VAN VUUREN D., BOSETTI V. TAVONI M., *The role of the discount rate for emission pathways and negative emissions*, *Environ. Res. Lett* 14, 104008, 2019.
- EUROPEAN UNION, *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*, European Union: Brussels, Belgium, 2008.
- EUROPEAN COMMISSION, *Directive 2007/60/EC Flood directive*, OJ L288, 6.11.2007.
- EUROPEAN COURT OF AUDITORS, *Relazione speciale n° 25 sulla Direttiva Alluvioni*, 2018.
- FEMA, *BCA Reference Guide*, 2009.
- FLORIO M., *La valutazione degli investimenti pubblici. I progetti di sviluppo nell'Unione Europea e nell'esperienza internazionale*. Volume primo, Franco Angeli, Milano, 2002.
- GOLLIER C., *Ecological discounting*, *J. Econ. Theory*, 145, 2009, pp. 812–829.
- HEIDARI A., *Structural master plan of flood mitigation measures*, *Nat. Hazards Earth Syst Sci*, 9, 2009, pp. 61–75.
- HOLLAND P., *An economic analysis of flood warning in Navua, Fiji*, *European Union Development Fund (EU EDF)*, in 8th – SOPAC Project Report 122, *Reducing Vulnerability of Pacific ACP States*, Fiji Technical Report, Suva, Fiji, 2008.
- HOLUB M., FUCHS S., *Benefits of local structural protection to mitigate torrent-related hazards*, in: Brebbia CA, Beritatos E (eds), *Risk Analysis VI, WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, vol. 39, Southampton, U.K.: WIT Press, 2008, pp. 401–411.
- HAER T. (ed), *Economic evaluation of climate risk adaptation strategies: Cost-benefit analysis of flood protection in Tabasco, Messico*, *Atmosfera* 30(2), 2017, pp. 101–120.
- HENDERSON N., BATEMAN I., *Empirical and public choice evidence for hyperbolic social discount rates and the implications for intergenerational discounting*, *Environmental and Resource Economics* 5, 1995, pp. 413–423.
- IFRC, *The long road to resilience: impact and cost-benefit analysis of communitybased disaster risk reduction in Bangladesh*, IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies), Ginevra, 2012.
- ISPRA, *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Rapporto 287/2018*, ISPRA, Roma, 2018.
- JONES G. E., DAVIES B., HUSSIAN S., *Ecological economics*, Blackwell Science, Oxford, 2000.
- MARTINEZ-PAZA J., ALMANSAB C., CASASNOVA V., JOSE VS., *Pooling Expert Opinion on Environmental Discounting: An International Delphi Survey*, 2016.
- KHAN F., MUSTAFA D., KULL D. & THE RISK TO RESILIENCE STUDY TEAM, *Evaluating the costs and benefits of disaster risk reduction under changing climatic conditions: A Pakistan case study*, Risk to Resilience Working Paper No. 7, 2008.
- KULA E., *Time Discounting and Future Generations: the Harmful Effects of an Untrue Economic Theory*, Westport, CT, Quorum Books, Londra, 1997.
- KULL D., *Evaluating costs and benefits of flood reduction under changing climatic conditions: case of the Rohini River Basin, India*, Risk to Resilience Working Paper No. 4,

2008, Kathmandu, Nepal, p.3.

KUNREUTHER H., MICHEL-KERJAN E., *Policy Options for Reducing Losses from Natural Disasters: Allocating \$75 billion*, in The Wharton School University of Pennsylvania, *Revised version for Copenhagen Consensus Center for Risk Management and Decision Processes*, Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A., 2012.

LICHFIELD N., *L'approccio Costi-Benefici alla valutazione dei piani*, in *Atti Colloquio Internazionale I.R.I.S./C.N.R. Metodi di valutazione nella pianificazione urbana e territoriale*, Capri, 1988.

LIND R.C., *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*, John Hopkins University Press, Baltimore, 1982.

MANCINI M., LOMBARDI G., MATTIA S., OPPIO A., TORRIERI F., *An Integrated Model for Ex-Ante Evaluation of Flood Damage to Residential Building*, in *Green Energy and Technology. Appraisal: from Theory to Practice*, 2016, pp. 157–170.

MARTELLI M., PENNISI G., *Le basi metodologiche della valutazione di programmi e di progetti nelle procedure dell'Unione Europea: Il programma operativo multiregionale per l'ambiente (POMA)*, Associazione Italiana di Valutazione AIV, Terzo congresso nazionale, Roma-Torino, 2000.

MARTÍNEZ-PAZ J.M., PERNI A., MARTÍNEZ-CARRASCO F., *Assessment of the Programme of Measures for Coastal Lagoon Environmental Restoration Using Cost-Benefit Analysis* *European Planning Studies*, 21 (2), 2013, pp. 131–148.

MASELLI G., NESTICÒ A., *A probabilistic model for the estimation of declining discount rate |Un modello probabilistico per la stima del saggio di sconto declinante*, *Valori e Valutazioni*, 2020(24): pp. 181–194.

MECHLER R., *Cost-benefit analysis of natural disaster risk management in developing countries*, Working paper for sector project 'Disaster Risk Management in Development Cooperation', GTZ, Berlino, 2005.

MECHLER R., HOCHRAINER S., KULL D., SINGH P., CHOPDE S., WAJIH S. & THE RISK TO RESILIENCE STUDY TEAM, *Uttar Pradesh drought cost-benefit analysis*, India, 2008.

MONDINI G., BOTTERO M., FERRETTI V., *From the environmental debt to the environmental loan: Trends and future challenges for intergenerational discounting*, *Environment Development and Sustainability* 15(6), 2013, pp. 1623–1644.

MORIMOTO R., HOPE C., *Applying a cost-benefit analysis model to the Three Gorges project in China*, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 22:3, 2004, pp. 205–220.

MUNDA G., *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*, 2008.

MUÑOZ-TORRECILLAS M.J., ROCHE J., CRUZ-RAMBAUD S., *Building a Social Discount Rate to be Applied in US Afforestation Project Appraisal*, *Forests*, 10, 445, 2019.

NEPAL RED CROSS, *Cost benefit analysis of a Nepal red cross society disaster risk reduction programme*, Kathmandu, Nepal, 2008.

NESTICÒ M., DE MARE G., CONTE A., *Approcci teorici ed empirici nella stima del saggio sociale di sconto. La formula di Ramsey per un valore nazionale aggiornato*, *Valori e Valutazioni*, vol. 14., 2016, pp. 47–62.

NESTICÒ A., MASELLI G., *A protocol for the estimate of the social rate of time preference: the case studies of Italy and the USA*, *Journal of Economic Studies*, Vol. 47 No. 3, 2020, pp. 527–545.

OPPIO A., TORRIERI F., DELL'OVO M., "How to Model Stakeholder Participation for Flood Management", in *Decision Support Systems VIII: Sustainable Data-Driven and Evidence-Based Decision Support*, 2018.

OXERA, *A social time preference rate for use in long-term discounting*, The office of the Deputy Prime Minister, Department for transport, and Department for the environment, food and rural affairs, Londra, 2002.

PAGE T., *Conservation and Economic efficiency, Resources for the Future*, John Hopkins University Press, Baltimore, 1977.

PAGE T., *On the Problem of Achieving Efficiency and Equity, Intergenerationally in Land Economics*, 4, 1977.

PEARCE D., GROOM B., HEPBURN C., KOUNDOURY P., *Valuing the future. Recent advances in social discounting*, in *World economics*, 4, 2, 2003, pp. 121–141.

PENG B., SONG J., *A case Study of Preliminary Cost-Benefit Analysis of Building Levees to Mitigate the Joint Effects of Sea Level Rise and Storm Surge*, *Water*, 2018, 10, 169.

PENNISI G., SCANDIZZO P.L., *Valutare l'incertezza*, Torino: G. Giappichelli Editore, 2003.

PERCOCO M., *A social discount rate for Italy*, *Applied Economics Letters*, 15:1, 2007, pp. 73–7.

REGUERO B.G., BECK M.W., BRESCH D.N., CALIL J., MELIANE I., *Comparing the cost effectiveness of nature-based and coastal adaptation: A case study from the Gulf Coast of the United States*, *PLoS ONE*, 13(4): e0192132, 2018.

ReNDiS Project report (ISPRA), *La difesa del suolo in vent'anni di monitoraggio ISPRA sugli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico*. Report 328/2020". ISPRA, Roma, 2020.

RODRÍGUEZ-LABAJOS B., MARTÍNEZ-ALIER J., *The economics of ecosystems and biodiversity: Recent instances for debate*, *Conservation and Society*, 11 (4), 2013, pp. 326–342.

SCORZINI A.R., LEOPARDI M., *River basin planning: from qualitative to quantitative flood risk assessment: the case of Abruzzo Region (central Italy)*, *Nat Hazards*, 2017, 88: pp. 71–93.

SEEKAO C., PHARINO C., *Cost-benefit analysis of shrimp farming's flood risk reduction strategies in Thailand*, *J Flood Risk Management* 11, 2018, pp. 805–816.

SHREVE C.M., KELMAN I., *Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction*, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 10, 2014, part A: pp. 213–235.

TORRIERI F., MANCINI M., MATTIA S., OPPIO A., *A spatial model*

[  
for the economic evaluation of flood risks [Un modello spaziale di valutazione economica del danno atteso a supporto della gestione sostenibile delle aree a rischio alluvioni], *Territorio*, Issue 79, 2016, Franco Angeli, Milano, pp. 118–126.

TORRIERI F., OPPIO A., *The sustainable management of flood risk areas: Criticisms and future research perspectives*, in *Integrated Evaluation for the Management of Contemporary Cities*. Green Energy and Technology, 2018.

TORRIERI F., DE PAOLA P., BASILE M., VACCA G., DEL GIUDICE V., *Cost Benefit Analysis for a hydraulic project: a case study*, 4th International Symposium on New Metropolitan Perspectives, NMP 2020; Reggio Calabria; Italy; 26 May 2020 through 28 May 2020, Vol. 178 SIST, 2021, pp. 2159–2168.

TROVATO M.R. and GIUFFRIDA S., *The Monetary Measurement of Flood Damage and the Valuation of the Proactive Policies in Sicily*, *Geosciences* 2018, 8, p. 141.

VASQUEZ-LAVÍN F., OLIVA R.D.P., HERNÁNDEZ J.I., GELCICH S., CARRASCO M., QUIROGA M., *Exploring dual discount rates for ecosystem services: Evidence from a marine protected*

*area network*, *Resour. Energy Econ.* 55, 2018, pp. 63–80.

WHITE B.A., RORICK M.M., *Cost-benefit analysis for community-based disaster risk reduction in Kailali, Nepal*, Mercy Corps Nepal, Lalitpur, Nepal, 2010.

#### Riferimenti Internet

Population Pyramid, [www.populationpyramid.net](http://www.populationpyramid.net)

Aqueduct floods, [www.wri.org/flood](http://www.wri.org/flood)

The World Bank, [www.data.worldbank.org](http://www.data.worldbank.org)

United Nations Statistics Division (UNSD)  
[www.unstats.un.org](http://www.unstats.un.org)

Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), [www.istat.it](http://www.istat.it)

Ministero dell'Economia e delle Finanze - MEF,  
[www.dt.mef.gov.it](http://www.dt.mef.gov.it)

Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale - ISPRA, [www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

Autorità di Bacino Regionale della Sardegna,  
[www.regione.sardegna.it/autoritadibacino](http://www.regione.sardegna.it/autoritadibacino)