

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**AGRIDE: un modello esperto per la valutazione del danno
alluvionale al settore agricolo**

Relatrice: Prof. Daniela Molinari

Correlatori: Dott.ssa Anna Rita Scorzini

Prof. Francesco Ballio

Tesi di Laurea Magistrale di:

Alice Gallazzi

Matr. 854360

Anno Accademico 2016/2017

Abstract

La Direttiva Alluvioni (Direttiva 2007/60/CE) prevede che gli Stati Membri elaborino mappe della pericolosità e del rischio alluvioni e predispongano piani di gestione del rischio, al fine di ridurre le potenziali conseguenze negative derivanti dagli eventi alluvionali per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche; risulta dunque necessario predisporre di adeguati modelli per la valutazione quantitativa di tali conseguenze. Nelle attuali valutazioni di rischio, i danni alluvionali al settore agricolo vengono però generalmente trascurati, o stimati con approcci molto semplificati, sia per la mancanza di dati utili alla generazione di modelli più specifici, sia perché considerati di minore importanza rispetto agli impatti su altri settori esposti (es. residenziale, industriale, infrastrutture).

A fronte di tale carenza, il presente lavoro di tesi si è posto l'obiettivo di derivare un modello per la valutazione del danno alluvionale al settore agricolo (AGRIDE, AGRiculture Damage Estimation), con particolare riguardo ai danni alle colture, utilizzando come caso studio l'alluvione del 2002 nella provincia di Lodi. Infatti, l'analisi degli eventi storici mostra un peso del tutto non trascurabile dei danni al settore agricolo, sottolineando la necessità di una loro miglior valutazione, in particolare per la valutazione di progetti che includono il ripristino di aree golenali/piane alluvionali o la realizzazione dei bacini di laminazione.

Il lavoro è suddiviso in tre fasi successive. Per prima cosa, è stata ricostruita l'alluvione in questione per identificare la tipologia dell'evento da considerare nella modellazione del danno ed esaminarne le cause e gli impatti sulle aziende agricole lodigiane. Si è proceduto quindi andando a caratterizzare l'esposizione del territorio in esame, attraverso l'analisi dell'uso agricolo, al fine di individuare le colture prevalenti per le quali sviluppare il modello. Dopo aver scartato la possibilità di costruire un modello empirico, per l'insufficienza di dati utili, e verificata la non applicabilità dei modelli esistenti in letteratura all'area di studio, si è scelto di derivare un nuovo modello attraverso un approccio "expert-based", tenendo conto di tutti gli input e le considerazioni desunte dallo studio della letteratura e con il supporto di un esperto in materia.

La modellazione proposta nel seguente elaborato costituisce un punto di partenza per le ricerche future, che richiederanno sicuramente le conoscenze e il supporto di agronomi e agricoltori, nonché la raccolta ex-post di dati indispensabili per la validazione del modello.

Parole chiave: Alluvione; Rischio; Danni; Agricoltura; Colture

Abstract (english version)

The EU Floods Directive 2007/60/EC requires Member States to develop flood hazard and risk maps and to establish flood risk management plans, aiming at the reduction of the potential adverse consequences of flooding for human health and life, the environment, the cultural heritage and economic activities; hence the need of tools for the quantitative/monetary estimation of flood damage arises. Nevertheless, damage to the agricultural sector is often neglected in present risk assessments, or only accounted for by using simple approaches, because of both a lacking of data for the derivation of more detail models and the fact that losses in rural areas are expected to be much lower compared to those in urban areas.

In such a context, the objective of this thesis is to derive a model for the estimation of flood damage to the agricultural sector (AGRIDE, AGRiculture Damage Estimation), with special attention to crop losses. Indeed, historical events show that damage to agriculture cannot be neglected, above all when the restoration of floodplain areas or the construction of retention basins must be evaluated .

The flood event that hit the Province of Lodi in November 2002 has been selected as a case study in support of the work. First, the flood has been analysed in order to examine its causes and impacts on local farms and to identify the event type to be considered for the modelling. Secondly, the exposure assessment of the study area has been carried out by analysing the agricultural land-uses, in order to determine the main types of crops for which produce damage functions. As the lack of data on crop damages prevented the development of an empirical model, a critical analysis of existing methods has been performed and an expert-based model has been developed, taking into account all the considerations and information derived from the literature and consultations with experts.

Next steps in the research will demand the involvement of agronomists and farmers, and the ex-post collection of data for the damage model validation.

Keywords: Flood; Risk; Damages; Agriculture; Crops

Indice

Abstract	1
Abstract (english version)	2
Indice delle figure.....	5
Indice delle tabelle	8
1 Introduzione	11
1.1 Alluvioni: rischio alluvionale e quadro normativo.....	11
1.2 Valutazione dei danni alluvionali	14
1.2.1 Valutazione dei danni alluvionali al settore agricolo	16
1.3 Obiettivo della tesi.....	19
2 Caso studio: Alluvione del novembre 2002 nel Lodigiano.....	20
2.1 Inquadramento territoriale della provincia di Lodi.....	20
2.2 Evento alluvionale del novembre 2002	21
2.2.1 Quadro generale dello stato di calamità in Lombardia	23
2.2.2 Entità dei danni in provincia di Lodi e alle relative aziende agricole	26
3 Caratterizzazione dell'esposizione nella provincia di Lodi	35
3.1 Descrizione generale del sistema agro-alimentare della Lombardia	35
3.2 Sistema agro-alimentare nella provincia di Lodi.....	40
3.3 Analisi dell'uso agricolo alla micro-scala	44
3.4 Analisi dell'uso agricolo alla scala della particella catastale	49
3.4.1 Confronto tra la Carta dell'uso agricolo SIARL e i dati del catasto agricolo alla scala della singola particella catastale: osservazioni.....	55
4 Derivazione del modello di danno per il settore agricolo	62
4.1 Metodo 1: modello empirico	62
4.2 Metodo 2: applicazione delle curve di danno disponibili in letteratura	62
4.2.1 Stato dell'arte	63

4.2.2	Scelta dei modelli trasferibili al territorio della provincia di Lodi.....	83
4.2.3	Analisi di sensitività per i modelli selezionati	98
4.3	Metodo 3: modello sintetico	107
4.4	Derivazione del modello analitico per il danno alle colture: caso del mais	117
5	Conclusioni.....	138
	Bibliografia.....	141
	Sitografia	144
	Appendice.....	145
	A.1 Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano	145
	A.2 Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo	148
	Ringraziamenti	151

Indice delle figure

Figura 2.1 - Inquadramento territoriale della Provincia di Lodi.	21
Figura 2.2 - Onda di piena dell'Adda a valle della confluenza con il Brembo (Fonte: Studio Paoletti Ingegneri Associati, 2005, aggiornato nel 2010).	23
Figura 2.3 - Mappa delle aree allagate e dei comuni in cui sono situate le aziende agricole risarcite.	28
Figura 2.4 - Distribuzione delle colture nelle aziende agricole al 01/11/2002.	31
Figura 2.5 - Distribuzione delle colture nelle aziende agricole allo stato attuale.	33
Figura 3.1 - Distribuzione delle imprese agricole lodigiane in funzione della SAT nel 2011 (Fonte: archivio SIARL).	41
Figura 3.2 - Ripartizione della SAU lodigiana tra le principali colture praticate nell'annata agraria 2010/11 (Fonte: archivio SIARL).	42
Figura 3.3 - Uso agricolo della provincia di Lodi nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).	47
Figura 3.4 - Uso agricolo delle zone adiacenti al fiume Adda nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).	48
Figura 3.5 - Shapefile delle particelle catastali del 2012 per la porzione più esposta del comune di Lodi.	50
Figura 3.6 - Mappa catastale del 2012 per il buffer di Lodi, prima e dopo l'applicazione del doppio Join.	52
Figura 3.7 - Uso agricolo del buffer di Lodi nel 2012 derivato dagli utilizzi dichiarati nel catasto agricolo.	54
Figura 3.8 - Uso agricolo del buffer di Lodi nel 2012 derivato dalla Carta dell'uso agricolo SIARL.	55
Figura 3.9 - Carta in formato raster dell'uso agricolo del 2012 per il buffer di Lodi.	56
Figura 3.10 - Carta in formato vettoriale dell'uso agricolo del 2012 per il buffer di Lodi e relativa tabella degli attributi.	57
Figura 3.11 - Sovrapposizione e unione di uso agricolo e catasto agricolo per il buffer di Lodi.	57
Figura 4.1 - Curve di danno sviluppate per i diversi tipi di colture agricole (Fonte: Dutta et al., 2003).	65
Figura 4.2 - Probabilità di inondazione stagionale e vulnerabilità stagionale delle colture per un evento alluvionale con TR = 5 anni, alla stazione di Dresda (Fonte: Klaus et al., 2016).	69

Figura 4.3 - Scheda informativa del danno alluvionale relativo per il mais (Fonte: Citeau, 2003).	71
Figura 4.4 - Funzioni di perdita di rendimento per il mais (Fonte: Agenais et al., 2013).....	74
Figura 4.5 - Funzioni di perdita di rendimento per il grano e per l'orzo (Fonte: Agenais et al., 2013).....	74
Figura 4.6 - Funzioni di perdita di rendimento per il prato (Fonte: Agenais et al., 2013).....	75
Figura 4.7 - Perdita di rendimento per il mais ai diversi stadi vegetativi: (A) germinazione, (B) crescita, (C) fioritura, (D) maturazione (Fonte: Agenais et al., 2013).	76
Figura 4.8 - Fattore di danno per agricoltura ed aree ricreative (Fonte: Kok et al., 2004).	78
Figura 4.9 - Funzioni danno-altezza idrica (Fonte: Hoes and Schuurmans, 2006).....	79
Figura 4.10 - Curve di danno sviluppate per il mais da Dutta et al. (Fonte: Dutta et al., 2003).	99
Figura 4.11 - Curve di danno sviluppate per il mais nel modello MEDIS (Fonte: Klaus et al., 2016).....	100
Figura 4.12 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di mais: variazione del danno in funzione della durata di inondazione per diverse combinazioni di altezza idrica e mese.....	102
Figura 4.13 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di mais: variazione del danno in funzione dell'altezza di inondazione per diverse combinazioni di durata e mese.	104
Figura 4.14 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di mais: variazione del danno in funzione del mese per diverse combinazioni di durata e altezza.	106
Figura 4.15 - Mappa concettuale sul quadro generale delle componenti di danno di un'azienda agricola alluvionata.	115
Figura 4.16 - Mappa concettuale sulla porzione di danni legati alle colture agricole.....	116
Figura 4.17 - Costi di produzione sostenuti nel corso dell'itinerario agronomico del mais da granella.	121
Figura 4.18 - Curve ricavi e costi per condizioni normali e per diversi scenari di alluvione, nel caso di lavorazione tradizionale (grafici a sinistra) e in quello di minima lavorazione (grafici a destra).....	133
Figura 4.19 - Utile dell'impresa agricola, che adotta la lavorazione tradizionale del terreno, per diversi scenari di pericolosità.....	134
Figura 4.20 - Utile dell'impresa agricola, che adotta la minima lavorazione del terreno, per diversi scenari di pericolosità.....	134

Figura 4.21 – Danno economico in % dell'impresa agricola, che adotta la lavorazione tradizionale del terreno, per diversi scenari di pericolosità.....	135
Figura 4.22 – Danno economico in % dell'impresa agricola, che adotta la minima lavorazione del terreno, per diversi scenari di pericolosità.....	136
Figura 4.23 - Curve di danno in funzione dei parametri di pericolosità (altezza, durata, mese).	137
Figura 0.1 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano: variazione del danno in funzione della durata di inondazione per diverse combinazioni di altezza idrica e mese.....	145
Figura 0.2 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano: variazione del danno in funzione dell'altezza di inondazione per diverse combinazioni di durata e mese.	146
Figura 0.3 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano: variazione del danno in funzione del mese per diverse combinazioni di durata e altezza.	147
Figura 0.4 Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo: variazione del danno in funzione della durata di inondazione per diverse combinazioni di altezza idrica e mese.....	148
Figura 0.5 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo: variazione del danno in funzione dell'altezza di inondazione per diverse combinazioni di durata e mese.	149
Figura 0.6 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo: variazione del danno in funzione del mese per diverse combinazioni di durata e altezza.	150

Indice delle tabelle

Tabella 2.1 - Percentuale di danno accertato alle strutture aziendali e alle scorte sulla base della PLV per ogni provincia (Fonte: Giunta Regione Lombardia, 2003).	25
Tabella 2.2 - Entità stimata dei danni nelle province lombarde (Fonte: Giunta Regione Lombardia, 2003).	25
Tabella 2.3 - Danni alle strutture di privati (Fonte: Giunta Regione Lombardia, 2003).	26
Tabella 2.4 - Mappa delle aree allagate e dei comuni in cui sono situate le aziende agricole risarcite.	29
Tabella 2.5 - Tipologia dei danni subiti dalle aziende agricole.	30
Tabella 2.6 - Terreni delle aziende agricole al 01/11/2002.	31
Tabella 2.7 - Allevamenti delle aziende agricole al 01/11/2002.	32
Tabella 2.8 - Terreni delle aziende agricole allo stato attuale.	33
Tabella 2.9 - Terreni delle aziende agricole D e Q allo stato attuale.	34
Tabella 2.10 - Allevamenti delle aziende agricole allo stato attuale.	34
Tabella 3.1 - Caratteristiche strutturali dell'agricoltura in Lombardia e UE-28 nel 2013 (Fonte: Elaborazioni DEMM su dati Eurostat, Indagine struttura aziende agricole 2013).	36
Tabella 3.2 - Caratteristiche strutturali del sistema agro-alimentare lombardo e italiano nel 2013 (Fonte: Elaborazioni DEMM su dati Istat, Indagine struttura aziende agricole 2013).	37
Tabella 3.3 - Produzioni delle principali coltivazioni e degli allevamenti in Lombardia e in Italia nel 2016 (Fonte: Elaborazioni ESP su dati Istat).	38
Tabella 3.4 - Distribuzione provinciale delle imprese agricole iscritte al Registro delle CCIAA nel 2016 in Lombardia (Fonte: Elaborazioni ESP su dati UnionCamere Lombardia).	39
Tabella 3.5 - Distribuzione provinciale delle imprese alimentari attive in Lombardia nel 2016 (Fonte: Elaborazioni ESP su dati Infocamere-Movimprese).	40
Tabella 3.6 - Consistenza numerica del patrimonio zootecnico nella provincia di Lodi, aggiornamento dati 2011 (Fonte: archivio SIARL).	43
Tabella 3.7 - Consistenza delle imprese dedite all'allevamento bovino e suino nella provincia di Lodi, aggiornamento dati 2011 (Fonte: archivio SIARL).	43
Tabella 3.8 - Classi accorpate utilizzate nella Carta di uso agricolo SIARL con i relativi codici di priorità.	44
Tabella 3.9 - Uso agricolo della provincia di Lodi nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).	46

Tabella 3.10 - Uso agricolo delle zone adiacenti al fiume Adda nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).	46
Tabella 3.11 - Dati in formato testo del catasto agricolo del 2012 per il comune di Lodi.	49
Tabella 3.12 - Tabella degli attributi dello shapefile del catasto agricolo del 2012 per il comune di Lodi.	49
Tabella 3.13 - Dati in formato testo del catasto agricolo con l'aggiunta del codice identificativo "CODICE".	51
Tabella 3.14 - Tabella attributi dello shapefile del catasto agricolo con l'aggiunta del codice identificativo "CODICE".	51
Tabella 3.15 - Distribuzione degli utilizzi agricoli del 2012 per il buffer di Lodi secondo i dati catastali.	53
Tabella 3.16 - Confronto tra gli utilizzi delle particelle catastali e della carta dell'uso agricolo SIARL per il buffer di Lodi.	58
Tabella 3.17 - Analisi sugli utilizzi e le relative superfici delle particelle catastali.	59
Tabella 3.18 - Informazioni estratte dal file di testo del catasto agricolo.	59
Tabella 3.19 - Analisi sulla rotazione delle colture.	60
Tabella 4.1 - Coefficienti delle funzioni di danno per i diversi gruppi colturali (Fonte: Dutta et al., 2003).	64
Tabella 4.2 - Fattori di danno per il grano ed il prato per i diversi mesi dell'anno raggruppati in differenti classi di durata (Fonte: Forster et al., 2008).	67
Tabella 4.3 - Linee guida - Massimi valori accettabili per le diverse aree rurali (Fonte: Citeau, 2003).	70
Tabella 4.4 - Danno massimo e funzione di danno per ogni classe di uso del suolo (Fonte: Hoes and Schuurmans, 2006).	79
Tabella 4.5 - Tipi di colture attualmente disponibili nel modello HAZUS (Fonte: HAZUS_Technical Manual).	80
Tabella 4.6 - Riduzione di resa del riso in Bangladesh per tre diversi livelli di sommersione: a) 25-50% altezza pianta, b) 50-75% altezza pianta, c) 75-100% altezza pianta (Fonte: Hussain, 1995).	82
Tabella 4.7 - Confronto tra il caso di studio e i modelli in termini di fasce climatiche.	94
Tabella 4.8 - Caratteristiche e regime annuo della temperatura e della piovosità dei diversi gruppi climatici.	95
Tabella 4.9 - Modelli utilizzabili per ciascuna delle sei colture prevalenti nel Lodigiano.	95

Tabella 4.10 - Confronto tra il caso di studio e i modelli in termini di calendari colturali.....	97
Tabella 4.11 - Valori assegnati ai tre parametri di pericolosità nell'analisi di sensitività.....	99
Tabella 4.12 - Parametri di pericolosità e di vulnerabilità da cui dipendono i danni alle diverse componenti elementari di un'azienda agricola.	108
Tabella 4.13 - Legame tra parametri di pericolosità e componenti elementari dell'azienda agricola.	110
Tabella 4.14 - Modello concettuale per la valutazione dei danni legati alle colture in atto in un'azienda agricola.	113
Tabella 4.15 - Itinerario agronomico del mais nel caso di lavorazione tradizionale del terreno.	118
Tabella 4.16 - Itinerario agronomico del mais nel caso di minima lavorazione del terreno..	118
Tabella 4.17 - Calendario colturale del mais nel caso di lavorazione tradizionale del terreno.	120
Tabella 4.18 - Calendario colturale del mais nel caso di minima lavorazione del terreno. ...	120
Tabella 4.19 - Bilancio economico di un'azienda maidicola in condizioni normali.....	123
Tabella 4.20 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di novembre (lavorazione tradizionale).....	124
Tabella 4.21 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di aprile (lavorazione tradizionale).....	125
Tabella 4.22 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di giugno (lavorazione tradizionale).....	126
Tabella 4.23 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di luglio (lavorazione tradizionale).....	128
Tabella 4.24 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di settembre (lavorazione tradizionale).....	129
Tabella 4.25 - Bilancio economico per i diversi scenari di pericolosità nel caso di minima lavorazione.	130

1 Introduzione

1.1 Alluvioni: rischio alluvionale e quadro normativo

Le alluvioni sono tra le manifestazioni più tipiche del dissesto idrogeologico. Secondo i dati EM-DAT, tra il 1995 e il 2015 le alluvioni hanno rappresentato il 43% di tutti disastri naturali verificatesi a livello mondiale. Tali eventi hanno provocato circa il 25% dei danni economici complessivi (US\$ 662 miliardi) e hanno coinvolto 2,3 miliardi di persone, corrispondente al 56% della popolazione mondiale colpita da disastri naturali legati al clima quali siccità, tempeste, uragani, temperature estreme e incendi. Il numero di alluvioni all'anno è salito ad una media di 171 nel periodo 2005-2014, rispetto alla media annuale di 127 nel decennio precedente. Oltre all'incremento della frequenza delle inondazioni, negli ultimi anni si è verificato un cambiamento nella natura degli eventi con un aumento delle cosiddette "flash floods", cioè piene violente caratterizzate da velocità elevate e dal trasporto di sedimenti (CRED & UNISDR, 2016). Anche in Italia il rischio alluvionale costituisce un problema di notevole rilevanza e diffusione. Facendo riferimento al rapporto ISPRA (2015), le aree a pericolosità idraulica in Italia costituiscono circa il 23% della superficie nazionale e si concentrano principalmente in Emilia-Romagna, Toscana, Veneto, Lombardia e Liguria; in termini demografici, la popolazione esposta a rischio alluvioni supera i 16 milioni di abitanti, costituendo all'incirca il 28,4% della popolazione italiana complessiva. Per quanto riguarda le perdite economiche, stime basate sull'analisi di cataloghi storici e stime preesistenti, come il catalogo AVI, indicano che tra il 1944 e il 2012 il danno complessivo prodotto da terremoti, frane e alluvioni in Italia abbia superato i 240 miliardi di euro. Le calamità idrologiche hanno contribuito per circa il 25%, corrispondente a 61,5 miliardi di euro, con una media di 0,9 miliardi l'anno (Guzzetti et al., 2013).

Le alluvioni sono fenomeni naturali legati alle condizioni meteorologiche, alla conformazione geologica-morfologica e alle caratteristiche idrografiche del territorio. Tuttavia, l'aumento della frequenza delle inondazioni è dovuto anche a cause antropiche: la progressiva urbanizzazione e la derivante impermeabilizzazione del terreno, che impediscono l'infiltrazione delle acque piovane nel sottosuolo, incrementando il ruscellamento superficiale, oppure la mancata pulizia e manutenzione dei corsi d'acqua, che favorisce l'accumulo dei detriti e della vegetazione ostacolando l'ordinario deflusso idrico. L'aumento della frequenza e dell'intensità delle alluvioni, nonché l'elevata densità di insediamenti abitativi a cui è correlata una concentrazione

di elementi esposti di elevato valore, sono le cause principali dell'incremento delle perdite economiche causate dalle inondazioni (Cellerino, 2004).

Il rischio alluvionale è l'impatto atteso sul territorio a seguito di un'inondazione. Nello specifico, la definizione di rischio di alluvioni può essere ricondotta a quella valida per tutte le calamità naturali, stabilita ufficialmente dalla Conferenza generale dell'UNESCO nel 1972 (Marotta e Zirilli, 2015), secondo cui il rischio R è una funzione di tre componenti:

$$R = f(H, E, V)$$

Dove:

- H = Pericolosità (Hazard): è la probabilità che un fenomeno di determinata intensità si verifichi in un certo intervallo di tempo e in una data area;
- E = Esposizione o Valore esposto: è il numero di unità, o "valore", di ognuno degli elementi a rischio presenti in una data area (persone, edifici, infrastrutture, attività economiche, patrimonio ambientale, beni culturali, ecc.);
- V = Vulnerabilità di un elemento esposto: è la sua propensione a subire danneggiamenti in conseguenza delle sollecitazioni indotte da un evento di una certa intensità; questo grado di perdita viene espresso in una scala compresa tra 0 (nessun danno) e 1 (perdita totale).

Il prodotto di vulnerabilità ed esposizione rappresenta il danno potenziale corrispondente ad un determinato scenario di pericolosità. Bisogna tenere presente che è impossibile azzerare il rischio, mentre è necessario cercare di garantire la salvaguardia dell'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni agli elementi esposti. La gestione e la mitigazione del rischio possono essere attuate sia per mezzo di interventi strutturali, ovvero opere idrauliche quali argini, bacini di laminazione, canali scolmatori, sia attraverso interventi non strutturali, che consistono in misure di previsione e prevenzione quali sistemi di monitoraggio e allertamento, piani di emergenza di protezione civile, norme di uso e trasformazione del suolo.

Negli Stati membri dell'Unione Europea il riferimento legislativo per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni è rappresentato dalla Direttiva 2007/60/CE, nota anche come "Direttiva Alluvioni", il cui scopo primario è "la riduzione delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali derivanti dagli eventi alluvionali". Risulta quindi evidente l'importanza della valutazione dei danni potenziali ("delle potenziali conseguenze negative") ai fini delle strategie di gestione e mitigazione del rischio.

In Italia tale direttiva europea è stata recepita tramite il D.Lgs. 49/210, nel quale viene fornita innanzitutto la definizione di alluvione, definita come “l’allagamento temporaneo, anche con trasporto ovvero mobilitazione di sedimenti anche ad alta densità, di aree che abitualmente non sono coperte d’acqua. Ciò include le inondazioni causate da laghi, fiumi, torrenti, eventualmente reti di drenaggio artificiale, ogni altro corpo idrico superficiale anche a regime temporaneo, naturale o artificiale, le inondazioni marine delle zone costiere ed esclude gli allagamenti causati da impianti fognari”.

La Direttiva Alluvioni istituisce un quadro metodologico per la valutazione e gestione del rischio alluvionale a livello comunitario, definendo una serie di fasi di implementazione, caratterizzate da scadenze prestabilite, che ha come punto di arrivo la redazione del piano di gestione del rischio di alluvioni. Le attività previste dalla Direttiva, svolte all’interno di un ciclo di gestione che si rinnova iterativamente ogni 6 anni, risultano suddivise nelle fasi seguenti:

1. valutazione preliminare del rischio di alluvioni ed individuazione delle zone a rischio potenziale di alluvioni;
2. elaborazione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni;
3. predisposizione dei piani di gestione del rischio di alluvioni.

Le autorità competenti devono eseguire in successione le suddette attività, a livello di distretto idrografico o unità di gestione, e presentare i risultati prodotti alla Commissione Europea entro tre mesi dalle scadenze prefissate per ogni stadio di implementazione.

In Italia il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dal d.lgs. n. 49 del 2010 per individuare e programmare le azioni volte a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni, in linea con quanto definito dalla Direttiva Europea. Esso deve essere predisposto dalle amministrazioni competenti per la difesa del suolo e la protezione civile in ciascun distretto idrografico, in coordinamento tra loro e con gli enti sovra regionali competenti (Autorità di Bacino, Regioni, Dipartimento Nazionale della Protezione Civile). Gli autori del PGRA hanno, inoltre, il compito di incoraggiare la partecipazione attiva di tutti i soggetti interessati all’elaborazione del piano stesso e coinvolgere il pubblico in generale, per garantire l’informazione dei cittadini riguardo al rischio a cui sono esposti.

1.2 Valutazione dei danni alluvionali

Uno degli obiettivi principali fissati dalla Direttiva Europea 2007/60/CE consiste nella redazione e nell'aggiornamento periodico di mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni da parte di tutti gli Stati membri. Le mappe del rischio, in particolare, devono indicare le potenziali conseguenze negative derivanti dagli eventi alluvionali sui diversi elementi esposti; nasce dunque l'esigenza da parte delle autorità competenti di disporre di adeguati modelli atti alla valutazione quantitativa dei potenziali danni alluvionali (Molinari et al., 2012).

Inoltre, i modelli di danno risultano indispensabili per le analisi costi-benefici, richieste sempre dalla Direttiva, al fine di valutare l'applicabilità e l'efficacia delle misure di riduzione del rischio e stabilire un ordine di priorità delle stesse. La valutazione del rischio, quindi del danno economico atteso sul territorio, è molto importante sia ex-ante (prima dell'evento) che ex-post (dopo l'evento). Nel primo caso la valutazione e la relativa mappatura del rischio aiutano le autorità competenti a definire le misure di mitigazione più idonee ed economicamente più efficienti sulla base di analisi costi-benefici e aiutano a programmare le strategie di gestione dell'emergenza, individuando diverse aree di intervento, con differente grado di rischio e quindi di priorità. La valutazione ex-post, invece, fornisce supporto alle amministrazioni e alle compagnie assicurative nella stima delle perdite monetarie causate dall'alluvione e quindi dei risarcimenti da versare ai soggetti danneggiati, aiuta a definire le priorità di intervento e ricostruzione nella fase di emergenza e dunque a capire dove indirizzare le risorse economiche al fine di tornare alle condizioni di normalità ante-evento.

Con il termine 'danno alluvionale' ci si riferisce a tutti i possibili impatti negativi di un'inondazione sugli elementi esposti (persone, infrastrutture pubbliche, patrimonio culturale e ambientale, attività economiche, produzione industriale, ecc.). Esistono diverse tipologie di danno alluvionale (Merz et al., 2010). La prima distinzione è quella tra i danni tangibili, che possono essere facilmente quantificati e quindi tradotti in termini monetari, e i danni intangibili, che non possono essere misurati e monetizzati, come per esempio la perdita di vite umane, le malattie e gli effetti psicologici dovuti al trauma, gli impatti sull'ecosistema o le perdite del patrimonio storico-culturale. I danni tangibili e intangibili possono essere ulteriormente distinti in diretti ed indiretti. I danni diretti sono causati dal contatto fisico con l'acqua di inondazione e comprendono: la perdita di vite umane, gli effetti sul patrimonio ambientale e culturale, i danni fisici ad edifici pubblici e privati e al loro contenuto, alle infrastrutture, ai terreni agricoli, alle colture e al bestiame. I danni indiretti sono le perdite risultanti dall'evento alluvionale non

per contatto diretto con l'acqua e si possono verificare anche al di fuori dell'area inondata e in tempi successivi alla data dell'evento: costi di gestione dell'emergenza, riduzione della produzione industriale, costi di ricollocazione di aziende, interruzione di attività economiche, maggiori costi di trasporto dovuti a danni alle infrastrutture, traumi.

Teoricamente, per una valutazione rigorosa ed esauriente dovrebbero essere tenuti in conto tutti i tipi di danno. Nella pratica, i modelli disponibili allo stato attuale considerano quasi sempre i danni diretti, spesso forniscono una stima approssimativa di quelli indiretti, mentre i danni intangibili non sono stimabili e quindi vengono trascurati o semplicemente menzionati, senza alcun tentativo di valutazione.

La scelta del metodo adeguato da impiegare per la stima del danno atteso non dipende solamente dalla tipologia dei danni che si intende analizzare, ma anche dalla dimensione dell'area di studio. Si possono distinguere tre classi di metodi in funzione della scala spaziale (Merz et al., 2010):

- metodi alla macro-scala: si applicano per la valutazione del danno atteso su aree estese, in genere unità amministrative quali comuni, regioni, nazioni;
- metodi alla meso-scala: si applicano per la stima del danno atteso su un'aggregazione di unità spaziali omogenee dal punto di vista, per esempio, dell'uso del suolo (aree residenziali o industriali); la dimensione dell'aggregazione spaziale può variare da 1 ha a 1 km²;
- metodi alla micro-scala: si applicano a livello locale per la stima del danno atteso sul singolo elemento esposto (un edificio, un'azienda agricola, ecc.).

Al diminuire della scala spaziale, aumenta il livello di dettaglio dell'analisi e di conseguenza il numero di informazioni e di dati richiesti in input dal modello.

Lo strumento tipicamente adottato, a livello internazionale, per la valutazione dell'impatto diretto e tangibile di un evento alluvionale sul valore esposto è rappresentato dalle curve di danno (Merz et al., 2010). Tali modelli forniscono una stima del danno atteso in funzione dei parametri rappresentativi della pericolosità dell'evento (es. altezza di allagamento, durata di inondazione, velocità della corrente, presenza di sedimenti) e delle caratteristiche di vulnerabilità dell'esposto (es. numero di piani di un edificio, materiale di costruzione, stadio di crescita di una coltura).

Le curve di danno possono essere costruite secondo due approcci distinti:

- curve empiriche: sono derivate dai dati di danno raccolti mediante indagini di campo eseguite posteriormente ad eventi alluvionali passati;
- curve sintetiche: sono sviluppate sulla base delle ipotesi e delle conoscenze di esperti in materia (“expert-based”).

Le funzioni di danno possono essere suddivise ulteriormente in due categorie a seconda del tipo di stima del danno:

- curve assolute: forniscono direttamente il valore monetario del danno atteso sull’esposto;
- curve relative: esprimono il danno come percentuale del valore esposto. Tali curve hanno il vantaggio di essere meno legate al contesto per cui sono state sviluppate, ma richiedono la conoscenza del valore economico dell’elemento esposto per una successiva stima monetaria del danno.

1.2.1 Valutazione dei danni alluvionali al settore agricolo

Nel corso del tempo l’uomo ha sempre cercato di contrastare i fenomeni alluvionali attraverso opere strutturali quali arginature, dighe e canali, trasformando così il paesaggio naturale e l’ordinario flusso dell’acqua. Se da un lato questi interventi hanno contribuito a ridurre significativamente il rischio alluvioni, dall’altro hanno comportato elevati oneri finanziari e, per di più, hanno trasferito il rischio a valle dell’opera a causa della maggiore portata e velocità dell’acqua che può scorrere in alveo.

Le politiche e le norme attuali, più attente alle tematiche dell’acqua, dell’agricoltura e dai cambiamenti climatici, stanno spingendo verso soluzioni di intervento sempre più sostenibili sia dal punto di vista economico che da quello ambientale. Una possibile soluzione “green” consiste nel ripristino delle pianure alluvionali e delle zone umide (Rapporto EEA, 2017). Diversi Stati europei, primo fra tutti i Paesi Bassi, si sono già mossi in questa direzione, optando per misure di gestione del rischio alluvionale che prevedono appunto il ripristino delle pianure alluvionali o la realizzazione di casse di espansione. Questi progetti interessano in particolar modo le zone ad uso agricolo, sia perché si è soliti ritenere che il danno potenziale alle aree agricole sia inferiore a quello nelle aree residenziali o industriali, sia perché le aree golenali dei corsi d’acqua vengono destinate frequentemente all’agricoltura; per esempio, in Italia il 56% delle pianure alluvionali è destinato proprio all’agricoltura arabile (ARPAT, 2016). Dunque il ripristino delle pianure alluvionali e la realizzazione dei bacini di ritenzione comportano che, per

proteggere le zone urbane, considerate più vulnerabili, si espongano le meno vulnerabili aree agricole ad un maggior rischio alluvioni.

L'agricoltura è considerata quindi un settore di minore importanza rispetto, per esempio, a quello residenziale o industriale poiché, a parità di superficie esposta, il danno totale è comparativamente inferiore. Per questa ragione, i danni alluvionali al settore agricolo sono generalmente trascurati o valutati attraverso approcci semplici e stime approssimative (Merz et al., 2010). Tuttavia, per le nuove azioni di gestione del rischio alluvionale che comprendono il ripristino delle aree golenali, la stima del danno potenziale all'agricoltura risulta indispensabile per valutare l'efficienza economica dei progetti. Nell'analisi costi-benefici di tali progetti, i potenziali danni al settore agricolo devono infatti essere inclusi tra i costi, mentre gli eventuali danni mancati alle aree che si intende proteggere (tipicamente urbane) rappresentano i benefici risultanti dalla realizzazione del progetto stesso.

Da queste considerazioni appare evidente la necessità di sviluppare ulteriori metodi per una stima più accurata dei danni al settore agricolo. Le motivazioni alla base di questa tesi sono legate proprio a tale carenza, soprattutto nel contesto italiano. Difatti, esaminando la letteratura disponibile per tale argomento, si nota come in Italia esistano modelli per la stima dei danni agli edifici nel settore residenziale (es. Dottori et al., 2016), ma non per i danni al settore agricolo.

In ambito europeo ed extra-europeo, invece, sono stati sviluppati diversi metodi per la valutazione dei danni da alluvioni all'agricoltura, in particolare per la stima dei danni diretti tangibili. I danni diretti in questo settore consistono in: perdita e riduzione della resa delle colture, perdita di capi del bestiame, perdita di scorte e prodotti alimentari (uova, latte) e danni al materiale vegetale perenne (vigneti, frutteti), al suolo, agli edifici agricoli, alle macchine, ai materiali immagazzinati e alle infrastrutture (strade, canali di irrigazione). Mentre, solitamente, non vengono presi in considerazione i danni indiretti, come l'aumento dei tempi di trasporto legato ai danneggiamenti alle infrastrutture oppure le perdite indotte alle aziende non direttamente coinvolte dall'inondazione per ritardo o interruzione dei rifornimenti da parte delle aziende danneggiate (es. sementi, attrezzature). La maggior parte degli studi di letteratura valuta unicamente il danno alle colture agricole. Diversi studi includono anche i danni ai fabbricati aziendali (magazzini, capanni, stalle, ecc.), tuttavia molti di questi non utilizzano delle funzioni di danno specifiche per gli edifici commerciali, ma si limitano ad applicare quelle sviluppate per gli edifici residenziali. I danni a carico delle altre componenti costituenti l'impresa agricola

(bestiame, suolo, macchine, scorte e prodotti immagazzinati, materiale vegetale perenne) trovano, in generale, una scarsa considerazione nei modelli di danno esistenti attualmente (Brémond et al., 2013). I parametri di pericolosità che possono essere utilizzati per costruire le curve di danno per l'agricoltura sono i seguenti: stagionalità dell'evento alluvionale, altezza di allagamento, durata dell'inondazione, velocità della corrente, trasporto di materiale solido, inquinamento e salinità dell'acqua (nel caso di inondazioni costiere). La stagionalità è uno dei parametri di pericolosità fondamentali per la stima del danno alle colture perché, a seconda del periodo dell'anno in cui si verifica l'alluvione, cambia lo stadio vegetativo della pianta e quindi la sua vulnerabilità. Infatti, tra i parametri di vulnerabilità da considerare per valutare il danno alle colture agricole, rientra la tipologia di coltura e il suo ciclo biologico, indispensabili per conoscere lo stadio vegetativo raggiunto da una determinata coltura al momento dell'evento. L'altezza e la durata di sommersione sono gli altri due parametri di pericolosità principali nella valutazione dei danni diretti all'agricoltura; mentre la velocità diventa un fattore di estrema importanza nel caso delle "flash flood". Bisognerebbe inoltre tenere in conto l'eventuale contaminazione del terreno da parte di possibili inquinanti trasportati dall'acqua. A causa della carenza di dati utili alla comprensione dei meccanismi di danneggiamento, la maggioranza degli studi utilizza una combinazione di soli due o tre parametri di pericolosità per sviluppare le funzioni di danno per le colture, generalmente la stagionalità combinata con l'altezza o la durata dell'inondazione (Brémond et al., 2013). Ciò comporta un'elevata incertezza di stima, dal momento che il numero esiguo di parametri utilizzati non può descrivere l'effettiva variabilità del danno atteso. Un altro aspetto da non trascurare è il fatto che le curve dei diversi modelli siano state derivate per specifiche aree geografiche; di conseguenza, una determinata curva di danno può essere applicata solamente per regioni simili al contesto per cui sono state sviluppate, in termini di tipologia degli eventi alluvionali e di caratteristiche del territorio esposto. Pertanto, è importante verificare la trasferibilità dei modelli da un contesto all'altro, per non aumentare il livello di incertezza nella stima del danno.

Dall'analisi della bibliografia emerge come, nonostante un modello standard di riferimento non sia attuabile a causa della variabilità degli ambiti territoriali, non esistano neppure delle linee guida generali da seguire a livello internazionale per la valutazione dei danni alluvionali al settore agricolo e ciò implica un elevato livello di soggettività nei risultati ottenuti (Vozinaki et al., 2015).

1.3 Obiettivo della tesi

L'obiettivo del presente lavoro di tesi consiste nello sviluppo di un modello per la valutazione del danno alluvionale al settore agricolo (AGRIDE: AGRiculture Damage Estimation). A supporto, è stato scelto come caso studio l'evento alluvionale occorso nel novembre 2002 nella provincia di Lodi.

In primo luogo, è stata analizzata l'alluvione del 2002, in modo da inquadrare la tipologia dell'evento ed esaminarne le cause e gli impatti conseguenti sul territorio. In particolare, sono stati esaminati i danni a carico del settore agricolo per le aziende agricole lodigiane. Successivamente è stata eseguita la caratterizzazione del valore esposto, tramite uno studio sul sistema agro-alimentare e sull'uso agricolo del Lodigiano, al fine di individuare le tipologie colturali prevalenti per le quali derivare le funzioni di danno.

Si è potuto così procedere alla derivazione del modello di danno per il settore agricolo, scopo ultimo del presente lavoro. Tale procedura è stata suddivisa in tre step, corrispondenti alle tre modalità possibili per lo sviluppo di un modello di danno: derivazione di un modello empirico, trasferimento/adattamento delle curve di danno esistenti in letteratura, derivazione di un modello sintetico. Infatti, l'idea iniziale di costruire un modello di tipo empirico è stata scartata per l'assenza di dati di danno alle colture relativi all'alluvione del 2002. Si è passati quindi al tentativo di trasferire le curve di danno disponibili in letteratura all'area di studio in oggetto. Tuttavia, attraverso una serie di analisi, si è giunti alla conclusione di non poter applicare i modelli di danno esistenti ad un contesto territoriale differente da quello per cui sono stati realizzati. Si è giunti dunque alla scelta finale di definire un nuovo modello attraverso un approccio sintetico, traendo vantaggio di tutte le informazioni desunte dallo studio dei modelli esistenti.

2 Caso studio: Alluvione del novembre 2002 nel Lodigiano

2.1 Inquadramento territoriale della provincia di Lodi

La provincia lombarda di Lodi conta 229.338 abitanti (01/01/2017, ISTAT) suddivisi in 61 comuni. Situata nella parte centro meridionale della regione, confina a nord con la provincia di Milano, ad est con la provincia di Cremona, a sud con l'Emilia-Romagna (provincia di Piacenza) e ad ovest con la provincia di Pavia.

Il territorio lodigiano si estende nella pianura padana per più di 780 km² ed è quasi interamente delimitato da confini naturali: dalla riva destra dell'Adda ad est, dalla riva sinistra del Lambro ad ovest, dalla sponda sinistra del Po a sud; a nord invece il limite amministrativo è perlopiù convenzionale, tranne in alcuni tratti in cui il torrente Molgora e il canale Muzza segnano indicativamente il confine con la provincia di Milano. I corsi d'acqua, naturali e artificiali, rappresentano proprio una delle caratteristiche peculiari del paesaggio.

Il Lodigiano ricade nella fascia nota come "bassa pianura", composta prevalentemente da limo e argilla e quindi piuttosto impermeabile, dove le acque ristagnano creando facilmente delle paludi. Per secoli questo territorio è stato terra di acquitrini, ma grazie alle opere di bonifica e di ingegneria idraulica è diventata oggi una delle regioni più fertili d'Europa.

Il Lodigiano è infatti uno dei principali centri per l'agricoltura e per l'allevamento a livello nazionale e un polo rilevante nel settore zootecnico a livello europeo. A Lodi ha sede il Parco Tecnologico Padano, un centro di eccellenza italiano che opera nei settori dell'agroalimentare, della bioeconomia e delle scienze della vita promuovendo progetti innovativi e supportando le imprese.

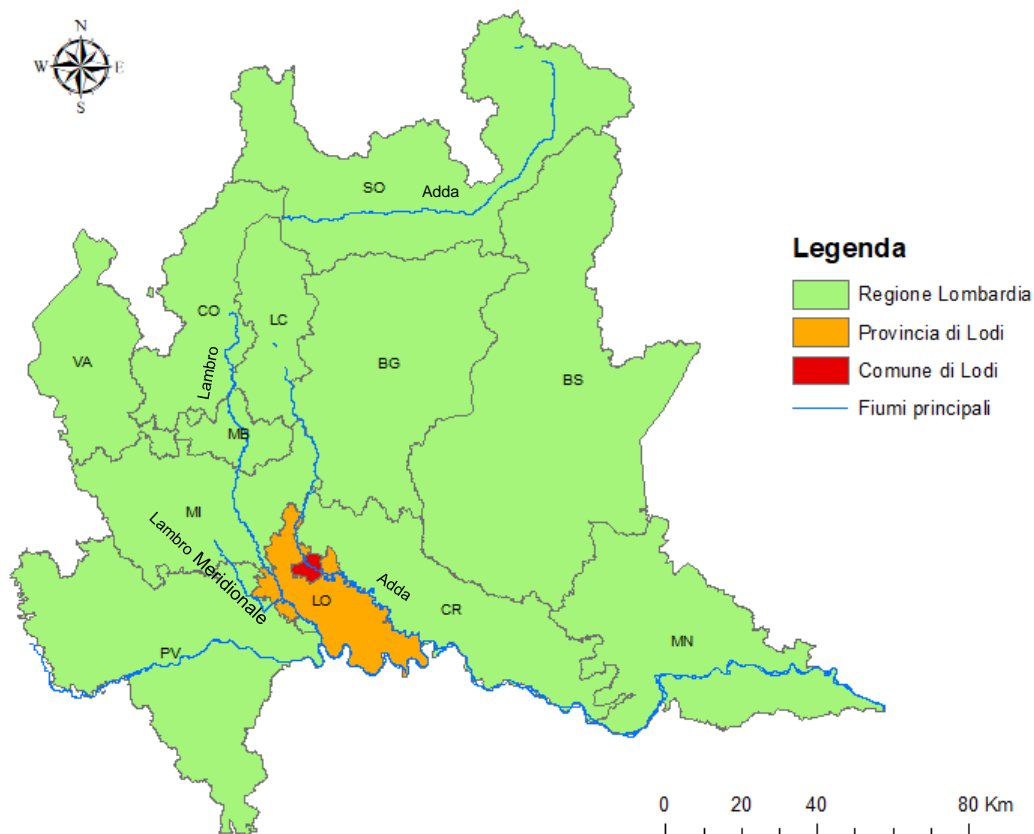


Figura 2.1 - Inquadramento territoriale della Provincia di Lodi.

2.2 Evento alluvionale del novembre 2002

Durante il mese di novembre 2002 intense precipitazioni investirono tutto l'arco alpino e diverse regioni prealpine e della pianura padana, in particolare la Lombardia e il Piemonte. Si verificarono due perturbazioni principali, rispettivamente tra il 14 e il 17 novembre e tra il 25 e il 29 novembre. Dal punto di vista meteorologico la prima perturbazione fu originata da una profonda area di bassa pressione, con minimo posizionato a nord-ovest dell'Irlanda, che si sviluppò tra il 10 e il 12 novembre e che dall'Atlantico si spostò progressivamente verso l'Italia. Il movimento verso Est del centro depressionario favorì la rotazione delle correnti da sud-ovest, che apportarono un notevole flusso di umidità a tutte le quote e determinarono così le prime piogge. Nei giorni seguenti la circolazione depressionaria, ostacolata dalla permanenza di una cellula anticiclonica posizionata sull'Europa orientale, continuò a richiamare aria calda e umida dal Mediterraneo andando ad intensificare le precipitazioni. Nei giorni 17-23 novembre ci fu una graduale diminuzione delle piogge legata al progressivo esaurimento della depressione originaria. Il 24 sopraggiunse una nuova depressione atlantica che, analogamente alla

precedente, si spostò verso il Mediterraneo dando luogo ad una seconda perturbazione che si protrasse sino a fine mese.

Le copiose e perduranti piogge innescarono fenomeni franosi nella fascia alpina ed esondazioni di diversi corsi d'acqua in pianura dovute principalmente a rotture o sormonti arginali. Inoltre, l'ingente massa d'acqua precipitata causò la tracimazione del lago di Como e del lago Maggiore.

Per quanto riguarda la provincia di Lodi, nei giorni 23-27 novembre gravi inondazioni interessarono alcune zone nel bacino del fiume Lambro e vaste aree nel bacino del fiume Adda. In quest'ultimo bacino si registrarono livelli idrometrici record per il lago di Como e portate al colmo di piena rilevanti per il fiume Brembo e per l'Adda stesso. Più precisamente, le forti precipitazioni durante la prima perturbazione (257,0 mm registrati al pluviometro di Fuentes e 355,8 mm al pluviometro di Valtorta) incrementarono notevolmente gli afflussi al lago di Como innalzandone il livello. Le piogge proseguirono nei giorni successivi contribuendo alla saturazione del suolo nei bacini idrografici e all'aumento dei deflussi in tutti i corsi d'acqua. Quando sopraggiunse la seconda perturbazione la capacità di infiltrazione e di invaso dei bacini era fortemente ridotta. Le precipitazioni di quest'ultimo periodo furono complessivamente meno intense (142,0 mm registrati al pluviometro di Fuentes e 238,8 mm al pluviometro di Valtorta tra il 25 e 26 novembre), ma caratterizzate da un picco violento e concentrato. Questo evento provocò un picco di portata del Brembo che si sovrappose all'onda di piena in uscita dal lago di Como determinando così la condizione più critica per il tratto lodigiano dell'Adda (Studio Paoletti Ingegneri Associati, 2005, aggiornato nel 2010).

Le prime valutazioni ed elaborazioni dell'evento furono condotte dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nel 2003 (AdBPo, 2003). Gli idrogrammi registrati nelle stazioni idrometriche fornirono una prima stima delle portate al colmo lungo le aste fluviali principali. Il confronto delle portate misurate con le portate al colmo per assegnato tempo di ritorno T_R , riportate nel PAI, permise di avere una prima indicazione sull'ordine di grandezza dell'evento. Alla stazione di Ponte Briolo lungo l'asta del Brembo si registrò una portata massima di $1130 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T_R = 50 - 100$ anni), mentre per l'Adda si misurò un massimo valore di colmo pari a $950 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T_R = 20 - 50$ anni) alla stazione di Lavello, ossia all'uscita del lago di Como. Il tratto a valle di Lavello fino alla confluenza del Brembo fu attraversato da un'onda di piena di uguale portata, assumendo trascurabili gli effetti di laminazione lungo l'alveo e gli apporti idrici del reticolo minore. Più complicato fu lo studio della piena nel tratto di Adda a valle della confluenza a

causa della mancanza di stazioni di misura. La prima stazione disponibile infatti era quella di Lodi, posta 30 km a valle della confluenza, dove si registrò un colmo di $1575 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T_R = 20 - 50$ anni). Si decise quindi di ricorrere ad un modello idraulico in moto non stazionario per meglio interpretare la dinamica del fenomeno di piena e per determinare la combinazione degli idrogrammi di piena dell'Adda e del Brembo a valle della loro confluenza. Dalle simulazioni del modello numerico risultò una portata di picco a Ponte Briolo, sommata con il contributo dell'Adda, pari a circa $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T_R = 100$ anni).

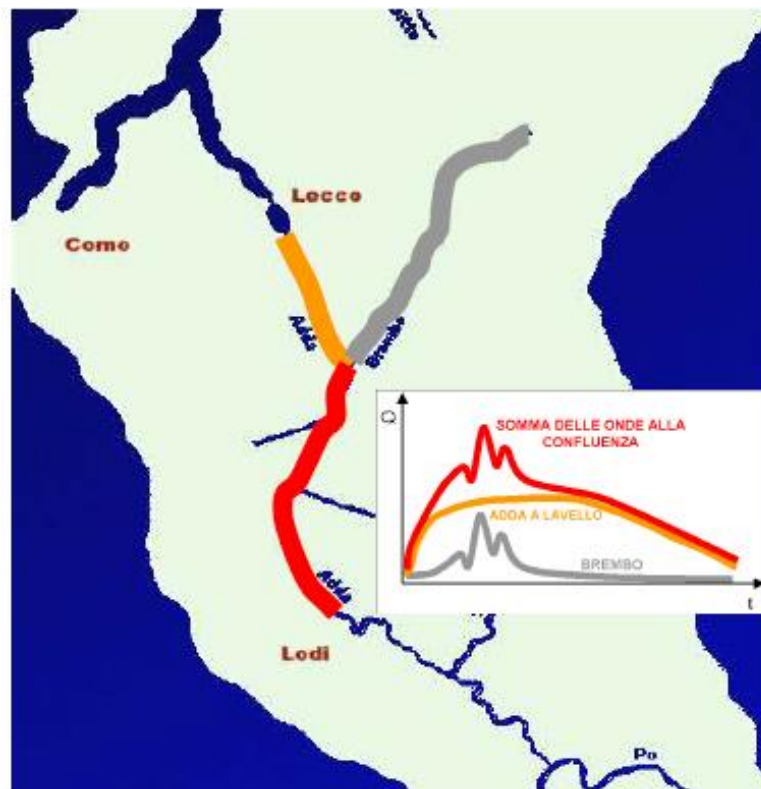


Figura 2.2 - Onda di piena dell'Adda a valle della confluenza con il Brembo (Fonte: Studio Paoletti Ingegneri Associati, 2005, aggiornato nel 2010).

2.2.1 Quadro generale dello stato di calamità in Lombardia

L'evento alluvionale del novembre 2002 comportò ingenti danni alle opere pubbliche, alle infrastrutture e alle opere di difesa del suolo per un totale di circa 640 milioni di euro, mentre una prima valutazione economica stimò danni alle strutture private per circa 115 milioni di euro (ARPA Lombardia, 2003). Intere frazioni di paesi furono evacuate e alcune di queste ritornarono ad essere agibili soltanto dopo qualche mese dall'evento provocando pesanti ricadute, anche di ordine psicologico, sulla popolazione coinvolta.

Nello specifico, le eccezionali portate di piena e la successiva esondazione delle aree golenali provocarono: erosione delle sponde fluviali, rottura e asportazione di tratti di arginature, guasti alle opere di presa dei canali di derivazione e ai manufatti idraulici, dissesti alle infrastrutture viarie, asportazione della coltre vegetale, deposito di detriti alluvionali (limo, sabbia, ghiaia, ecc.).

Anche il settore agricolo dovette affrontare le gravi conseguenze di tale evento. L'alluvione interessò una superficie agricola utilizzata di quasi 30.000 ettari arrecando danni alle strutture aziendali e interaziendali, alle opere di bonifica e alla rete idraulico-irrigua. Le aziende agricole riportarono ingenti perdite quali: allagamento dei fabbricati rurali, distruzione di alcune strutture, perdita di scorte vive (bestiame) e scorte morte (sementi, foraggi, concimi, paglia, macchine, attrezzi,...), danneggiamenti ai terreni agricoli e alle colture in atto. Diversi appezzamenti, infatti, rimasero completamente sommersi per molto tempo riscontrando gravi danni alle colture seminate, in alcuni casi irreversibili, con ripercussioni sui raccolti della stagione successiva.

Secondo quanto scritto negli allegati alla delibera della Giunta della Regione Lombardia (Deliberazione n. 12001 del 07/02/2003), l'entità dei danni alle produzioni vegetali in atto è stata calcolata facendo un confronto con la produzione lorda vendibile (PLV) ordinaria del triennio precedente. La PLV è il ricavo della produzione al lordo degli autoconsumi (produzioni consumate dall'imprenditore e dalla sua famiglia) e al netto dei reimpieghi (prodotti reimpiegati in azienda nei cicli produttivi successivi, e.g. il letame usato come fertilizzante o il fieno usato per nutrire gli animali). Da questo confronto è emerso un danno alle produzioni inferiore al 35% in tutte le aree alluvionate. Al contrario, il danno alle strutture aziendali, ai terreni agricoli e alle scorte vive e morte è risultato essere superiore al 35%. La tabella sottostante mostra la percentuale di danno accertato sulla base della PLV (inclusa la PLV zootecnica) per le diverse province.

Provincia	Danno [%]
Bergamo	41
Como	111
Cremona	37
Lecco	101
Lodi	36
Mantova	38
Sondrio	56
Varese	58

Tabella 2.1 - Percentuale di danno accertato alle strutture aziendali e alle scorte sulla base della PLV per ogni provincia (Fonte: Giunta Regione Lombardia, 2003).

Complessivamente il danno alle strutture aziendali e alle scorte ammonta a circa 36 M €. Invece, l'entità dei danni alle strutture interaziendali (infrastrutture agricole, opere di approvvigionamento idrico, reti idrauliche, impianti irrigui) ammonta a 34 M €, a cui si sommano i 35,5 M € di danno alle opere pubbliche di bonifica a servizio dell'agricoltura per un totale complessivo di 69,5 M € (Giunta Regione Lombardia, 2003). In Tabella 2.2 si riportano i danni stimati alle strutture aziendali, alle strutture interaziendali e alle opere di bonifica con la suddivisione per provincia. La provincia di Sondrio risulta essere la provincia lombarda più colpita in termini economici, seguita da quelle di Mantova, Lodi, Bergamo e Pavia.

Province	Strutture aziendali [€]	Strutture interaziendali [€]	Opere di bonifica [€]	Totale [€]
Bergamo	158.128,00	6.138.300,00	1.358.500,00	7.654.928,00
Brescia	0,00	3.226.500,00	3.225.000,00	6.451.500,00
Como	500.000,00	3.879.827,00	250.000,00	4.629.827,00
Cremona	3.310.275,00	520.760,00	1.965.000,00	5.796.035,00
Lecco	609.700,00	243.619,00	0,00	853.319,00
Lodi	6.654.731,00	1.071.000,00	440.000,00	8.165.731,00
Mantova	3.900.000,00	1.000.000,00	3.700.000,00	8.600.000,00
Milano	0,00	0,00	5.391.000,00	5.391.000,00
Pavia	0,00	5.842.000,00	1.252.000,00	7.094.000,00
Sondrio	20.000.000,00	12.133.000,00	17.877.000,00	50.010.000,00
Varese	420.000,00	0,00	0,00	420.000,00
Totale	35.552.834,00	34.055.006,00	35.458.500,00	105.066.340,00

Tabella 2.2 - Entità stimata dei danni nelle province lombarde (Fonte: Giunta Regione Lombardia, 2003).

Per avere un quadro economico completo delle conseguenze dell'evento, si riportano infine i danni relativi unicamente alle strutture dei privati e le somme riconosciute a titolo di risarcimento ai soggetti interessati per le diverse province.

Province	Importi ammessi a contributo [€]	Importi assegnati ai privati [€]
Bergamo	90.695,24	56.231,05
Brescia	0,00	0,00
Como	0,00	0,00
Cremona	0,00	0,00
Lecco	226.843,70	112.514,48
Lodi	1.357.721,73	841.787,47
Mantova	629.344,79	390.193,77
Milano	0,00	0,00
Pavia	0,00	0,00
Sondrio	4.880.000,00	2.668.920,49
Varese	115.000,00	71.300,00
Totale	7.299.605,46	4.140.947,26

Tabella 2.3 - Danni alle strutture di privati (Fonte: Giunta Regione Lombardia, 2003).

2.2.2 Entità dei danni in provincia di Lodi e alle relative aziende agricole

Il territorio della provincia di Lodi fu interessato dagli eventi alluvionali del novembre 2002 in modo diverso e con intensità differente nelle varie zone. Nel Lodigiano le precipitazioni si concentrarono nella seconda e nella terza decade del mese: dei 203 mm di pioggia registrati, 166 mm caddero nell'ultima decade. La prima conseguenza fu l'esonazione del fiume Adda il 26 e 27 novembre. Il Po fu invece caratterizzato da un deflusso di morbida a partire dalla settimana dell'11 novembre raggiungendo il massimo deflusso tra il 27 e il 28 novembre, con un livello massimo a quota 7,15 m misurato all'idrometro di Piacenza. In vista di una probabile tracimazione, il Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana decise di rompere gli argini del Po in modo da limitare i danni. Tale decisione comportò l'inondazione delle zone golenali ad esso sottese, che rimasero sommerse per quasi un mese, e causò danni alla rete idraulico-irrigua e al sistema di bonifica di alcune località. I danni maggiori si riscontrarono però nelle zone inondate dall'Adda, che comprendevano pressappoco 3.600 ha di superficie agricola utilizzata (SAU). L'esonazione provocò il deposito di materiali vari (detriti, terreni vegetali) ed arrecò danni alle aziende agricole, ad alcune strade interpoderali, alle strutture del canale Pietro Vacchelli nel comune di Merlino, a manufatti idraulici, agli argini dei canali di irrigazione.

Relativamente al settore agricolo si può dire che i danni alle colture furono complessivamente modesti, se non addirittura assenti, per via della stagione in cui si verificò l'evento. I danneggiamenti alle strutture e la perdita delle scorte, delle attrezzature e del bestiame rappresentarono i danni di maggior peso a carico delle aziende agricole alluvionate.

L'entità dei danni alle sole strutture aziendali ammonta a circa 6,7 M €, corrispondente al 36% della produzione lorda vendibile (PLV) generale stimata in oltre 18,6 M €.

In virtù della Legge 185/92 sui danni da calamità naturali e del Decreto del Ministero delle politiche agricole che riconosceva il carattere di eccezionalità all'evento calamitoso del novembre 2002, 47 aziende agricole lodigiane presentarono domanda di contributo. Tra le 47 domande presentate, solamente 16 furono accolte e 2,80 M € fu l'importo considerato spesa ammissibile a sostegno pubblico, a fronte dei 3,32 M € di danni dichiarati per strutture e scorte. Inoltre, una norma dispositiva imponeva che il contributo massimo riconoscibile non superasse l'80% della spesa ammessa con un tetto massimo pari a 150.000 € per ogni azienda. Di conseguenza, per l'intera provincia di Lodi, fu definito un contributo massimo ammissibile di circa 1,36 M €, ovvero poco più del 48% dei 2,80 M € riconosciuti come spese sostenibili con aiuto pubblico. I 16 beneficiari furono poi ulteriormente penalizzati quando la regione Lombardia dispose, tramite decreto, che le risorse disponibili per le aziende agricole danneggiate venissero ripartite tra le province di Bergamo, Lecco, Lodi, Mantova, Sondrio, Varese (decreto del Dirigente dell'Unità Organizzativa n. 10193 del 30/06/2005). In definitiva, alla provincia di Lodi fu assegnato un budget di circa 0,8 M €, pari al 62% dei contributi computati per 1,36 M € (Agri Lodi, 2005).

È stata fatta quindi un'analisi più dettagliata sulle 16 imprese agricole ammesse ad indennizzo dei danni causati dall'alluvione del novembre 2002. Nel seguente elaborato le aziende vengono identificate tramite lettere (A-R) al fine di tutelare la privacy delle parti lese. Le aziende si collocano su un territorio che comprende otto comuni: Abbadia Cerreto (H, R), Bertonico (B, I, N, O), Camairago (A), Cavenago d'Adda (C, P, Q), Comazzo (D), Corte Palasio (M), Lodi (E, F, G, L), Turano Lodigiano (C). La Figura 2.3 mostra la mappatura delle aree allagate in seguito all'esondazione del fiume Adda e gli otto comuni appena elencati. Dalla mappa si evince come tutti i comuni in cui sono situate le aziende risarcite siano stati effettivamente interessati dall'evento alluvionale.

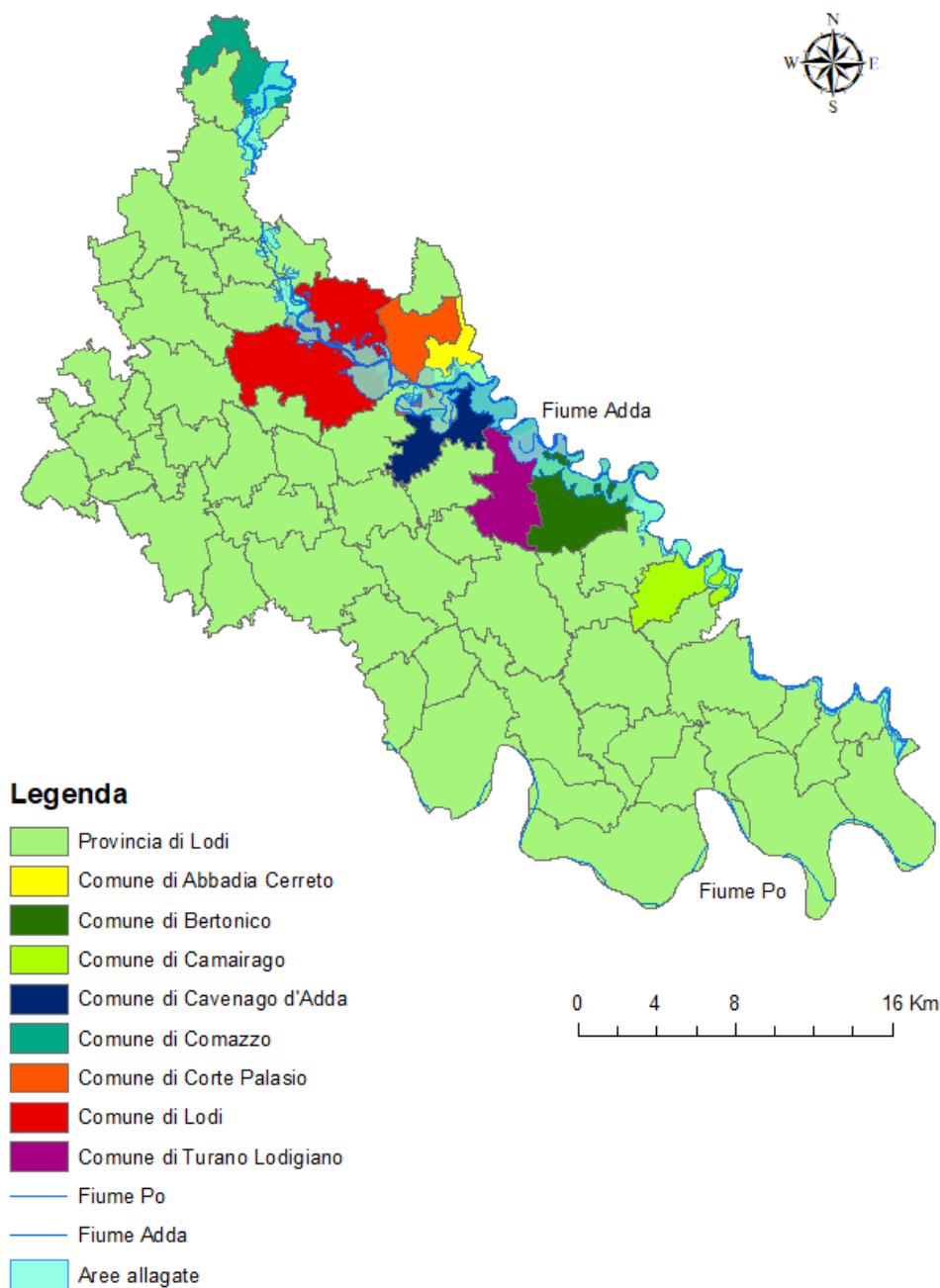


Figura 2.3 - Mappa delle aree allagate e dei comuni in cui sono situate le aziende agricole risarcite.

Delle 16 aziende a cui è stato riconosciuto il risarcimento, erano disponibili 14 verbali di accertamento definitivo. I verbali contenevano i danni dichiarati dalle aziende e la loro relativa descrizione, mentre non presentavano dati più approfonditi come l'altezza raggiunta dall'acqua, la velocità di corrente o informazioni sullo stato delle aziende. La Tabella 2.4 raccoglie l'importo e la descrizione dei danni dichiarati dalle 14 aziende in esame. Complessivamente il danno dichiarato dalle 14 imprese ammonta a 2,3 M €.

I danni descritti nei verbali sono stati suddivisi per tipologia in Tabella 2.5 allo scopo di identificare i danni più diffusi per le aziende. Le tipologie di danno più frequenti risultano essere le seguenti: danni ai terreni agricoli, danni alle opere di difesa, deposito di materiali trasportati dalla corrente, perdita di scorte. Da quanto emerge da una analisi della normativa relativa alla compensazione dei danni verificatesi, è possibile che la voce “scorte” si riferisca sia a scorte vive che morte e che quindi la perdita relativa agli allevamenti sia più ingente rispetto a quanto indicato. Un altro aspetto importante da sottolineare è che tra le tipologie di danno non figurano i danni diretti alle colture. Da informazioni ricevute dalla Coldiretti siamo a conoscenza del fatto che, al momento dell’alluvione, il mais e la soia erano già stati raccolti mentre i cereali e i prati erano appena stati seminati e quindi erano ancora allo stadio di germogliazione; nonostante i germogli siano andati interamente persi, è stato possibile riseminarli e limitare così i danni. Questo fatto dimostra l’importanza della data dell’evento e della stagionalità delle colture nella valutazione dei danni alluvionali all’agricoltura.

Aziende agricole	Importo danni dichiarati [€]	Descrizione danni
A	362.819,32	Fabbricati aziendali e impiantistica annessa; sistemazione terreni e rifacimento argine; annegamento di 2000 suinetti, 4838 suini lattoni e 4 scrofe gestanti; perdita di alimenti zootecnici (grano da macina e mais)
B	141.324,94	Sgombero materiali, ripristino coltivabilità dei terreni, ripristino opere di difesa, pioppi
C	311.962,09	Terreni rivieraschi asportati, sistemazione terreni, argini e strade poderali, sistemazioni recinzioni e impianti ittici, pioppi, pesci, mangiatoie per pesci
D	517.488,53	Sgombero materiali, ripristino coltivabilità dei terreni, ripristino viabilità interna, scorte
E	14.872,11	Ripristino coltivabilità dei terreni e ripristino rogge
F	43.054,23	Sgombero materiali, ripristino coltivabilità dei terreni, sistemazione argini, locali scuderia, pulizia sedimenti, scorte
G	31.706,00	Sistemazione terreni, pulizia boschi e terreni, sistemazione ponte canale
H	75.233,93	Sistemazione di colonne portanti della cascina a seguito di allagamento, fossa liquami, argine e protezione cascina, sponde di protezione ponte di accesso alla cascina, muro di cinta cascina, terreni; ripristino aia e strada; acquisto mangimi suini, fieno, rifacimento motori, impianto elettrico, impianto frenante, sostituzione pulivapor, n. 12 suinetti
I	271.491,43	Danneggiamento ponte canale, argini dei canali, deposito dei detriti nei canali e sui campi, perdita scrofe e altri capi suini, perdita di mais da pastone
L	130.111,29	Sgombero materiali, ripristino coltivabilità dei terreni, ripristino opere di difesa, scorte e ripristino danni macchinari
M	107.699,04	Sgombero materiali, ripristino coltivabilità dei terreni, ripristino opere di difesa, scorte varie
N	12.518,00	Sistemazione strade poderali, ripristino rete idrica e di scolo, ripristino centro aziendale: pavimentazione, rete elettrica, pareti
O	102.374,62	Sgombero materiali, ripristino coltivabilità dei terreni, ripristino opere di difesa, perdita scorte, sostituzione motore cancello elettrico
P	209.400,99	Sgombero materiali, ripristino coltivabilità dei terreni, ripristino opere di difesa, spese tecniche, scorte
TOTALE	2.332.056,52	

Tabella 2.4 - Mappa delle aree allagate e dei comuni in cui sono situate le aziende agricole risarcite.

Tipologia di danno	Frequenza percentuale [%]
fabbricati aziendali	7,14
strade poderali	7,14
pesce e mangiatoie per pesci	7,14
sistemazione impianti ittici	7,14
ripristino canale artificiale	7,14
sistemazione colonne portanti cascina	7,14
ripristino rete idrica	7,14
ripristino rete elettrica	7,14
ripristino pavimentazione	7,14
sistemazione pareti	7,14
pioppi	14,29
recinzioni	14,29
danni ai macchinari	14,29
impiantistica	21,43
perdita bestiame	21,43
perdita alimenti zootecnici	28,57
ripristino viabilità	28,57
perdita scorte	42,86
sgombero materiali	71,43
ripristino opere di difesa	78,57
ripristino terreni	85,71

Tabella 2.5 - Tipologia dei danni subiti dalle aziende agricole.

Per caratterizzare lo stato delle imprese agricole antecedente l'evento alluvionale, sono stati esaminati i loro fascicoli aziendali consultabili sul portale SIARL (Sistema Informativo Agricoltura Regione Lombardia). È stato possibile caratterizzare lo stato di 8 delle 16 aziende al 01/11/2002. In Tabella 2.6 sono riassunte le colture presenti in ogni azienda e le corrispondenti superfici e percentuali calcolate rispetto alla superficie utilizzata totale.

Questi dati hanno permesso di individuare la distribuzione delle colture ed identificare quelle prevalenti. Il grafico in Figura 2.4 mostra come il granturco (mais) sia di gran lunga la coltura principale, ricoprendo più del 70% delle superfici agricole analizzate. Una buona porzione di terreno è occupata dagli alberi da bosco, mentre gli altri utilizzi hanno una superficie percentuale inferiore al 5% e si tratta essenzialmente di colture foraggere connesse all'alimentazione zootecnica.

Azienda	Colture	Sup. utilizzo [m ²]	Sup. utilizzata totale [m ²]	%
A	granturco (mais)	558.850,00	558.850,00	100,00
Camairago (LO)				
C	granturco (mais)	472.200,00	666.900,00	70,81
Cavenago d'Adda(LO)	alberi da bosco	186.300,00		27,94
	prato pascolo misto	8.400,00		1,26
Turano Lodigiano(LO)	granturco (mais)	89.600,00	273.000,00	32,82
	prato pascolo misto	26.300,00		9,63
	alberi da bosco	157.100,00		57,55
E	prato pascolo misto	89.000,00	283.400,00	31,40
Lodi(LO)	granturco (mais)	154.300,00		54,45
	riso lungo di tipo a	40.100,00		14,15
F	erbaio misto	13.850,00	102.375,00	13,53
Lodi (LO)	alberi da bosco	1.820,00		1,78
	granturco (mais)	85.305,00		83,33
	prato pascolo misto	1.400,00		1,37
G	granturco (mais)	177.900,00	177.900,00	100,00
Lodi (LO)				
I	granturco (mais)	504.400,00	504.400,00	100,00
Bertonico (LO)				
L	granturco (mais)	284.600,00	532.100,00	53,49
Lodi (LO)	alberi da bosco	137.900,00		25,92
	erba medica da foraggio	92.300,00		17,35
	prato pascolo misto	17.300,00		3,25
N	soia e fave	59.200,00	77.100,00	76,78
Bertonico (LO)	granturco (mais)	17.900,00		23,22

Tabella 2.6 - Terreni delle aziende agricole al 01/11/2002.

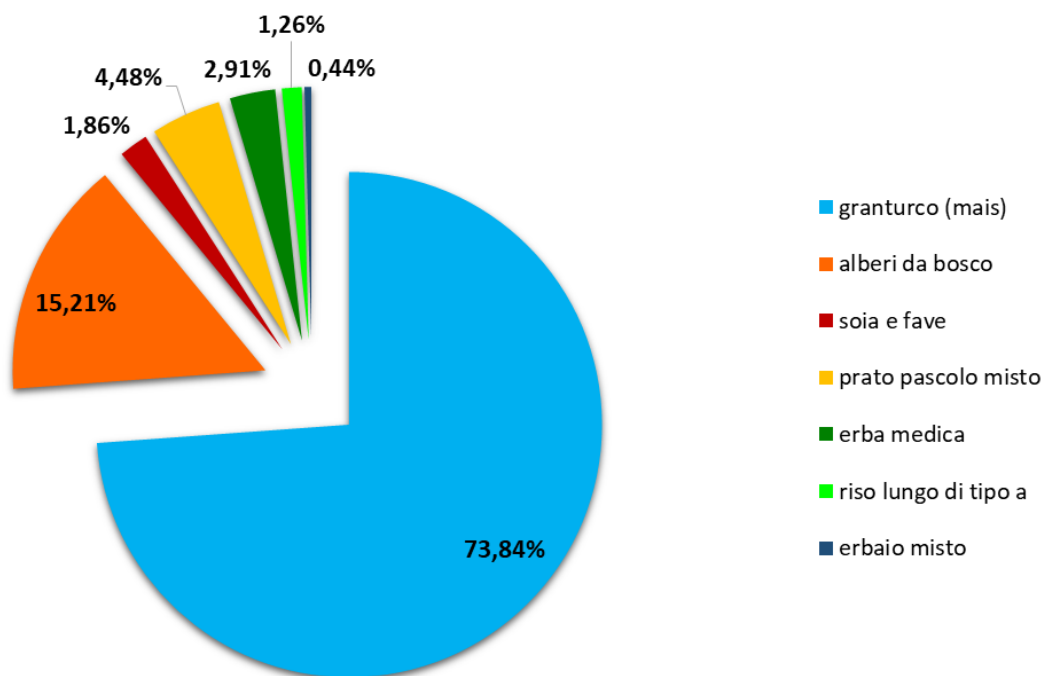


Figura 2.4 - Distribuzione delle colture nelle aziende agricole al 01/11/2002.

In Tabella 2.7 sono riportati i pochi dati relativi agli allevamenti, disponibili soltanto per 3 aziende. La sigla UBA indica le unità di bestiame adulto e serve per esprimere sinteticamente la consistenza di un allevamento.

Azienda agricola	Tot. capi	UBA	Tipo allevamento
A Camairago (LO)	1090		suini
D Comazzo (LO)	320	245	bovini
H Abbadio Cerreto	21		suini

Tabella 2.7 - Allevamenti delle aziende agricole al 01/11/2002.

Successivamente è stato analizzato lo stato attuale delle aziende agricole con lo scopo di individuare la distribuzione degli utilizzi e le colture prevalenti odierne e capire se gli agricoltori abbiano scelto di apportare delle modifiche a seguito dell'alluvione del 2002.

I dati necessari per questo studio sono stati scaricati da Sis.Co., il nuovo portale di Regione Lombardia dedicato alle imprese agricole. Sul portale erano disponibili i report di 10 delle 16 aziende lodigiane indennizzate. Tali report contenevano i dati anagrafici e amministrativi delle aziende e i dati relativi alle colture attualmente coltivate.

Per poter fare un confronto con i terreni agricoli coltivati nel 2002, prima dell'evento, si è scelto di utilizzare i dati delle stesse 8 aziende considerate per il 2002. La Tabella 2.8 riassume la situazione attuale delle 8 imprese in termini di colture e superfici utilizzate corrispondenti. Da questa tabella è stata ricavata la distribuzione degli utilizzi agricoli, rappresentata dal grafico in Figura 2.5. Si osserva che il mais rimane ancora oggi la coltura prevalente; una buona percentuale di terreno è occupata dai pioppeti, seguiti dalle leguminose (soia e fave). In generale gli altri usi rientrano tra le colture foraggere, utilizzate nell'alimentazione del bestiame. Rispetto alla situazione precedente l'evento di piena, si nota una maggiore varietà degli usi agricoli e sembra che la coltivazione dell'orzo abbia soppiantato quella del riso.

Azienda	Colture	Sup. utilizzo [m ²]	Sup. utilizzata totale [m ²]	%
A Camairago (LO)	soia e fave	124.085,50	611.756,00	20,28
	orzo	93.236,50		15,24
	orzo da foraggio	26.803,00		4,38
	erba medica da foraggio	23.700,00		3,87
	granturco (mais)	343.931,00		56,22
C Cavenago d'Adda(LO)	granturco (mais)	1.125.550,00	1.269.080,00	88,69
	pioppeti e altre coltivazioni arboree da legno	143.530,00		11,31
Turano Lodigiano(LO)	granturco (mais)	224.551,00	426.673,00	52,63
	pioppeti e altre coltivazioni arboree da legno	193.229,00		45,29
	sorgo	8.893,00		2,08
E Lodi(LO)	granturco (mais)	174.375,00	300.371,00	58,05
	prato polifita	26.159,00		8,71
	soia e fave	99.837,00		33,24
F Lodi (LO)	prato polifita	9.916,00	91.762,00	10,81
	colza-semi	40.923,00		44,60
	granturco (mais)	40.923,00		44,60
G Lodi (LO)	granturco (mais)	153.795,00	231.368,00	66,47
	vecce	77.573,00		33,53
I Bertonico (LO)	granturco (mais)	555.102,00	666.986,00	83,23
	orzo	108.573,00		16,28
	grano tenero (frumento)	3.311,00		0,50
L Lodi (LO)	orzo	51.400,00	446.900,00	11,50
	soia e fave	197.000,00		44,08
	granturco (mais)	150.600,00		33,70
	prato pascolo misto	10.000,00		2,24
	grano tenero (frumento)	37.900,00		8,48
N Bertonico (LO)	sorgo	77.300,00	412.200,00	18,75
	granturco (mais)	27.400,00		6,65
	pioppeti e altre coltivazioni arboree da legno	307.500,00		74,60

Tabella 2.8 - Terreni delle aziende agricole allo stato attuale.

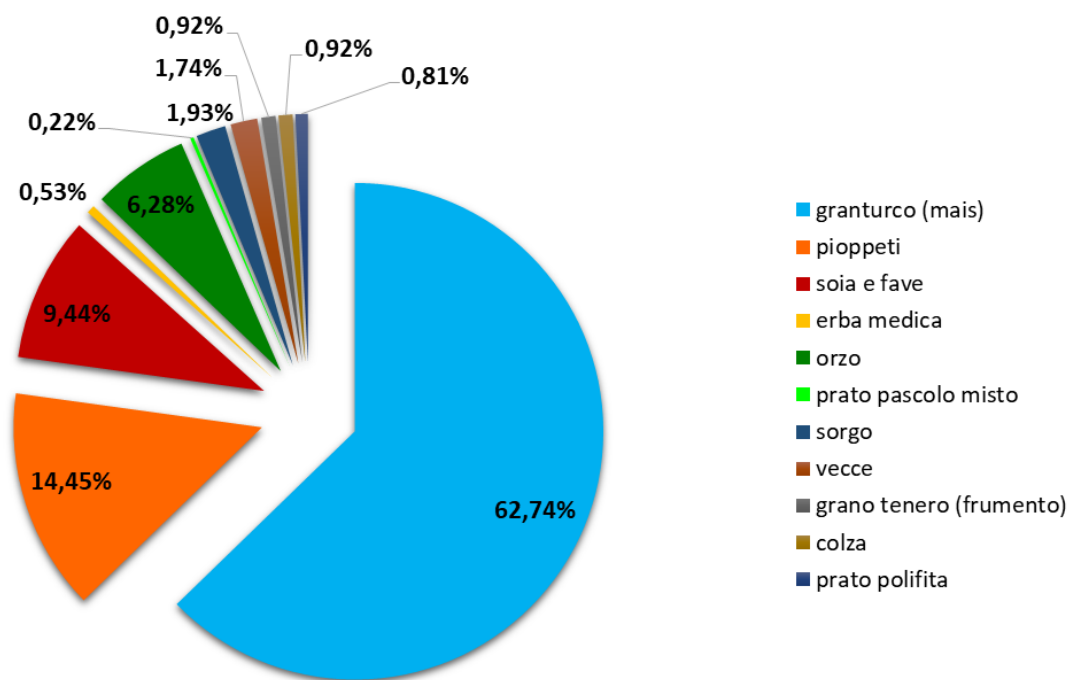


Figura 2.5 - Distribuzione delle colture nelle aziende agricole allo stato attuale.

Per completezza, nella tabella sottostante, sono riportati i dati sui terreni delle altre due aziende presenti sul portale Sis.Co. ma che non state considerate nel confronto con gli utilizzi del 2002.

Azienda	Colture	Sup. utilizzo [m ²]	Sup. utilizzata totale [m ²]	%
D	prato pascolo misto	216.600,00	941.400,00	23,01
Comazzo (LO)	erba medica da foraggio	268.100,00		28,48
	triticale	346.200,00		36,78
	erbai di graminacee	110.500,00		11,74
Q	erba medica	17.200,00	17.200,00	100,00
Cavenago d'Adda(LO)				

Tabella 2.9 - Terreni delle aziende agricole D e Q allo stato attuale.

Le informazioni sul patrimonio zootecnico, assenti nei report Sis.Co., sono state invece scaricate da SIARL; tuttavia, come per il 2002, anche i dati sugli allevamenti attuali sono carenti e disponibili soltanto per due aziende.

Azienda agricola	Tot. capi	UBA	Tipo allevamento
A	2837		suini
Camairago (LO)			
I	2635		suini
Bertonico (LO)			

Tabella 2.10 - Allevamenti delle aziende agricole allo stato attuale.

3 Caratterizzazione dell'esposizione nella provincia di Lodi

La caratterizzazione dell'esposizione, quindi dei beni potenzialmente a rischio, costituisce una delle fasi fondamentali nella valutazione dell'entità dei danni attesi su un determinato territorio. In particolare nell'ambito di questo studio, la valutazione dell'esposizione ha comportato l'individuazione delle tipologie di coltivazioni e delle superfici corrispondenti, al fine di identificare le colture prevalenti nella provincia di Lodi per le quali sviluppare il modello di danno. A tal fine è stato delineato un quadro generale del sistema agro-alimentare della Lombardia e, più specificamente, della provincia di Lodi; successivamente è stata eseguita l'analisi dell'uso agricolo del territorio di interesse a due scale differenti: alla micro-scala (uso agricolo SIARL) e alla scala della particella catastale.

3.1 Descrizione generale del sistema agro-alimentare della Lombardia

Il sistema agro-alimentare lombardo è il più importante a livello nazionale e uno dei principali nel panorama europeo.

Nell'ambito dell'Unione Europea, nonostante la Lombardia occupi solamente lo 0,53% della superficie comunitaria e comprenda solo l'1,97% della popolazione complessiva, il PIL lombardo è pari al 2,43% di quello dell'intera Unione, valore vicino a quello di stati come Austria e Norvegia. Sebbene tale risultato sia legato essenzialmente all'industria ed ai servizi, anche il settore primario gioca un ruolo non indifferente. In Tabella 3.1 (Pieri e Pretolani, 2017) sono riportati i dati Eurostat relativi all'indagine svolta nel 2013 sulle caratteristiche strutturali dell'agricoltura. Si osserva che il numero di aziende agricole lombarde e la superficie agraria corrispondente rappresentano delle percentuali modeste sul totale comunitario (rispettivamente 0,37% e 0,51%). Al contrario, la dimensione media delle aziende e la redditività delle produzioni lombarde sono nettamente superiori ai valori medi europei: mediamente la superficie agricola utilizzata per azienda supera del 42% quella comunitaria, la consistenza media degli allevamenti bovini è oltre tre volte quella europea, la produzione lorda standard per azienda è quasi cinque volte la dimensione economica media europea. In Lombardia sono infatti numerose le imprese con superfici agricole superiori ai 20 ettari e quelle con oltre 50.000 euro di produzione lorda. Quindi l'elevata produttività della terra, degli allevamenti e del lavoro rende la Lombardia una delle regioni agricole più competitive dell'UE-28.

	Unità di misura	Lombardia	UE-28	% Lombardia / UE-28
Aziende agricole	N.	40.440	10.841.000	0,37
Aziende con SAU oltre 20 ha	N.	11.550	1.488.020	0,78
Aziende con produzione lorda oltre 50.000 €	N.	14.650	1.150.970	1,27
Superficie agraria totale	Ha	1.090.830	213.813.450	0,51
Superficie agricola utilizzata	Ha	922.320	174.613.900	0,53
Superficie seminativi	Ha	682.040	104.203.330	0,65
Unità di bestiame (UBA)	N.	2.535.690	130.173.500	1,95
Bovini	N.	1.418.370	87.400.550	1,62
Suini	N.	4.309.250	144.667.830	2,98
Lavoratori nelle aziende agricole	N.	104.170	22.210.040	0,47
Produzione lorda standard	.000 €	6.888.354	331.104.570	2,08
Superficie agricola utilizzata per azienda	Ha	22,81	16,11	141,60
Bovini per allevamento	N.	131,1	38,4	341,80
Vacche per allevamento	N.	89,2	15,6	570,40
Lavoratori per azienda	N.	2,58	2,05	125,70
Produzione lorda standard per azienda	€	170.335	30.542	557,70

Tabella 3.1 - Caratteristiche strutturali dell'agricoltura in Lombardia e UE-28 nel 2013 (Fonte: Elaborazioni DEMM su dati Eurostat, Indagine struttura aziende agricole 2013).

Per analizzare invece la struttura del sistema agro-alimentare lombardo all'interno del contesto italiano è preferibile riferirsi ai dati nazionali Istat prodotti dall'indagine campionaria del 2013 (Pieri e Pretolani, 2017). I risultati di questa indagine, riportati in Tabella 3.2, mostrano come in Lombardia si concentri un numero abbastanza esiguo di aziende agricole italiane (soltanto il 3,3% nel 2013). Tuttavia la superficie agricola media di una azienda lombarda è circa il doppio dell'azienda standard italiana e la dimensione economica media è quasi quattro volte quella media nazionale. Si può affermare inoltre che le imprese lombarde presentano caratteristiche di professionalità: il rapporto tra le aziende censite nel 2013 e quelle iscritte per lo stesso anno nel Registro delle Imprese presso le CCIAA (Camere di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura) lombarde risulta pari al 99%, a fronte del 53% nazionale. L'attività agricola lombarda è caratterizzata da maggiore stabilità anche in termini di manodopera: il 54% dei lavoratori agricoli è occupato stabilmente in Lombardia, mentre tale rapporto si dimezza a livello italiano. Complessivamente in Lombardia nel 2013 operavano circa 55.000 strutture produttive suddivise tra aziende agricole ed imprese di trasformazione alimentare. A tal proposito si osserva un altro aspetto peculiare del sistema agro-alimentare lombardo: il numero di occupati nell'industria alimentare è maggiore rispetto a quelli dell'agricoltura, mentre a livello nazionale è circa la metà. Tale dato testimonia il fatto che la maggior parte delle produzioni agricole lombarde sono destinate alla trasformazione e, inoltre, che le materie prime utilizzate vengono spesso importate da altre regioni italiane o dall'estero.

	Unità di misura	Lombardia	Italia	% Lombardia / Italia
Aziende agricole	N.	49.162	1.469.513	3,30
Imprese agricoltura, foreste, pesca iscritte CCIAA	N.	47.237	750.408	6,30
Aziende con SAU oltre 20 ettari	N.	11.550	129.840	8,90
Aziende con produzione lorda oltre 50.000 €	N.	14.650	163.550	9,00
Superficie agraria totale	Ha	1.136.000	16.678.000	6,80
Superficie agricola utilizzata	Ha	927.000	12.426.000	7,50
Superficie seminativi	Ha	682.040	6.728.360	10,10
Unità di bestiame (UBA)	N.	2.535.690	9.374.270	27,00
Bovini	N.	1.418.370	5.704.930	24,90
Suini	N.	4.309.250	8.598.460	50,10
Lavoratori nelle aziende agricole	N.	119.800	3.559.000	3,40
Occupati agricoltura, silvicoltura, pesca	N.	64.600	910.000	7,10
Produzione lorda standard	.000 €	6.888.354	43.793.882	15,70
Superficie agricola utilizzata per azienda	Ha	22,81	11,98	190,50
Bovini per allevamento	N.	131,1	53,8	243,50
Vacche per allevamento	N.	89,2	44,5	200,40
Lavoratori per azienda	N.	2,58	2,12	121,70
Produzione lorda standard per azienda	€	170.335	43.346	393,00
Imprese alimentari bevande iscritte CCIAA	N.	6.170	60.760	10,20
Occupati industria alimentare	N.	69.700	450.300	15,50

Tabella 3.2 - Caratteristiche strutturali del sistema agro-alimentare lombardo e italiano nel 2013 (Fonte: Elaborazioni DEMM su dati Istat, Indagine struttura aziende agricole 2013).

Attualmente la Lombardia si conferma prima regione italiana nel settore primario. Nel 2016 la regione ha prodotto da sola più del 13% del valore della produzione (7,1 miliardi di euro su un totale di 54) ed oltre l'11% del valore aggiunto agricolo italiano (3,4 miliardi di euro su un totale di circa 30). Il suo importante contributo appare evidente anche dall'analisi delle produzioni vegetali ed animali. In Tabella 3.3 sono riportate soltanto le produzioni lombarde principali, rapportate alle corrispettive produzioni nazionali (Pieri e Pretolani, 2017).

Per quanto riguarda le coltivazioni, si osserva che la Lombardia contribuisce in maniera rilevante alla produzione italiana delle foraggere, in particolare di quelle temporanee (29,2%), dei cereali (16,4%), tra cui spiccano il riso e il mais, e dei semi oleosi quali soia e colza. Viceversa le produzioni regionali di ortaggi, legumi secchi e piante da tubero sono piuttosto modeste. Anche il peso delle colture legnose agrarie sul totale nazionale risulta modesto in termini quantitativi, mentre sul piano qualitativo la Lombardia occupa un posto di rilievo, in quanto caratterizzata da aree di eccellenza nel settore vitivinicolo e dalla produzione di numerosi prodotti DOP e DOC.

I dati relativi alle produzioni animali mostrano il ruolo predominante della Lombardia nel settore suinicolo (40,0%) ed in quello del latte vaccino (37,6%). La regione contribuisce in modo rilevante anche alla produzione di carni bovine e di pollame, mentre le produzioni ovine e caprine lombarde sono da considerarsi marginali.

La grande vocazione zootecnica, che contraddistingue la Lombardia dalle altre regioni italiane, influisce anche sulla scelta delle destinazioni d'uso agricolo: è ovvio che la vasta coltivazione delle foraggere sia strettamente legata all'alimentazione degli erbivori.

	Unità di misura	Lombardia	Italia	% Lombardia / Italia
COLTIVAZIONI AGRICOLE	10³ t	23.864	125.987	18,9
Cereali	10³ t	2.933	17.870	16,4
Frumento tenero	10 ³ t	379	2.989	12,7
Frumento duro	10 ³ t	142	5.049	2,8
Orzo	10 ³ t	107	991	10,8
Riso	10 ³ t	660	1.587	41,6
Mais da granella	10 ³ t	1.616	6.597	24,5
Semi oleosi	10³ t	200	1.385	14,5
Girasole	10 ³ t	4	268	1,6
Colza	10 ³ t	7	35	19,4
Soia	10 ³ t	189	1.081	17,5
Legumi secchi	10³ t	10	176	5,9
Piante da tubero	10³ t	19	1.381	1,4
Ortaggi in piena aria	10³ t	775	12.300	6,3
Ortaggi in serra	10³ t	95	1.616	5,9
Foraggere temporanee	10³ t	16.392	56.067	29,2
Erbai	10 ³ t	12.873	29.307	43,9
<i>Mais ceroso</i>	10 ³ t	9.797	16.978	57,7
<i>Loietto</i>	10 ³ t	1.419	2.299	61,7
Prati avvicendati	10 ³ t	3.520	26.760	13,2
<i>Erba medica</i>	10 ³ t	2.875	20.881	13,8
<i>Prati polifiti</i>	10 ³ t	591	3.069	19,3
Foraggere permanenti	10³ t	3.124	19.778	15,8
Prati permanenti	10 ³ t	2.888	10.236	28,2
Pascoli	10 ³ t	236	9.542	2,5
Frutta fresca e secca	10³ t	101	6.117	1,7
Melo	10 ³ t	49	2.456	2,0
Pero	10 ³ t	24	702	3,4
Uva da vino	10³ t	210	7.205	2,9
Olivo	10³ t	5	2.092	0,2
ALLEVAMENTI	10³ t	5.832	17.142	34,0
Carni	10³ t	1.521	5.146	29,6
Carni bovine	10 ³ t	308	1.260	24,5
Carni suine	10 ³ t	844	2.110	40,0
Carni ovicaprine	10 ³ t	1	61	1,5
Pollame	10 ³ t	368	1.715	21,4
Latte	10³ t	4.311	11.996	35,9
Latte di vacca e bufala	10 ³ t	4.308	11.451	37,6
Latte di pecora e capra	10 ³ t	3	545	0,5

Tabella 3.3 - Produzioni delle principali coltivazioni e degli allevamenti in Lombardia e in Italia nel 2016 (Fonte: Elaborazioni ESP su dati Istat).

Al 31/12/2016, il numero di imprese attive in agricoltura, silvicoltura, pesca iscritte al Registro delle 12 CCIAA lombarde ammonta a 46.802 (Pieri e Pretolani, 2017). Tra queste imprese, 43.983 sono dedite unicamente alla produzione agricola e, a seconda del tipo di attività svolte, risultano così suddivise: circa il 47% produce solo colture erbacee, il 12% solo colture arboree, il 19% svolge solamente attività di allevamento ed il restante 22% dichiara un'attività mista (colture associate all'allevamento). La Tabella 3.4 (Pieri e Pretolani, 2017) mostra invece la collocazione geografica delle aziende iscritte alle CCIAA nel 2016 in Lombardia: Brescia, Mantova, Pavia sono le province con la più elevata presenza di imprese del settore.

Provincia	N. Imprese CCIAA	% Provincia / Regione
Bergamo	4.946	10,6
Brescia	10.129	21,6
Como	2.068	4,4
Cremona	4.020	8,6
Lecco	1.121	2,4
Lodi	1.348	2,9
Mantova	8.019	17,1
Milano	3.565	7,6
Monza e Brianza	914	2,0
Pavia	6.483	13,9
Sondrio	2.446	5,2
Varese	1.740	3,7

Tabella 3.4 - Distribuzione provinciale delle imprese agricole iscritte al Registro delle CCIAA nel 2016 in Lombardia (Fonte: Elaborazioni ESP su dati UnionCamere Lombardia).

Come sopra accennato, la maggior parte delle produzioni agricole lombarde sono destinate alla trasformazione alimentare. Nel 2016 le 6.186 imprese alimentari attive in Lombardia hanno contribuito per il 20,2% al valore aggiunto dell'industria alimentare nazionale (5,6 miliardi di euro su un totale di circa 28). La distribuzione provinciale delle suddette imprese, riportata in Tabella 3.5, mette in evidenza il peso prevalente della provincia di Milano, a cui seguono quelle di Brescia e di Bergamo (Pieri e Pretolani, 2017).

Provincia	N. Imprese	% Provincia / Regione
Bergamo	698	11,3
Brescia	934	15,1
Como	300	4,8
Cremona	334	5,4
Lecco	225	3,6
Lodi	128	2,1
Monza	374	6,0
Milano	1.751	28,3
Mantova	435	7,0
Pavia	398	6,4
Sondrio	203	3,3
Varese	406	6,6
Totale	6.186	100,0

Tabella 3.5 - Distribuzione provinciale delle imprese alimentari attive in Lombardia nel 2016 (Fonte: Elaborazioni ESP su dati Infocamere-Movimprese).

3.2 Sistema agro-alimentare nella provincia di Lodi

Il Lodigiano conserva un'ampia porzione di territorio ad uso rurale occupato essenzialmente da aree agricole, ma anche da zone di tutela e salvaguardia ambientale molto importanti dal punto di vista naturalistico e della biodiversità come il Parco Regionale Adda Sud.

La provincia di Lodi è caratterizzata da un settore agricolo altamente produttivo ed efficiente. Tale produttività è legata principalmente all'elevata fertilità dei terreni, incrementata nel corso degli anni attraverso le opere di bonifica, e all'attuale fisionomia della rete delle imprese agricole. Negli ultimi decenni infatti il sistema imprenditoriale rurale della provincia ha subito un processo di accorpamento e di assorbimento delle unità più piccole portando alla diminuzione progressiva del numero di imprese agricole e all'ampliamento delle dimensioni aziendali. Nel trentennio compreso tra il 1982 e il 2011 il numero di aziende agricole si è ridotto di oltre il 40% passando da 2.530 a 1.504 unità produttive. Il grafico in Figura 3.1 mostra la distribuzione delle 1.504 imprese attive nel 2011 in funzione della relativa superficie agricola totale (SAT) (CCIAA di Lodi et al., 2012). Si osserva che quasi il 50% delle aziende ricopre una superficie superiore ai 20 ettari e, tra queste, più della metà hanno una SAT che supera addirittura i 50 ettari. Quindi un punto di forza del settore primario locale è la dimensione strutturale dell'azienda media lodigiana, al vertice delle classifiche nazionali sia in termini di ettari di superficie condotta che di unità di bestiame.

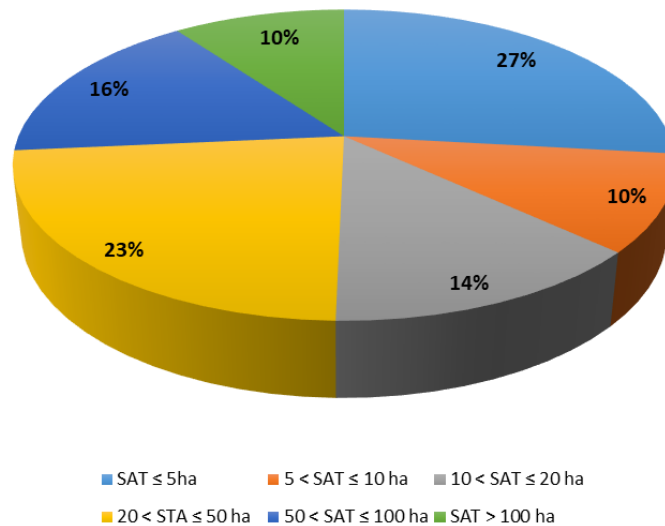


Figura 3.1 - Distribuzione delle imprese agricole lodigiane in funzione della SAT nel 2011 (Fonte: archivio SIARL).

Un altro elemento di pregio dell'agricoltura lodigiana è la particolare propensione a cogliere le innovazioni tecniche e scientifiche offerte dal mercato. Ad esempio, i lodigiani sono stati tra i primi a meccanizzare le diverse operazioni agricole e ad introdurre i silos per foraggiare; recentemente hanno mostrato un grande interesse per le energie rinnovabili: circa il 7% delle aziende agricole locali produce energia tramite l'impiego di pannelli fotovoltaici o attraverso impianti di biogas. La natura innovatrice dei lodigiani è testimoniata anche dalla presenza di numerosi centri di ricerca ed istituti scientifici, tra cui il Parco Tecnologico Padano, il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA) e la facoltà di Medicina Veterinaria dell'Università degli Studi di Milano.

Di contro, costituisce elemento di debolezza del sistema lodigiano la fragilità delle filiere di trasformazione dei prodotti operanti in loco. Infatti, a differenza del settore agricolo, il comparto della trasformazione agroindustriale ha subito una contrazione durante gli ultimi decenni che ha ridotto le imprese alimentari ad un numero inferiore alle 130 unità. La scarsa interazione tra l'agricoltura e l'industria di trasformazione locale costringe la maggior parte delle aziende agricole a distribuire i propri prodotti ad industrie situate al di fuori del territorio provinciale. Analogamente al resto della regione, la produzione agronomica lodigiana è strettamente legata e subordinata a quella zootecnica.

Per quanto concerne le produzioni vegetali, il Lodigiano presenta un ordinamento colturale prevalentemente cerealicolo. La ripartizione della superficie agricola utilizzata (SAU) è rappresentata in Figura 3.2. Il grafico è stato ricavato dai dati presenti nell'archivio SIARL

relativamente all'annata agraria 2010/2011 (CCIAA di Lodi et al., 2012). Per svariate ragioni, il mais è in assoluto la coltivazione principale da oltre 50 anni, occupando più della metà dell'intera superficie agricola provinciale (oltre 32.000 ettari su un totale di circa 54.000, nel 2011). La prima ragione risiede nell'elevata produttività del mais nei suoli lodigiani, dove la resa media di granella supera abbondantemente le 12 tonnellate per ettaro (CCIAA di Lodi et al., 2012). In secondo luogo il mais è essenziale per l'alimentazione degli animali, in particolare dei bovini. Infine, una parte della produzione maidicola viene impiegata come fonte di energia rinnovabile; negli ultimi tempi, infatti, sono sorti diversi impianti di produzione di biogas che vengono alimentati soprattutto con trinciato di mais. Seguono le foraggere permanenti, precisamente i prati stabili, che sono molto importanti per l'alimentazione dei bovini da latte e per la promozione della biodiversità. Le foraggere temporanee sono invece circoscritte ad una modesta quota di erba medica. Il territorio agricolo rimanente è destinato alla coltivazione di altri cereali (riso, grano, orzo) e della soia. Le colture orticole industriali (e.g. pomodoro da industria, barbabietola da zucchero) rivestono un ruolo marginale, a causa sia della concorrenza estera che dell'instabilità delle relative industrie di trasformazione. La distribuzione colturale raffigurata in Figura 3.2 è paragonabile a quella fornitaci in via informale dalla Coldiretti, secondo cui le coltivazioni prevalenti nel Lodigiano sono per l'appunto il mais, il prato stabile, i cereali autunno-vernini (orzo, grano) e la soia.

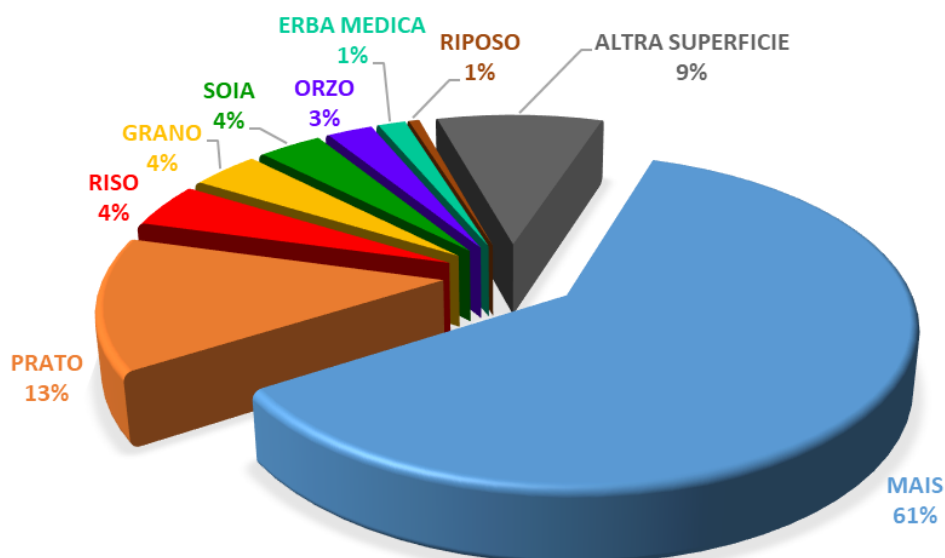


Figura 3.2 - Ripartizione della SAU lodigiana tra le principali colture praticate nell'annata agraria 2010/11 (Fonte: archivio SIARL).

Per quanto riguarda il settore zootecnico, gli avicoli, i suini e i bovini sono le specie principali in termini di numero di capi presenti complessivamente in provincia di Lodi (Tabella 3.6). Dal punto di vista del fatturato, il comparto bovino e quello suinicolo sono di gran lunga i più rilevanti. La Tabella 3.7 riporta la consistenza delle imprese dedite all'allevamento di queste due specie zootecniche: dei 617 allevamenti attivi nel 2011, oltre la metà sono costituiti unicamente da bovini, seguiti in successione da quelli con solo suini e quelli a vocazione mista. Il comparto zootecnico più importante in ambito provinciale rimane quello del latte, nonostante il numero di aziende ad indirizzo lattiero sia diminuito da 509 a 330 nell'arco di 15 anni (1996-2011). Le imprese rimaste in attività hanno infatti incrementato la propria dimensione e la propria capacità produttiva, mantenendo la provincia di Lodi al primo posto di un'ipotetica classifica nazionale sulle aziende lattifere (CCIAA di Lodi et al., 2012).

Specie	Numero capi	%
Bovini	106.787	9,60
Suini	427.626	38,44
Avicoli	576.216	51,80
Ovi-caprini	902	0,08
Equini	604	0,05
Bufalini	326	0,03

Tabella 3.6 - Consistenza numerica del patrimonio zootecnico nella provincia di Lodi, aggiornamento dati 2011 (Fonte: archivio SIARL).

Indirizzo produttivo	N. allevamenti	N. capi bovini	N. capi suini
Solo bovini	428	85.739	
Solo suini	110		301.205
Misti	79	21.048	126.421
Totale	617	106.787	427.626

Tabella 3.7 - Consistenza delle imprese dedite all'allevamento bovino e suino nella provincia di Lodi, aggiornamento dati 2011 (Fonte: archivio SIARL).

Per concludere, riprendendo i dati riportati in Tabella 3.4 e in Tabella 3.5 si può avere un'idea sullo stato più recente del sistema imprenditoriale lodigiano. Al 31/12/2016 risultavano iscritte al Registro delle Camera di Commercio di Lodi 1.348 aziende agricole e 128 imprese di trasformazione alimentare, corrispondenti rispettivamente al 2,9% e al 2,1% del totale regionale.

3.3 Analisi dell'uso agricolo alla micro-scala

Per caratterizzare l'esposto ed indentificare le colture prevalenti dell'area di studio è stata eseguita un'analisi sull'uso agricolo della provincia di Lodi e di ogni suo comune alla micro-scala. A tal fine la 'Carta dell'uso agricolo SIARL' (Sistema Informativo Agricolo Regione Lombardia) relativa all'annata agraria 2012 è stata scaricata dal Geoportale della Lombardia e successivamente elaborata con il software ArcGIS. Si tratta di una mappa in formato raster che, per ciascuna particella catastale, mostra il dato d'uso dichiarato nel fascicolo aziendale SIARL. Per semplicità è rappresentato solamente l'utilizzo principale di ogni particella catastale, nel caso in cui sia stato dichiarato più di un uso durante l'anno: l'utilizzo principale è quello che ricopre la superficie più estesa sull'area catastale complessiva oppure quello a cui è stato attribuito un codice di priorità superiore, in caso di parità in termini di superficie. Inoltre, sulla mappa non vengono visualizzate le specifiche tipologie colturali presenti nel database SIARL (orzo, frumento, pomodoro, ecc.), ma delle macro-categorie. Le varie colture presenti nella banca dati SIARL sono state infatti raggruppate in 16 classi omogenee; a queste si aggiungono una classe definita come "Terreni agricoli non classificabili" ed altre 4 classi di uso e copertura del suolo (Aree antropizzate, Corpi idrici, Aree sterili naturali, Vegetazione naturale) ricavate da DUSAF, ossia la banca dati realizzata dalla Regione Lombardia nell'ambito del Progetto Europeo Corine Land Cover. La Tabella 3.8 riporta le 21 classi accorpate per il prodotto cartografico con i codici di priorità assegnati alle 16 classi prettamente colturali.

CLASSI	PRIORITÀ
SEMENTI	1
OLIVO	2
COLTIVAZIONI FLOROVIVAISTICHE	3
COLTIVAZIONI ORTICOLE	4
VITE	5
FRUTTICOLE	6
RISO	7
MAIS	8
ALTRI CEREALI	9
TERRENI A RIPOSO	10
PIANTE INDUSTRIALI E LEGUMI SECCHI	11
FORAGGERE	12
BARBABIETOLA	13
BOSCHI E COLTURE ARBOREE	14
ALTRE COLTIVAZIONI AGRARIE	15
TARE E INCOLTI	16
AREE STERILI NATURALI	-
VEGETAZIONE NATURALE	-
AREE ANTROPIZZATE	-
CORPI IDRICI	-
TERRENI AGRICOLI NON CLASSIFICABILI	-

Tabella 3.8 - Classi accorpate utilizzate nella Carta di uso agricolo SIARL con i relativi codici di priorità.

Per determinare la distribuzione colturale sul territorio di interesse sono state calcolate le aree geometriche di ogni classe di uso agricolo e le relative percentuali sul totale tramite il software ArcGIS. Tale operazione è stata eseguita per l'intera provincia di Lodi e per ognuno dei suoi 61 comuni. Il mais è la prima coltura in quasi tutti i comuni lodigiani, a conferma delle considerazioni esposte nel paragrafo precedente. Fanno eccezione soltanto il comune di Abbazia Cerreto, dove prevalgono le foraggere, e quello di Valera Fratta dedito principalmente alla coltivazione di riso. I risultati dell'analisi dell'uso agricolo alla scala provinciale sono riassunti in Tabella 3.9 e rappresentati cartograficamente in Figura 3.3. Si osserva che il mais occupa quasi la metà di tutta la superficie agricola provinciale, mentre le foraggere rappresentano la seconda tipologia colturale, seguite dalla coltivazione di altri cereali e del riso. Per quanto riguarda le altre classi di copertura del suolo, è da segnalare la porzione non indifferente di terreno interessata da aree antropizzate, pari circa al 12%.

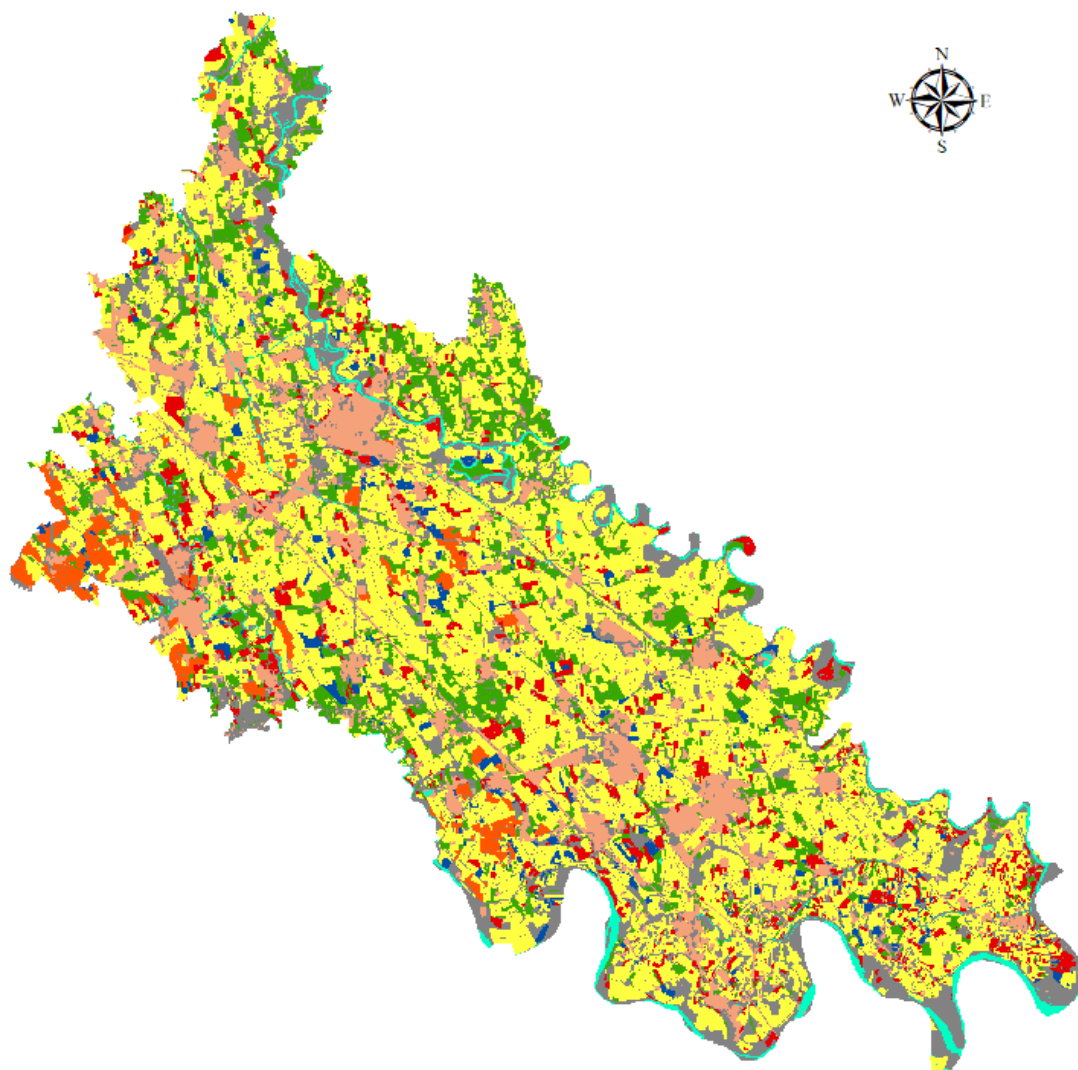
La stessa analisi è stata ripetuta esclusivamente per le aree adiacenti al fiume Adda, esondato nel novembre 2002. Quindi in ArcGIS è stato generato un buffer di 6 km attorno all'Adda che, intersecato alla carta dell'uso agricolo, ha permesso di delimitare la superficie agricola lodigiana maggiormente esposta alla pericolosità alluvionale. I risultati di questa analisi più circoscritta sono riportati in Tabella 3.10 e rappresentati in Figura 3.4. All'interno del buffer si riscontra essenzialmente la medesima ripartizione colturale con il mais e le foraggere rispettivamente al primo e al secondo posto, seguiti in misura minore dalla classe degli altri cereali. Anche in questo caso le aree antropizzate costituiscono una buona percentuale della superficie complessiva (circa il 10%). Infine si nota che in queste zone perifluviali sia presente una superficie boschiva leggermente più estesa rispetto al resto della provincia (quasi l'8%).

Uso agricolo PROVINCIA		
Utilizzo	Superficie [ha]	[%]
AREE STERILI NATURALI	224,80	0,29
VEGETAZIONE NATURALE	930,44	1,19
BOSCHI E COLTURE ARBOREE	4.410,80	5,64
AREE ANTROPIZZATE	9.031,40	11,55
CORPI IDRICI	1.471,88	1,88
TERRENI AGRICOLI NON CLASSIFICABILI	6.053,20	7,74
VITE	38,32	0,05
FRUTTICOLE	54,72	0,07
MAIS	36.385,40	46,54
TARE E INCOLTI	1.041,56	1,33
FORAGGERE	9.135,80	11,68
COLTIVAZIONI FLOROVIVAISTICHE	74,52	0,10
COLTIVAZIONI ORTICOLE	727,00	0,93
ALTRI CEREALI	4.165,16	5,33
ALTRE COLTIVAZIONI AGRARIE	55,20	0,07
SEMENTI	66,96	0,09
PIANTE INDUSTRIALI E LEGUMI SECCHI	1.497,92	1,92
TERRENI A RIPOSO	596,32	0,76
RISO	2.118,76	2,71
BARBABIETOLA	107,40	0,14
TOTALE	78.187,56	100,00

Tabella 3.9 - Uso agricolo della provincia di Lodi nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).

Uso agricolo BUFFER ADDA		
Utilizzo	Superficie [ha]	[%]
AREE STERILI NATURALI	125,12	0,52
VEGETAZIONE NATURALE	310,28	1,28
BOSCHI E COLTURE ARBOREE	1.876,64	7,73
AREE ANTROPIZZATE	2.517,16	10,37
CORPI IDRICI	551,80	2,27
TERRENI AGRICOLI NON CLASSIFICABILI	1.824,88	7,52
FRUTTICOLE	24,04	0,10
MAIS	11.043,04	45,49
TARE E INCOLTI	459,36	1,89
FORAGGERE	3.555,76	14,65
COLTIVAZIONI FLOROVIVAISTICHE	33,04	0,14
COLTIVAZIONI ORTICOLE	154,12	0,63
ALTRI CEREALI	1.129,68	4,65
ALTRE COLTIVAZIONI AGRARIE	21,80	0,09
SEMENTI	10,32	0,04
PIANTE INDUSTRIALI E LEGUMI SECCHI	283,80	1,17
TERRENI A RIPOSO	272,88	1,12
RISO	81,64	0,34
BARBABIETOLA	1,36	0,01
TOTALE	24.276,72	100,00

Tabella 3.10 - Uso agricolo delle zone adiacenti al fiume Adda nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).



Legenda

Uso agricolo Provincia di Lodi

- ALTRO
- ALTRI CEREALI
- AREE ANTROPIZZATE
- CORPI IDRICI
- FORAGGERE
- MAIS
- PIANTE INDUSTRIALI E LEGUMI SECCHI
- RISO

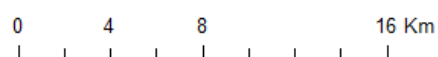


Figura 3.3 - Uso agricolo della provincia di Lodi nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).

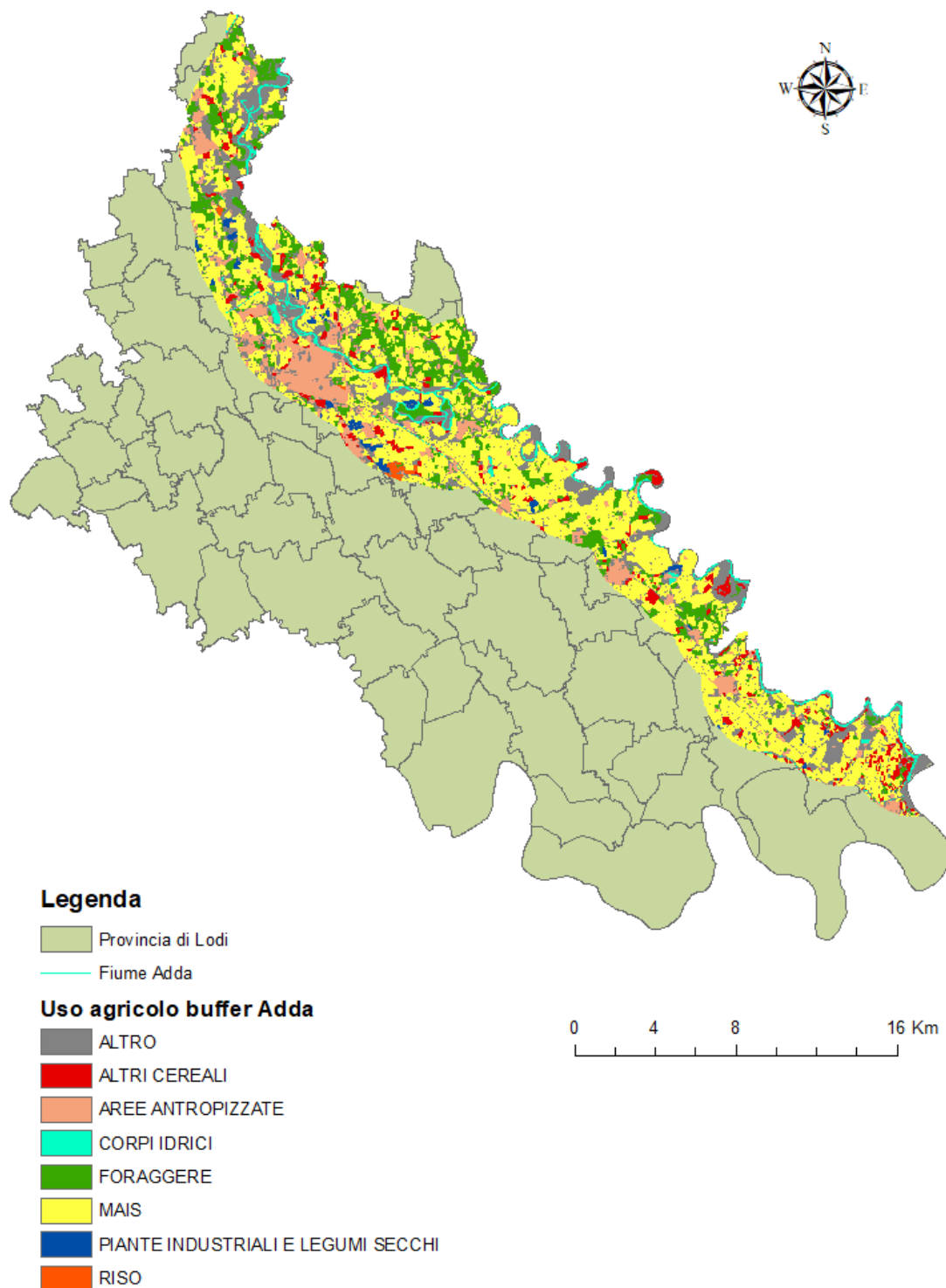


Figura 3.4 - Uso agricolo delle zone adiacenti al fiume Adda nel 2012 (elaborazione dati SIARL 2012).

Nelle mappe di uso del suolo si è deciso di evidenziare solamente gli utilizzi prevalenti o più rilevanti per permettere una lettura generale più comprensibile.

3.4 Analisi dell'uso agricolo alla scala della particella catastale

La mappa raster appena analizzata può essere impiegata per uno studio generico sull'uso agricolo di un determinato territorio. Infatti, come già spiegato, mostra solamente l'utilizzo prevalente di ciascuna particella ed accorpa le varie specie colturali in alcune classi omogenee. Per effettuare un'analisi di maggior dettaglio, alla scala della singola particella catastale, è necessario risalire ai dati da cui si è partiti per la realizzazione della mappa stessa, ossia i dati d'uso dichiarati nei fascicoli aziendali disponibili nell'archivio SIARL. Si è proceduto quindi al download, dal database SIARL, dei dati catastali delle aziende agricole lodigiane per l'annata agraria 2012. I dati scaricati comprendono un file di testo contenente tutte le informazioni relative alle singole particelle catastali e una mappa in formato vettoriale rappresentante i poligoni delle medesime particelle. La Tabella 3.11 mostra le informazioni più importanti presenti nel file di testo (non sono stati riportati tutti i campi per motivi di spazio). La Figura 3.5 e la Tabella 3.12 mostrano rispettivamente lo shapefile e la relativa tabella degli attributi del catasto agricolo. Data la grande quantità di dati, si è scelto di focalizzare lo studio alla porzione del buffer creato attorno al fiume Adda, limitatamente al comune di Lodi.

REGIONE	COD PROV	PROVINCIA	COD COM	COMUNE	FOGLIO	MAPPALE	COD UTIL	UTILIZZO	SUPERFICIE CATASTALE	SUPERFICIE UTILIZZATA	SUPERFICIE CONDOTTA	PROGRESSIVO ROTAZIONE
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	1	4	20	SILOMAIS E MAIS CEROSO	19850	19700	19700	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	69	40	480	BOSCO MISTO	520	520	520	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	5	12	350	PRATO POLIFITA DA VICENDA	849	790	700	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	5	12	560	TARE E INCOLTI	849	790	90	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	5	157	X14	FABBRICATI AGRICOLI	13000	13000	12500	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	69	189	10	MAIS DA GRANELLA	7151	7130	6993	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	69	98	80	ORZO	25566	25700	24900	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	67	9	40	GRANO (FRUMENTO) TENERO	4978	4890	1426	1
LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	67	9	160	SOIA DA GRANELLA	4978	4890	3292	1
...

Tabella 3.11 - Dati in formato testo del catasto agricolo del 2012 per il comune di Lodi.

ID_PARTICE	DENO_PROV	NOME	PARTICELLA	FOGLIO	SUB	ID_SEZC	AREA_COLT	Shape_Leng	Shape_Area
553433	LODI	LODI	1	1			1,22	11,32	1,22
553433	LODI	LODI	1	1			109,31	56,54	109,31
553435	LODI	LODI	3	1			20540,66	582,68	20539,88
554194	LODI	LODI	1	16			15164,97	688,80	15164,40
554236	LODI	LODI	43	17			29,00	27,78	29,00
554273	LODI	LODI	370	18			30621,47	821,71	30620,32
2635573	LODI	LODI	72	19			559,00	120,39	558,98
2635808	LODI	LODI	164	20			480,02	125,55	480,00
554293	LODI	LODI	166	20			2571,36	202,79	2571,27
...

Tabella 3.12 - Tabella degli attributi dello shapefile del catasto agricolo del 2012 per il comune di Lodi.

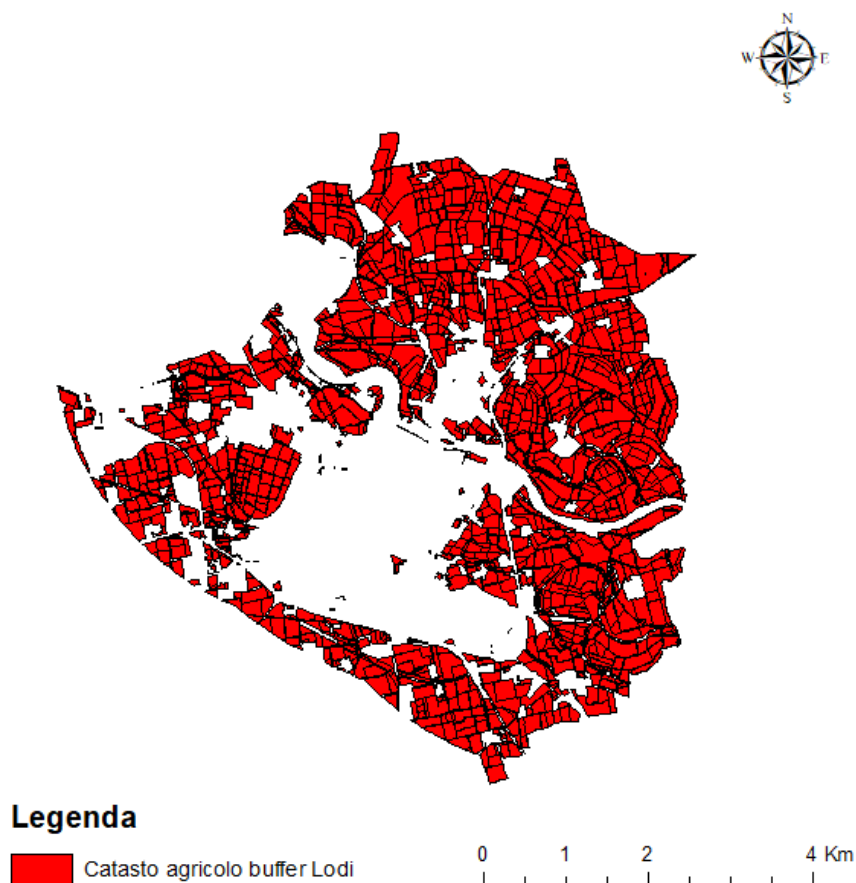


Figura 3.5 - Shapefile delle particelle catastali del 2012 per la porzione più esposta del comune di Lodi.

Il primo passo è stato quello di assegnare le informazioni raccolte nel file di testo alle corrispondenti particelle rappresentate nello shapefile, in modo da ottenere una mappa contenente tutti i dati necessari per un'analisi di uso del suolo alla scala della particella catastale. Per poter effettuare questa correlazione è stato necessario attribuire un codice che permettesse di identificare in modo univoco le singole particelle. A tal proposito, si può notare che nella tabella degli attributi della mappa (Tabella 3.12) esisteva già un codice identificativo per ogni particella, nominato "ID_PARTICE", mentre nel file di testo mancava tale campo (Tabella 3.11). Di conseguenza è stato necessario creare un nuovo identificativo, chiamato semplicemente "CODICE", ottenuto realizzando una stringa composta dai campi seguenti: CODICE PROVINCIA, CODICE COMUNE, FOGLIO, MAPPALE / PARTICELLA. Le tabelle sottostanti mostrano il risultato di tale operazione, realizzata in Excel.

CODICE	REGIONE	COD PROV	PROVINCIA	COD COM	COMUNE	FOGLIO	MAPPALE	COD UTIL	UTILIZZO	SUPERFICIE CATASTALE	SUPERFICIE UTILIZZATA	SUPERFICIE CONDOTTA	PROGRESSIVO ROTAZIONE
98 31 01 0004	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	1	4	20	SILOMAIS E MAIS CEROSO	19850	19700	19700	1
98 31 69 0040	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	69	40	480	BOSCO MISTO	520	520	520	1
98 31 05 0012	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	5	12	350	PRATO POLIFITA DA VICENDA	849	790	700	1
98 31 05 0012	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	5	12	560	TARE E INCOLTI	849	790	90	1
98 31 05 0157	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	5	157	X14	FABBRICATI AGRICOLI	13000	13000	12500	1
98 31 69 0189	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	69	189	10	MAIS DA GRANELLA	7151	7130	6993	1
98 31 69 0098	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	69	98	80	ORZO	25566	25700	24900	1
98 31 67 0009	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	67	9	40	GRANO (FRUMENTO) TENERO	4978	4890	1426	1
98 31 67 0009	LOMBARDIA	98	LODI	31	LODI	67	9	160	SOIA DA GRANELLA	4978	4890	3292	1
...

Tabella 3.13 - Dati in formato testo del catasto agricolo con l'aggiunta del codice identificativo "CODICE".

CODICE	ID_PARTICE	COD_PROV	DENO_PROV	COD_COM	NOME	PARTICELLA	FOGLIO	SUB	ID_SEZC	AREA_COLT	Shape_Leng	Shape_Area
98 31 01 0001	553433	98	LODI	31	LODI	1	1			1,22	11,32	1,22
98 31 01 0001	553433	98	LODI	31	LODI	1	1			109,31	56,54	109,31
98 31 01 0003	553435	98	LODI	31	LODI	3	1			20540,66	582,68	20539,88
98 31 16 0001	554194	98	LODI	31	LODI	1	16			15164,97	688,80	15164,40
98 31 17 0043	554236	98	LODI	31	LODI	43	17			29,00	27,78	29,00
98 31 18 0370	554273	98	LODI	31	LODI	370	18			30621,47	821,71	30620,32
98 31 19 0072	2635573	98	LODI	31	LODI	72	19			559,00	120,39	558,98
98 31 20 0164	2635808	98	LODI	31	LODI	164	20			480,02	125,55	480,00
98 31 20 0166	554293	98	LODI	31	LODI	166	20			2571,36	202,79	2571,27
...

Tabella 3.14 - Tabella attributi dello shapefile del catasto agricolo con l'aggiunta del codice identificativo "CODICE".

È stata così estratta e salvata la tabella formata dai campi "CODICE" e "ID_PARTICE". Poi, per mezzo dello strumento Join di ArcGIS, quest'ultima è stata collegata alla tabella attributi dello shapefile, utilizzando come attributo comune il campo "ID_PARTICE"; alla tabella attributi così aggiornata sono state quindi aggiunte le informazioni del file di testo con un secondo Join basandosi sul campo comune "CODICE".

In Figura 3.6 è evidente che, dopo l'applicazione del doppio Join, il numero di particelle sulla mappa catastale si sia ridotto. Pertanto l'operazione di correlazione ha messo in luce il seguente aspetto: i dati d'uso dichiarati nei fascicoli aziendali non sono disponibili per tutte le particelle rappresentate cartograficamente.

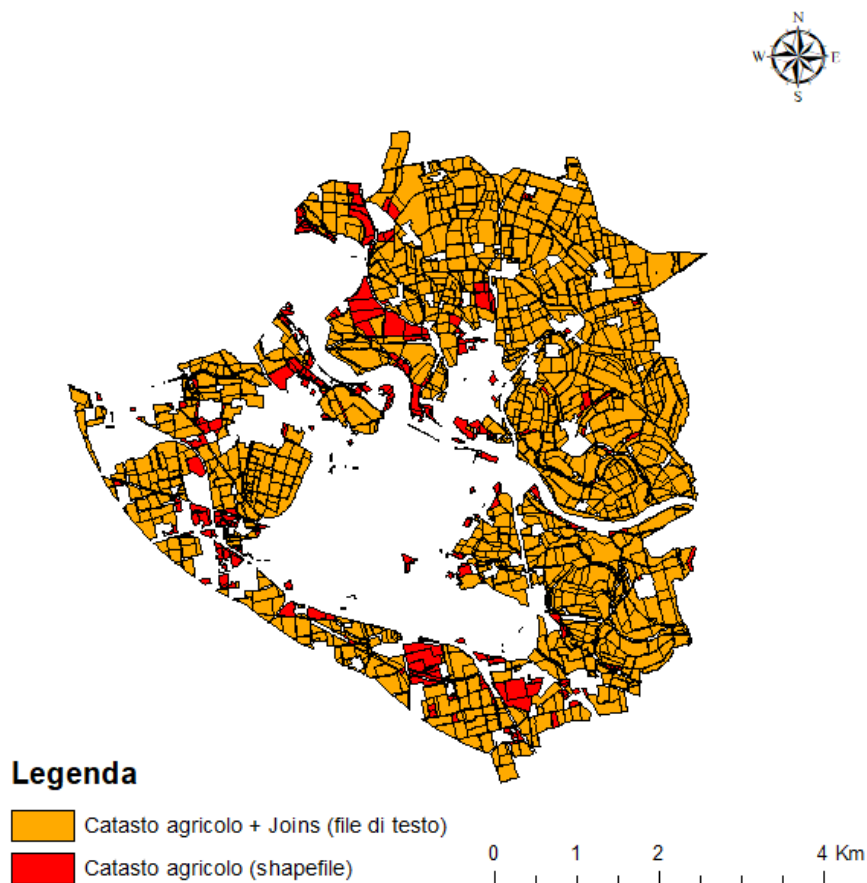


Figura 3.6 - Mappa catastale del 2012 per il buffer di Lodi, prima e dopo l'applicazione del doppio Join.

Nonostante questo limite, la mappa catastale ottenuta verrà impiegata nel paragrafo successivo per un confronto con la ‘Carta dell’uso agricolo SIARL’ a livello della singola particella.

Prima di questo confronto alla scala delle singole particelle, è stato analizzato l’uso agricolo del buffer di Lodi nel suo complesso, utilizzando le informazioni sugli usi e le relative superfici presenti nel file di testo.

La distribuzione colturale ricavata dai dati catastali è riportata in Tabella 3.15. Il mais ricopre quasi la metà dell’area analizzata dividendosi tra il mais da granella (circa il 37%) e l’insilato di mais (circa il 12%). La seconda coltivazione è costituita dal prato polifita da vicenda, che riveste all’incirca il 16% del suolo agricolo complessivo. A seguire, in misura minore, troviamo la soia da granella (6%) e il frumento tenero (5%).

UTILIZZI PARTICELLE CATASTALI	SUPERFICIE [ha]	[%]
GRANO (FRUMENTO) TENERO	103,80	4,58
GRANO (FRUMENTO) DURO	0,36	0,02
FRUMENTO SEGALATO (TRITICALE)	9,76	0,43
SEGALE	19,98	0,88
ORZO	42,54	1,88
FABBRICATI AGRICOLI	18,46	0,81
BOSCO MISTO	48,23	2,13
CEDUO COMPOSTO	0,01	0,00
ALTRE PIANTE ARBOREE DA LEGNO	6,67	0,29
PIOPPETO	11,25	0,50
ALBERI DA BOSCO - SUPERFICI IMBOSCHITE AI SENSI DEL REG.(CE) N. 1698/05 MISURA 221 - CICLO BREVE (BIOMASSA)	14,78	0,65
ALBERI DA BOSCO - SUPERFICI IMBOSCHITE AI SENSI DEL REG.(CE) N. 1698/05 MISURA 221 - ARBORICOLTURA DA LEGNO	2,80	0,12
ALBERI DA BOSCO - SUPERFICI IMBOSCHITE AI SENSI DEL REG.(CE) N. 1257/99 MISURA H - ARBORICOLTURA DA LEGNO	6,96	0,31
ALBERI DA BOSCO - SUPERFICI IMBOSCHITE AI SENSI DEL REG.(CE) N. 1257/99 MISURA H - BOSCHI PERMANENTI	2,42	0,11
SUPERFICI IMBOSCHITE PER ARBORICOLTURA DA LEGNO (REG. CEE 2080/92)	0,31	0,01
FIORI E PIANTE ORNAMENTALI IN PIENA ARIA	1,55	0,07
VIVAIO FLORICOLI E PIANTE ORNAMENTALI	0,46	0,02
FAGIUOLO FRESCO	0,78	0,03
PIANTE ORTICOLE A PIENO CAMPO	6,13	0,27
ORTO FAMILIARE	0,22	0,01
ALTRE ORTICOLE	1,59	0,07
ERBA MEDICA	55,81	2,46
PRATO POLIFITA DA VICENDA	357,81	15,79
PRATO POLIFITA NON AVVICENDATO (PRATO STABILE)	3,89	0,17
ALTRE FORAGGERE	13,36	0,59
ERBAIO DI GRAMINACEE	52,82	2,33
ERBAIO MISTO	1,88	0,08
MELO	0,15	0,01
PERO	0,16	0,01
ALTRE PIANTE ARBOREE DA FRUTTO	2,03	0,09
ALTRE COLTIVAZIONI LEGNOSE AGRARIE	0,70	0,03
MAIS DA GRANELLA	838,16	36,99
SILOMAIS E MAIS CEROSO	268,17	11,84
SOIA DA GRANELLA	139,80	6,17
COLZA E RAVIZZONE DA GRANELLA	9,42	0,42
PISELLO SECCO	8,19	0,36
PIANTE, PARTI DI PIANTE, SEMI E FRUTTI DI SPECIE UTILIZZATE IN PROFUMERIA, MEDICINA O PREPARAZIONE DI INSETTICIDI	0,24	0,01
FRUTTI DELLA SPECIE ARONIA ARBUTIFOLIA, SPINO MERLO E SAMBUCO	0,56	0,02
PIANTE AROMATICHE, MEDICINALI, DA CONDIMENTO	0,92	0,04
TARE E INCOLTI	168,99	7,46
ALTRA SUPERFICIE NON UTILIZZATA (TERRENI ABBANDONATI, ATTIVITA' RICREATIVE)	2,92	0,13
SEMINATIVI RITIRATI DALLA PRODUZIONE PER IMBOSCHIMENTO EX REG. CEE 2080/92	9,28	0,41
RIPOSO VOLONTARIO - COPERTURA VEGETALE SEMINATA O SPONTANEA	26,83	1,18
RIPOSO VOLONTARIO - COLTURE A PERDERE PER LA FAUNA - MISCUGLIO DI SORGO, GRANOTURCO E GIRASOLE	3,02	0,13
SUPERFICI AGRICOLE NON SEMINATE - DISATTIVATE	1,44	0,06
SUPERFICIE TOTALE	2.265,62	100,00

Tabella 3.15 - Distribuzione degli utilizzi agricoli del 2012 per il buffer di Lodi secondo i dati catastali.

Le colture sono state poi accorpate nelle classi omogenee SIARL (Tabella 3.8) per poter effettuare un confronto con la distribuzione colturale ottenibile dalla 'Carta dell'uso agricolo SIARL'. I grafici in Figura 3.7 ed in Figura 3.8 mostrano l'uso del suolo del 2012 per il buffer di Lodi ottenuto, rispettivamente, dai dati catastali e dalla Carta SIARL.

Le due distribuzioni sono molto simili per quanto concerne gli utilizzi prevalenti sia in termini di specie colturale sia in termini di estensione. Infatti, in entrambi i casi, il mais è la prima classe colturale ed occupa una superficie di circa 1.100 ettari, le foraggere rappresentano la seconda coltura principale e si estendono per 470 – 480 ettari, al terzo posto troviamo la classe degli altri cereali con un'estensione di 150 – 170 ettari. Sono molto simili anche i valori relativi alle coltivazioni orticole e florovivaistiche, mentre sono molto diverse le aree antropizzate. Questa differenza è dovuta al fatto che nella carta SIARL sono inclusi anche usi non agricoli tra cui le zone urbanizzate, gli insediamenti produttivi, le reti di comunicazione che rientrano nella classe delle aree antropizzate; nel catasto agricolo sono presenti unicamente i dati d'uso agricolo e le uniche aree antropizzate sono costituite dai fabbricati agricoli.

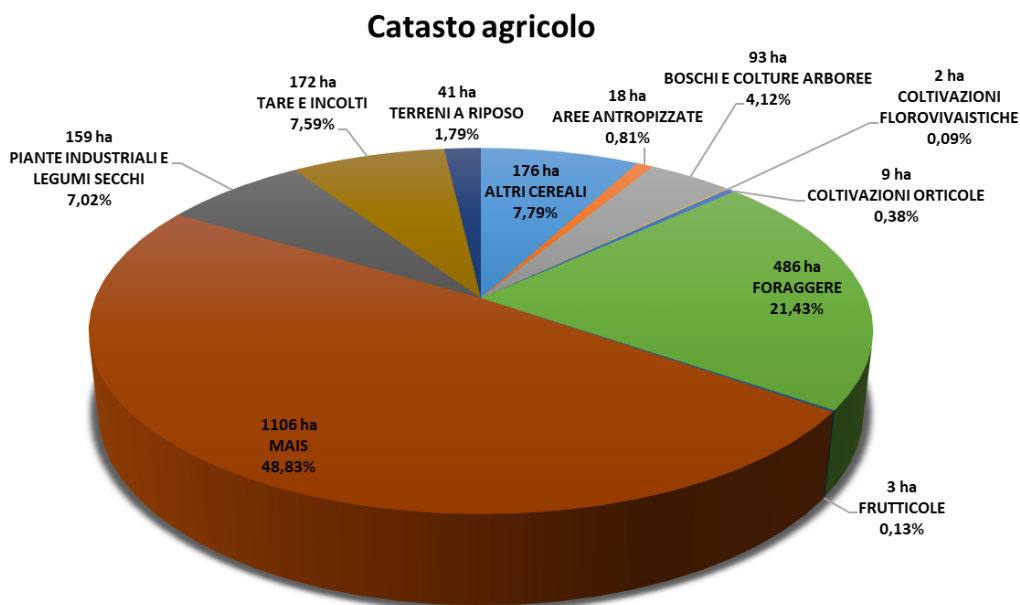


Figura 3.7 - Uso agricolo del buffer di Lodi nel 2012 derivato dagli utilizzi dichiarati nel catasto agricolo.

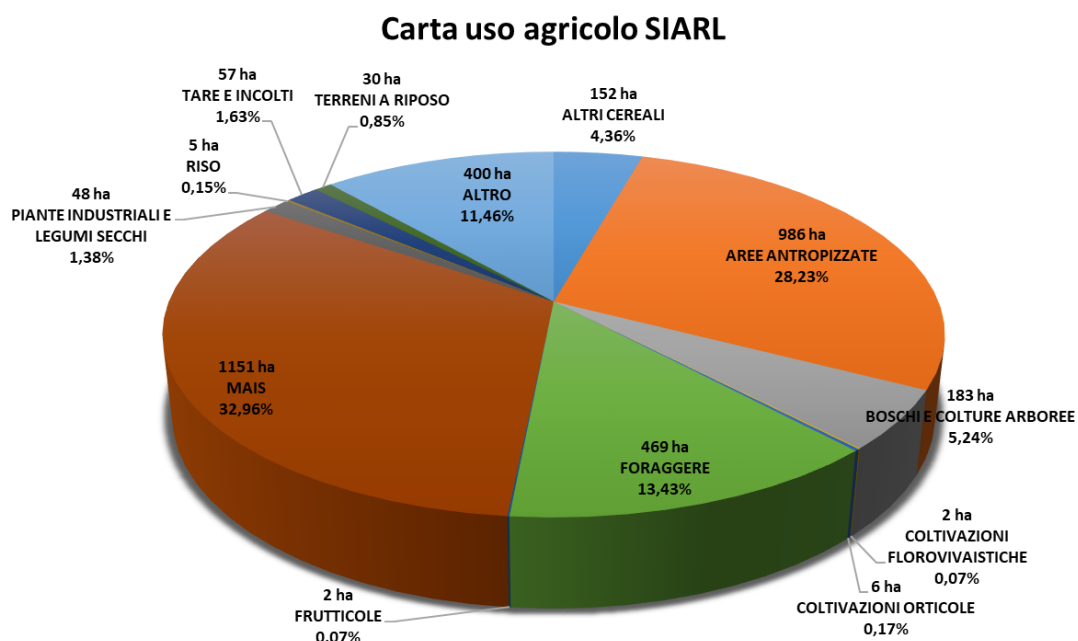


Figura 3.8 - Uso agricolo del buffer di Lodi nel 2012 derivato dalla Carta dell'uso agricolo SIARL.

Quindi, ricapitolando, quando si vuole analizzare l'uso agricolo di una data area di studio in Lombardia, è possibile scegliere tra due diverse fonti di dati corrispondenti a due diversi livelli di dettaglio:

- 1) la Carta dell'uso agricolo SIARL, scaricabile dal Geoportale della Lombardia, che permette un'analisi alla micro-scala e che fornisce una rappresentazione cartografica dell'uso del suolo della zona di interesse mostrando soltanto il tipo di coltivazione principale di ciascuna particella;
- 2) i dati del catasto agricolo dichiarati nei fascicoli aziendali, scaricabili dal database SIARL, che permettono un'analisi alla scala della particella catastale e che forniscono tutte le informazioni d'uso relative alle singole particelle in formato testo, tra cui le specifiche tipologie colturali e le relative superfici utilizzate, e i poligoni delle particelle stesse in formato vettoriale.

3.4.1 Confronto tra la Carta dell'uso agricolo SIARL e i dati del catasto agricolo alla scala della singola particella catastale: osservazioni

Dopo aver analizzato l'uso agricolo complessivo del buffer di Lodi confrontando le distribuzioni colturali ottenute dalle due fonti sopraccitate, è stato fatto un confronto tra le due stesse fonti a livello della particella catastale. Tale raffronto è stato fatto per controllare che le coltivazioni rappresentate sulla mappa dell'uso agricolo corrispondessero effettivamente alle

colture principali di ogni particella e, in generale, per verificare la corrispondenza tra le due tipologie di dato.

Per prima cosa la carta raster dell'uso agricolo è stata convertita in una carta vettoriale con geometria poligonale tramite il software ArcGIS, in modo da ricondurla allo stesso formato della mappa catastale. La Figura 3.9 e la Figura 3.10 mostrano, rispettivamente, la mappa raster originale e lo shapefile risultante dalla vettorializzazione con la relativa tabella attributi in cui si vede come ad ogni poligono sia associato una certa classe di utilizzo.

Allo shapefile dell'uso agricolo è stato quindi sovrapposto lo shapefile del catasto agricolo. Poi, per poter confrontare direttamente gli utilizzi dei due dataset, è stato generato un nuovo layer contenente gli attributi tabellari di entrambi gli shape di origine attraverso lo strumento Union di ArcGIS. Il risultato di questa operazione è riportato in Figura 3.11.

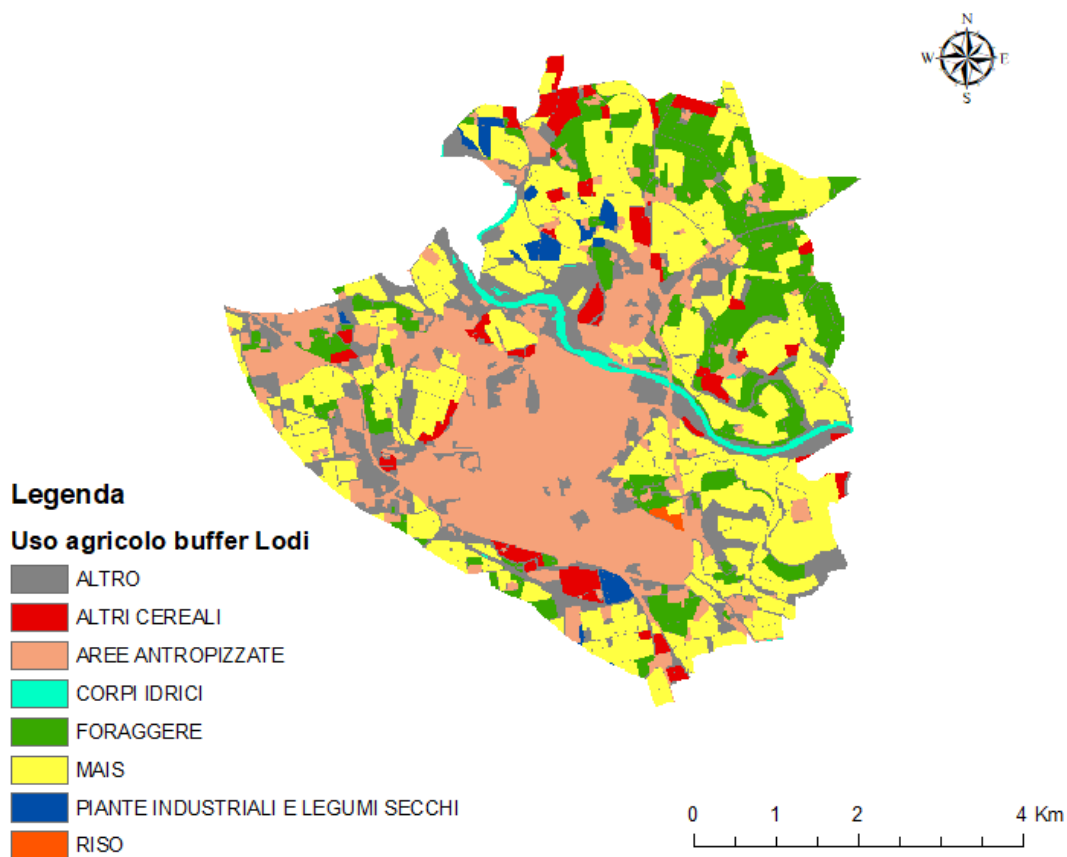


Figura 3.9 - Carta in formato raster dell'uso agricolo del 2012 per il buffer di Lodi.

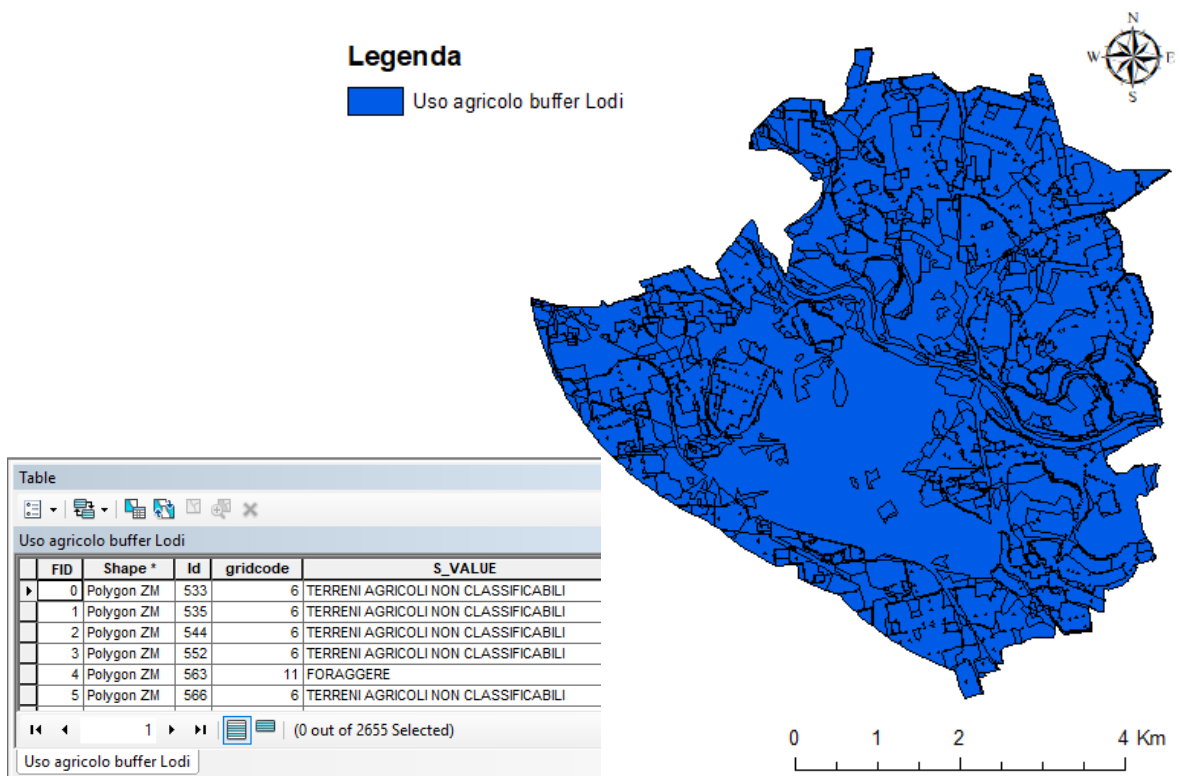


Figura 3.10 - Carta in formato vettoriale dell'uso agricolo del 2012 per il buffer di Lodi e relativa tabella degli attributi.

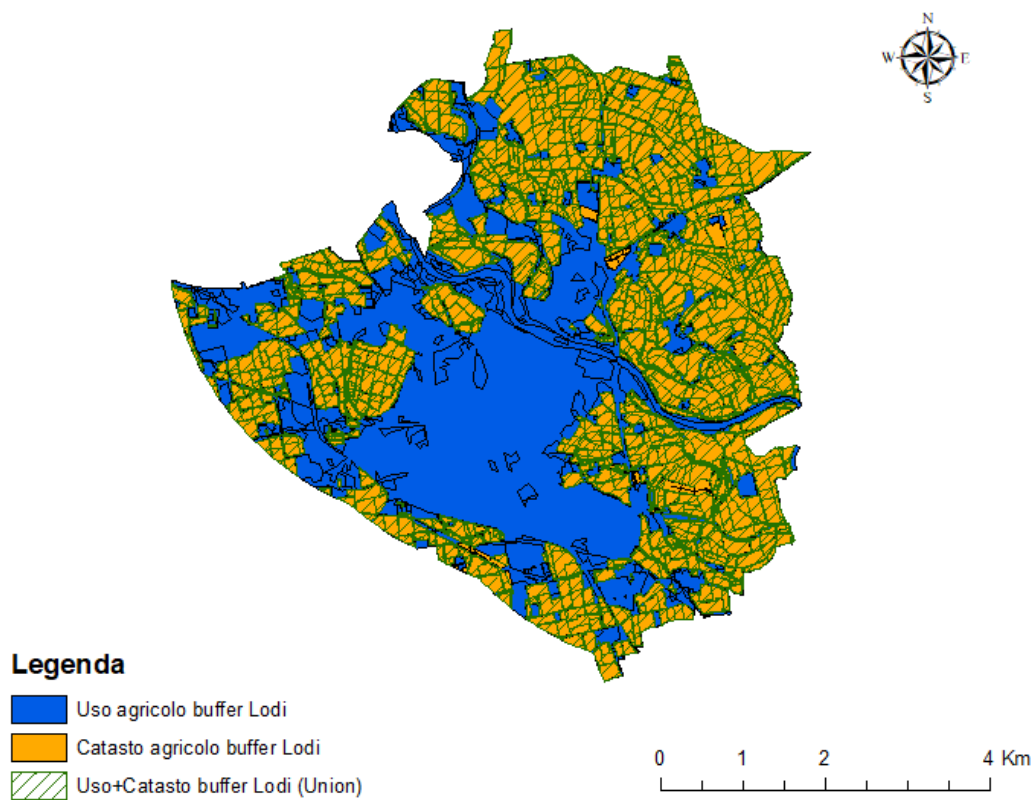


Figura 3.11 - Sovrapposizione e unione di uso agricolo e catasto agricolo per il buffer di Lodi.

La tabella degli attributi del layer risultante dall'unione di uso agricolo e catasto è stata esportata in Excel e riorganizzata nella Tabella 3.16 mantenendo solamente i campi necessari per l'analisi sugli utilizzi del suolo. Le tipologie colturali del catasto sono state riclassificate secondo le 21 classi accorpate della carta dell'uso agricolo SIARL per automatizzare la comparazione dei due dataset; inoltre, sono state calcolate le superfici dei vari utilizzi in termini percentuali per verificare quali fossero le coltivazioni principali di ogni appezzamento.

CATASTO AGRICOLO											CARTA USO AGRICOLO SIARL		
ID PARTICE	UTILIZZO 1	SUP 1 (%)	UTILIZZO 2	SUP 2 (%)	UTILIZZO 3	SUP 3 (%)	UTILIZZO 4	SUP 4 (%)	UTILIZZO 5	SUP 5 (%)	SUP TOT (%)	UTILIZZO	CORRISPONDENZA
553435	MAIS	96,88	TARE E INCOLTI	3,12		0,00		0,00		0,00	100,00	TERRENI AGRICOLI NON CLASSIFICABILI	NO
553435	MAIS	96,88	TARE E INCOLTI	3,12		0,00		0,00		0,00	100,00	TARE E INCOLTI	SI
553435	MAIS	96,88	TARE E INCOLTI	3,12		0,00		0,00		0,00	100,00	ALTRI CEREALI	NO
553435	MAIS	96,88	TARE E INCOLTI	3,12		0,00		0,00		0,00	100,00	MAIS	SI
553980	MAIS	102,89		0,00		0,00		0,00		0,00	102,89	MAIS	SI
553980	MAIS	102,89		0,00		0,00		0,00		0,00	102,89	AREE ANTROPIZZATE	NO
553980	MAIS	102,89		0,00		0,00		0,00		0,00	102,89	MAIS	SI
554038	MAIS	100,00	ALTRI CEREALI	100,00		0,00		0,00		0,00	200,00	AREE ANTROPIZZATE	NO
554038	MAIS	100,00	ALTRI CEREALI	100,00		0,00		0,00		0,00	200,00	ALTRI CEREALI	SI
554038	MAIS	100,00	ALTRI CEREALI	100,00		0,00		0,00		0,00	200,00	FORAGGERE	NO
554038	MAIS	100,00	ALTRI CEREALI	100,00		0,00		0,00		0,00	200,00	AREE ANTROPIZZATE	NO
555897	MAIS	93,23	TARE E INCOLTI	6,77	FORAGGERE	93,23		0,00		0,00	193,23	MAIS	SI
...

Tabella 3.16 - Confronto tra gli utilizzi delle particelle catastali e della carta dell'uso agricolo SIARL per il buffer di Lodi.

Innanzitutto, analizzando la tabella, si osserva che ciascuna particella risulta scomposta in più porzioni a causa della sovrapposizione di due strati aventi geometrie differenti. Infatti, come si legge nei metadati della carta dell'uso agricolo, le geometrie degli strati informativi potrebbero in alcuni casi non corrispondere ai reali limiti dei singoli appezzamenti. Quindi il confronto è stato fatto a livello di queste sottoparticelle.

Da questo raffronto sono emersi i seguenti aspetti:

- all'interno dell'area considerata ogni particella catastale può presentare al massimo 5 tipologie di uso agricolo differenti;
- solamente per circa il 40% delle sottoparticelle comprese nell'area di studio, l'utilizzo inserito nella carta SIARL corrisponde ad almeno uno degli utilizzi dichiarati nel catasto (Tabella 3.16: celle evidenziate in azzurro);
- tra le sottoparticelle per cui è verificata una corrispondenza, nel 25% dei casi l'utilizzo della carta SIARL non coincide con l'uso prevalente nella particella (Tabella 3.16: seconda riga);

- di conseguenza soltanto per il 30% delle sottoparticelle vi è conformità tra dati catastali e la carta di uso agricolo e l'uso visibile sulla carta SIARL corrisponde effettivamente all'utilizzo con la superficie maggiore all'interno della particella.

Pertanto si può concludere che la Carta di uso agricolo SIARL rispecchia in modo alquanto approssimativo i reali utilizzi dichiarati per le singole particelle catastali. Quindi un qualsiasi soggetto interessato ad un'analisi del suolo agricolo dovrebbe basarsi sui dati dichiarati nei fascicoli aziendali, piuttosto che sulla mappa SIARL, per ottenere dei risultati più rappresentativi.

Questa comparazione ha permesso inoltre di rilevare altri due aspetti, evidenziati nella tabella sottostante, che riguardano esclusivamente le informazioni contenute nel catasto agricolo.

CATASTO AGRICOLO											
ID PARTICE	UTILIZZO 1	SUP 1 (%)	UTILIZZO 2	SUP 2 (%)	UTILIZZO 3	SUP 3 (%)	UTILIZZO 4	SUP 4 (%)	UTILIZZO 5	SUP 5 (%)	SUP TOT (%)
553433	TARE E INCOLTI	100,00		0,00		0,00		0,00		0,00	100,00
553435	MAIS	96,88	TARE E INCOLTI	3,12		0,00		0,00		0,00	100,00
553980	MAIS	102,89		0,00		0,00		0,00		0,00	102,89
554038	MAIS	100,00	ALTRI CEREALI	100,00		0,00		0,00		0,00	200,00
2643992	TARE E INCOLTI	100,00		0,00		0,00		0,00		0,00	100,00
555926	MAIS	91,53	TARE E INCOLTI	8,47	FORAGGERE	91,53		0,00		0,00	191,53
555929	BOSCHI E COLTURE ARBOREE	100,00		0,00		0,00		0,00		0,00	100,00
555941	MAIS	95,86	TARE E INCOLTI	4,14		0,00		0,00		0,00	100,00
...

Tabella 3.17 - Analisi sugli utilizzi e le relative superfici delle particelle catastali.

Il primo aspetto emerso è che 8 particelle delle 1409 incluse nel buffer di Lodi (0,57%) presentano un utilizzo con una superficie in percentuale che da sola supera il 100% (Tabella 3.17: celle evidenziate in rosso); ciò significa che per queste particelle è stata inserita evidentemente un'informazione errata tra i dati del catasto, ovvero la superficie dichiarata per quell'uso supera l'area catastale complessiva.

ID_PARTICE	UTILIZZO_1	SUP_CATASTALE	SUP_CONDOTTA_1
553980	MAIS DA GRANELLA	4006	4100

Tabella 3.18 - Informazioni estratte dal file di testo del catasto agricolo.

Il secondo aspetto rilevato è che 55 particelle delle 1409 analizzate (3,90%) hanno una superficie totale in percentuale superiore al 100% (Tabella 3.17: celle evidenziate in giallo). Per quanto riguarda queste particelle si è pensato che potesse essere un problema legato all'avvicendamento colturale, cioè la tecnica agricola che prevede l'alternanza di due o più specie agrarie nello stesso appezzamento, con lo scopo di migliorare o mantenere la fertilità del terreno e garantire una maggiore resa. Per verificare tale ipotesi è stata fatta un'analisi sulle 55 particelle, prendendo in considerazione il campo "PROGRESSIVO ROTAZIONE" incluso tra i dati del file di testo del catasto agricolo. La seguente tabella mostra i risultati per le due particelle che presentavano questo problema nella Tabella 3.17.

PARTICELLE	UTILIZZO			PROGRESSIVO ROTAZIONE			SUP CONDOTTA 1		SUP CONDOTTA 2		SUP CONDOTTA 3		SUP CONDOTTA TOTALE		
	ID_PARTICE	UTIL_1	UTIL_2	UTIL_3	UTIL_1	UTIL_2	UTIL_3	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]
554038	MAIS	ALTRI CEREALI		1	2		13000	100,00	13000	100,00				13000	100,00
555926	MAIS	TARE E INCOLTI	FORAGGERE	2	1	1	37700	91,53	3490	8,47	37700	91,53	41190	100,00	

sempre	rotaz_1	rotaz_2
--------	---------	---------

Tabella 3.19 - Analisi sulla rotazione delle colture.

I risultati hanno confermato l'ipotesi della rotazione colturale; può esserci una destinazione d'uso fissa (quasi sempre tare e incolti) e due o tre tipi di colture che si alternano nel tempo. Le successioni colturali emerse sono generalmente: mais e foraggiere (graminacee), mais ed altri cereali (orzo, segale, frumento), altri cereali (orzo) e piante industriali e legumi secchi (soia). All'interno di questa pratica agricola si distinguono tre tipologie principali di colture:

- colture miglioratrici (prati e leguminose come erba medica, trifoglio, soia): incrementano la fertilità del terreno, garantendo un adeguato apporto di sostanza organica ed aumentando il contenuto di elementi nutritivi, in particolare di azoto, e inoltre ostacolano lo sviluppo delle erbe infestanti;
- colture da rinnovo o preparatrici (mais, sorgo, colza, girasole, patata, pomodoro, ecc.): rinnovano il terreno lasciandolo in condizioni migliori delle preesistenti non tanto per le caratteristiche intrinseche delle colture quanto per le lavorazioni e le concimazioni operate dall'uomo (lavorazioni profonde e letamazioni abbondanti);
- colture depauperanti (cereali autunno-vernini quali frumento, orzo, avena, farro, ecc.): lasciano il terreno con minor fertilità al termine del ciclo poiché assorbono grandi quantità di sostanze nutritive, in particolare l'azoto.

La rotazione colturale deve essere organizzata mantenendo un'alternanza tra queste colture: una coltura depauperante deve essere seguita sempre da una migliorativa in modo da ripristinare la fertilità del suolo.

L'avvicendamento colturale è un aspetto rilevante da tenere in considerazione quando si effettua una valutazione dei danni all'agricoltura, poiché in base alla coltura in atto al momento dell'alluvione, cambia il valore esposto sul terreno e quindi cambia il danno subito. Questo aspetto sottolinea dunque l'importanza della data in cui si verifica l'evento quale parametro di pericolosità da utilizzare nella stima dei danni alle colture.

4 Derivazione del modello di danno per il settore agricolo

Nel seguente capitolo viene esposta la metodologia per la derivazione di un modello atto alla valutazione dei danni provocati al settore agricolo. Dall'idea iniziale di utilizzare i dati relativi all'alluvione del 2002 per costruire un modello di tipo empirico, si è passati al tentativo di trasferire le curve di danno sviluppate in altri Paesi al contesto Padano; quindi si è arrivati alla scelta finale di definire un nuovo modello attraverso un approccio sintetico, traendo vantaggio di tutte le informazioni desunte dallo studio dei modelli esistenti.

4.1 Metodo 1: modello empirico

L'approccio di tipo empirico si basa sull'utilizzo dei dati di danno raccolti posteriormente ad eventi alluvionali per la generazione di nuove curve di danno.

Il proposito iniziale consisteva appunto nell'andare a costruire delle funzioni empiriche adatte per l'area di interesse, a partire dai dati relativi all'evento alluvionale del novembre 2002. Il problema è che, come spiegato nel capitolo 2, in quella occasione non si osservarono danni alle coltivazioni, ma unicamente al suolo agricolo per via del periodo in cui si verificò l'alluvione. Inoltre, mancavano informazioni circa le variabili di pericolosità dell'evento, quali l'altezza idrica e la durata di permanenza dell'acqua sui terreni agricoli. Pertanto, a causa dell'assenza di dati, non è stato possibile seguire questo tipo di approccio.

4.2 Metodo 2: applicazione delle curve di danno disponibili in letteratura

Data l'impossibilità di derivare le curve di danno per via empirica, il secondo passo è stato quello di ricercare e studiare i modelli esistenti su scala mondiale.

Esaminando la letteratura, è emerso che in Italia non sono stati ancora sviluppati dei modelli di danno per il settore agricolo. Di conseguenza sono stati dapprima analizzati i modelli derivati in altri stati europei ed extra-europei e sono stati selezionati quelli considerati trasferibili alla nostra area di interesse in base ai seguenti criteri: fascia climatica e tipologia degli eventi alluvionali dell'area geografica considerata, tipi di colture presenti, calendari colturali delle diverse colture.

4.2.1 Stato dell'arte

1) *Dutta et al., 2003 (Giappone)*

Nello studio giapponese di Dutta et al. (2003) viene proposto un modello integrato dato dalla combinazione di un modello idrologico distribuito, fisicamente basato e un modello matematico distribuito per la stima dei danni alluvionali per tre categorie di danno: urbano, rurale e il danno alle infrastrutture. L'area di studio scelta per la prima applicazione di tale modello è il bacino del fiume Ichinomiya, che si estende per circa 220 km² nella prefettura giapponese di Chiba.

Il modello matematico di danno è costituito da curve relative ricavate empiricamente dai dati raccolti durante indagini post-evento a partire dal 1954. Queste funzioni restituiscono il danno percentuale per ogni elemento presente sul territorio in funzione dei parametri di pericolosità simulati con il modello idrologico: altezza idrica e durata di sommersione.

Per quanto riguarda il settore agricolo, il modello considera tre tipologie di danno rurale: il danno alle colture, il danno ai fabbricati agricoli e il danno alle infrastrutture. Ponendo l'attenzione sulla prima tipologia, il danno medio assoluto alle colture agricole in ogni cella (i, j) dell'area allagata è calcolato con la seguente equazione:

$$AD(i, j) = \sum_{k=1}^n [D_m(i, j, k) \cdot CRP_a(i, j, k) \cdot mn(k)]$$

dove $D_m(i, j, k) = CP_k \cdot Y_k \cdot DC_k(i, j)$

- AD è il danno totale alle colture nella cella (i, j)
- n è il numero totale di colture
- k è la tipologia colturale
- D_m è il danno alla coltura k per unità di area
- CRP_a è l'area totale della coltura k nella cella (i, j)
- mn è il fattore di perdita per la coltura k che dipende dal periodo dell'anno
- CP_k è il prezzo per unità di peso della coltura k
- Y_k è la resa media annua per unità di area della coltura k
- DC_k è il danno in percentuale calcolato con la funzione di danno per la coltura k

Le funzioni di danno DC , derivate per otto classi colturali differenti, sono espresse in funzione dell'altezza dell'acqua e della durata dell'evento nella forma esponenziale seguente:

$$DC = c_1 \cdot e^{(c_2 \cdot t)}$$

- DC è il danno relativo (in percentuale)
- c_1 e c_2 sono i coefficienti di ogni classe colturale che variano con l'altezza idrica
- t è la durata evento

I coefficienti c_1 e c_2 di ogni classe colturale per tre diversi range di altezza idrica (0,2 - 0,5 m; 0,51 - 0,99 m; ≥ 1 m) sono riportati in Tabella 4.1. Le curve di danno sviluppate per le otto categorie di coltivazioni sono rappresentate graficamente in Figura 4.1.

Oltre i parametri di pericolosità (altezza d'acqua e durata di sommersione), si tiene conto del periodo dell'anno in cui si verifica l'inondazione tramite il coefficiente di perdita mn di cui però non vengono forniti i valori e spiegazioni più specifiche; si dice semplicemente che il danno relativo DC ottenuto dalla funzione di danno può essere incrementato o ridotto applicando il fattore moltiplicativo mn per tenere conto della variabilità del danno in funzione del mese e quindi della stagione di crescita della coltura al momento dell'alluvione.

Group (Group id)	Coefficient of stage-damage functions					
	Depth: 0.2 m - 0.5 m		Depth: 0.5 m - 1.0 m		Depth: 1.0 m and above	
	c_1	c_2	c_1	c_2	c_1	c_2
Green vegetables (1)	16.152	0.206	21.368	0.1749	29.452	0.1413
Vegetables with roots (2)	30.636	0.1383	47.188	0.0993	55.091	0.0893
Melon (3)	14.901	0.1816	18.216	0.2105	26.962	0.1669
Bean (4)	15.27	0.1599	17.275	0.1968	29.495	0.1329
Sweet potato (5)	25.455	0.1343	29.092	0.1859	65.322	0.0658
Chinese cabbage (6)	6.9692	0.3083	15.998	0.2468	26.765	0.1995
Paddy (7)	12.72	0.2197	13.77	0.2357	34.471	0.1251

Tabella 4.1 - Coefficienti delle funzioni di danno per i diversi gruppi colturali (Fonte: Dutta et al., 2003).

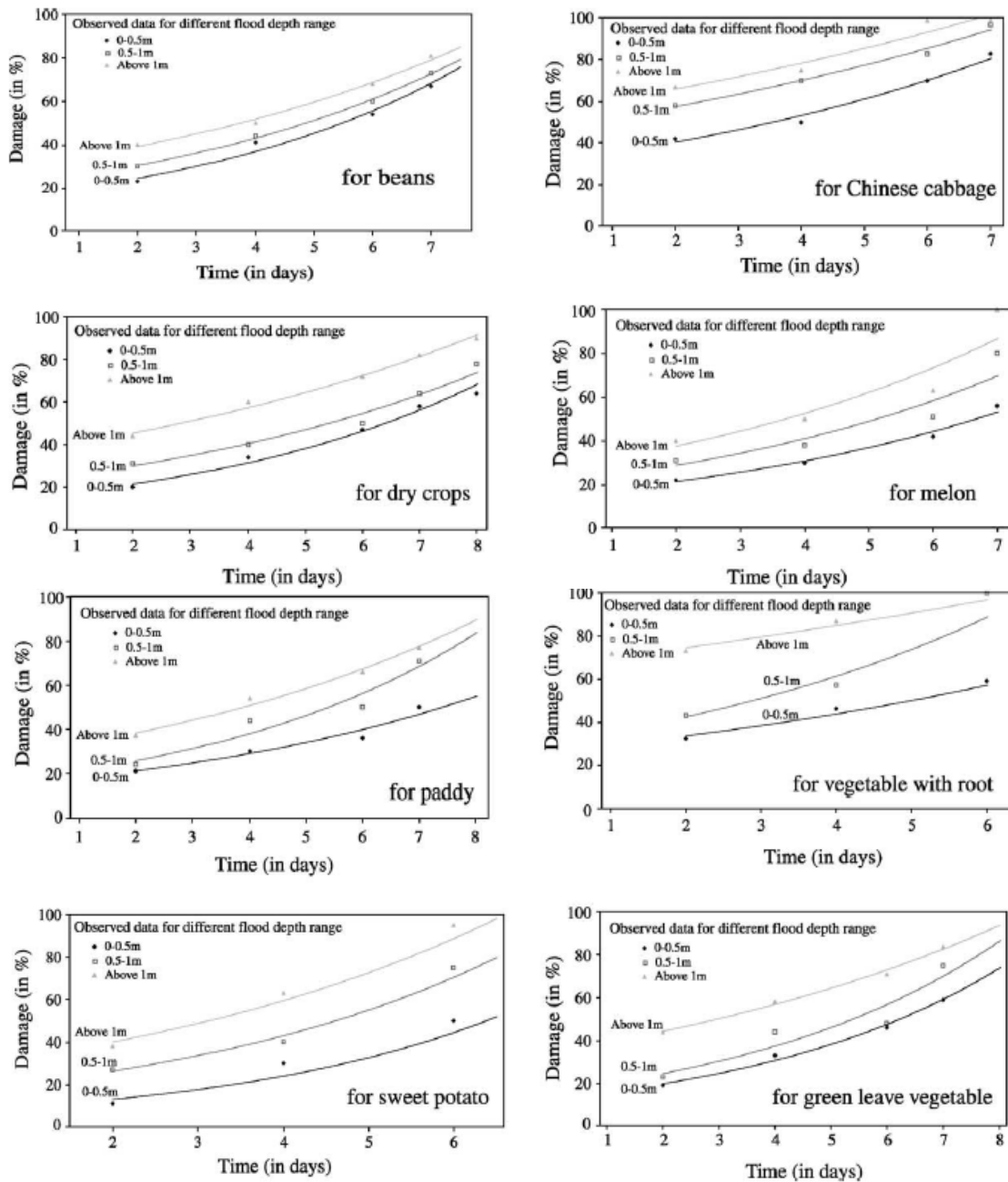


Figura 4.1 - Curve di danno sviluppate per i diversi tipi di colture agricole (Fonte: Dutta et al., 2003).

2) Forster et al., 2008 – modello MEDIS (Germania)

L'obiettivo dello studio di Forster et al. (2008) è una valutazione del rischio alluvionale per un'area di laminazione rurale situata lungo la sponda destra del fiume Elba nello stato federale tedesco della Sassonia-Anhalt tra le città di Torgau e Wittenberg.

Per definizione, il rischio alluvionale è dato dalla combinazione del danno potenziale e della probabilità di inondazione (Merz et al., 2010).

Per tenere conto sia della variabilità stagionale del danno ad aree agricole sia della probabilità di occorrenza dell'evento, gli autori propongono la stima del rischio attraverso due approcci corrispondenti a due scale temporali differenti, una mensile e l'altra annuale.

Il modello di stima del danno su scala mensile è quello sviluppato da un gruppo di ricercatori tedeschi dal 2005 al 2008 all'interno del progetto "Methods for the Evaluation of Direct and Indirect Flood Losses" (MEDIS). Seguendo questo approccio, il danno atteso per ogni coltura è definito come:

$$ED = MV \cdot \sum_{m=1}^{12} PM_m \cdot DI_m$$

- ED sono i danni attesi per ettaro all'anno in termini assoluti (perdite monetarie) [€ ha⁻¹ a⁻¹]
- MV è il valore di mercato calcolato come prodotto tra la resa totale ed il prezzo di vendita della coltura considerata [€ ha⁻¹]
- m è il mese
- PM_m è la probabilità di occorrenza di eventi centennali nel mese m [a⁻¹]
- DI_m è il danno relativo alle colture per il mese m [%]

Il danno DI_m viene calcolato tramite funzioni di danno relative che dipendono dal tipo di coltura, dal mese in cui si verifica l'evento e dalla durata di inondazione. La Tabella 4.2 riporta i valori di DI relativi al grano e al prato per i diversi mesi dell'anno e per diverse durate dell'evento.

Questi valori derivano sia da dati empirici raccolti in Germania e in Francia (LfUG, 2005) sia dalle conoscenze di esperti in materia. Quindi MEDIS (2008) è un modello di tipo misto empirico-sintetico.

Analizzando la Tabella 4.2, si osserva come il danno percentuale DI aumenti con la durata dell'evento e come vari durante l'anno raggiungendo il valore massimo nei mesi del raccolto. Infatti, il grano subisce una perdita totale (100%) nella stagione di raccolta (Luglio, Agosto) e una perdita minima durante la semina (Ottobre, Novembre). Il prato rappresenta un'eccezione rispetto alle altre colture poiché viene tagliato e raccolto tre volte l'anno (Maggio, Luglio, Agosto) (calendari colturali visibili in Tabella 4.10). La resa annuale totale si distribuisce durante l'anno nei tre raccolti con una media annua del 50%, 20% e 30%, rispettivamente; di

conseguenza le perdite del prato sono inferiori rispetto a tutte le altre colture e non raggiungono mai il 100% perché viene danneggiata solo una frazione del raccolto annuale totale. Inoltre, il danno al prato risulta indipendente dalla durata dell'inondazione.

Quindi la distribuzione dei danni nel corso dei mesi sembra seguire la distribuzione dei costi di produzione sostenuti durante il processo colturale: maggiori sono i costi sostenuti al momento dell'alluvione, maggiori sono i danni risultanti.

inundation duration	Wheat				Grassland
	1–3 days (%)	4–7 days (%)	8–11 days (%)	> 11 days (%)	1–11 days (%)
January	5	10	20	80	5
February	5	10	20	80	5
March	5	10	20	80	10
April	10	25	40	80	20
May	20	40	70	100	50
June	50	50	80	100	15
July	100	100	100	100	20
August	100	100	100	100	30
September	0	0	0	0	10
October	5	10	20	80	10
November	5	10	20	80	10
December	5	10	20	80	10

Tabella 4.2 - Fattori di danno per il grano ed il prato per i diversi mesi dell'anno raggruppati in differenti classi di durata (Fonte: Forster et al., 2008).

Seguendo l'approccio annuale, i danni attesi per ogni coltura sono calcolati come:

$$ED = MV \cdot RD \cdot PA$$

- ED sono i danni attesi assoluti [$\text{€ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]
- MV è il valore di mercato [€ ha^{-1}]
- RD sono i costi di danno relativo [%]
- PA è la probabilità di occorrenza di eventi centennali [a^{-1}]

L'approccio mensile fornisce delle stime del rischio più accurate perché tiene conto della variazione stagionale della pericolosità e dal danno potenziale all'agricoltura. D'altra parte l'approccio annuale richiede una minore quantità di dati e tempi di calcolo inferiori.

3) Klaus et al., 2016 - modello MEDIS (Germania)

Gli autori di tale pubblicazione riprendono il modello di danno MEDIS anticipato in Forster et al. (2008), con lo scopo di analizzare il rischio alluvionale stagionale per le colture agricole su scala nazionale. In questo studio vengono fornite informazioni più dettagliate sul modello MEDIS (2008), tra cui la rappresentazione grafica delle funzioni di danno relativo.

Analogamente allo studio precedente, viene presa in considerazione la variazione stagionale del danno alle colture e della probabilità di inondazione. Per quanto riguarda il danno potenziale alle colture, il modello MEDIS (2008) considera la stagionalità su base mensile, la durata dell'alluvione suddivisa in quattro categorie (1-3 giorni; 4-7 giorni; 8-11 giorni; >11 giorni) e il tipo di coltura. In funzione di questi fattori, il modello stima il danno potenziale relativo per le diverse specie colturali [% ha⁻¹], corrispondente alla riduzione percentuale della resa media annua [€ ha⁻¹]. Per una valutazione monetaria, lo studio considera anche il danno potenziale assoluto [€ ha⁻¹], moltiplicando il danno relativo fornito dalle curve per il valore di mercato specifico di ciascuna coltura.

Per quanto concerne invece l'occorrenza stagionale delle inondazioni, la Germania può essere suddivisa in tre regioni caratterizzate da regimi alluvionali differenti. La regione occidentale è dominata da alluvioni invernali; nella regione orientale le alluvioni si verificano sia tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera sia in estate; mentre nella Germania meridionale prevalgono i fenomeni estivi.

La Figura 4.2 mostra la probabilità di inondazione stagionale (curva nera) e la vulnerabilità stagionale delle colture (curve colorate) per un evento con tempo di ritorno di 5 anni alla stazione di Dresda, situata nella parte orientale della Germania lungo il fiume Elba. La vulnerabilità è rappresentata sia in termini di danno potenziale relativo [% ha⁻¹], nei grafici a sinistra, che in termini di danno potenziale assoluto [€ ha⁻¹], nei grafici a destra, e per due classi di durata: $d = 1-3$ giorni (linea continua) e $d > 11$ giorni (linea tratteggiata).

Si nota che il danno alle coltivazioni aumenta con il procedere delle pratiche agrarie e quindi dei relativi costi, raggiungendo il massimo livello appena prima dell'operazione di raccolta e ritornando al valore minimo subito dopo.

Si osserva inoltre l'effetto della durata: all'incrementare del numero dei giorni di inondazione, le perdite tendono a crescere, ma la loro variabilità stagionale diminuisce; infatti, per lunghe durate, le colture sono altamente vulnerabili indipendentemente dal mese in cui si verifica l'alluvione. La curva di vulnerabilità del grano non è altro che la rappresentazione grafica del fattore *DI* riportato in forma tabellare da Forster et al. (2008) (Tabella 4.2).

Combinando la curva di vulnerabilità con la curva della probabilità di inondazione è possibile ottenere una curva raffigurante la variazione stagionale del rischio alluvionale per ogni coltura.

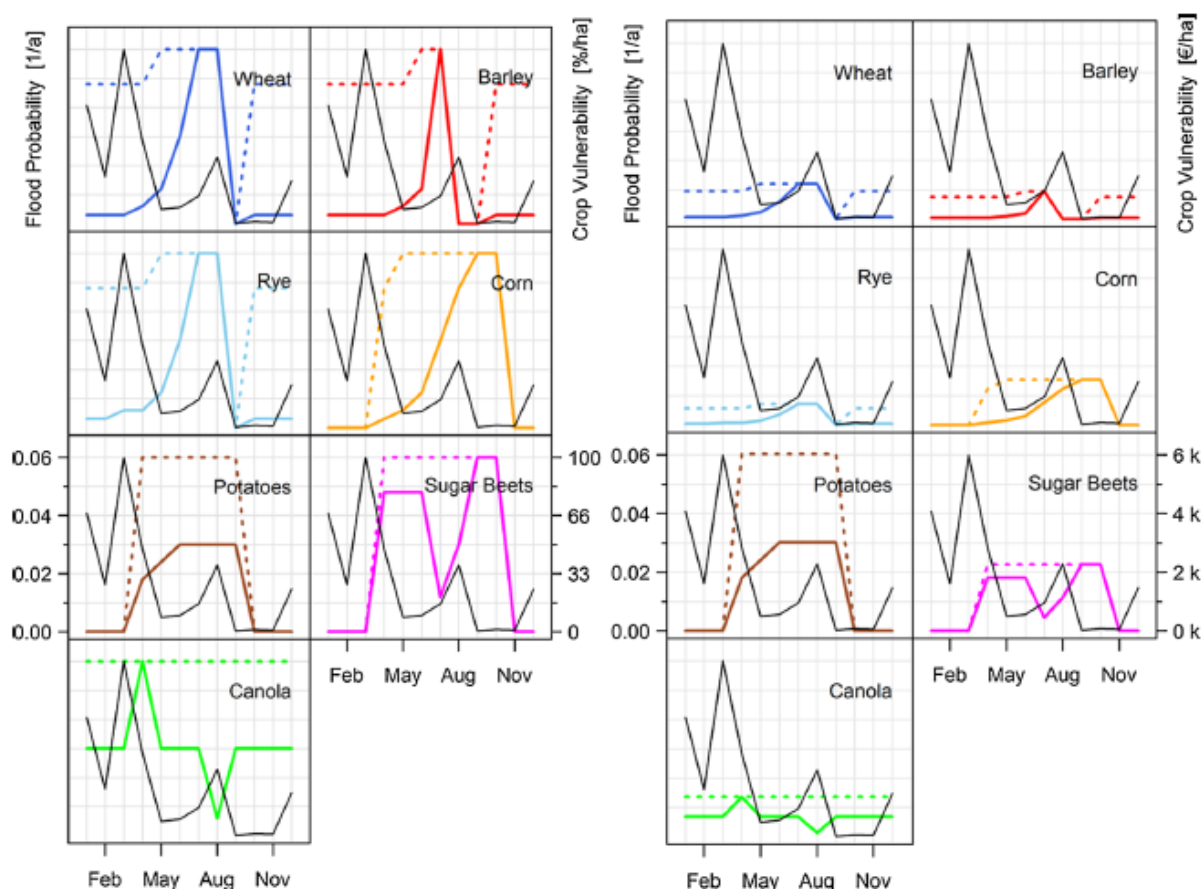


Figura 4.2 - Probabilità di inondazione stagionale e vulnerabilità stagionale delle colture per un evento alluvionale con TR = 5 anni, alla stazione di Dresda (Fonte: Klaus et al., 2016).

4) Citeau, 2003 (Francia)

Citeau (2003) presenta una metodologia per la stima del danno alluvionale nelle zone rurali situate nel Bacino del fiume Oise (Francia settentrionale). L'area di studio comprende tre tipologie di copertura del suolo: aree agricole, aree naturali ed aree boschive.

Il punto di partenza di questo studio è costituito dalla guida proposta dall'Agenzia dell'Acqua francese (Water Agencies, 1998), riportata in Tabella 4.3. Tale tabella fornisce, per ogni uso del suolo e per le varie stagioni, i massimi valori accettabili di durata di sommersione, altezza idrica, velocità della corrente e frequenza alluvionale sotto cui le piante riescono a resistere senza riportare gravi danni; i massimi livelli tollerabili sono stati stabiliti mediante questionari e sondaggi condotti tra gli agricoltori francesi.

Vulnerability criteria → Land cover ↓	Flood season	Maximum submersion time	Maximum depth of flood waters	Maximum submersion frequency	Maximum flow velocity
Vegetables Field vegetables Horticulture	spring	Instantaneous to 1 d		5 years	0.25 m/s
	summer/autumn	1 to 3 d		5 years	0.25 m/s
Greenhouses	all year	1 to 3 d	1 m	5 years	
Land cultivated in spring	spring/summer	8 d		5 years	
	winter	1 month		1 year	
	autumn	1 month		1 year	
Land cultivated in winter	winter	1 month		10 years	
	spring/summer	3 d		1 year	
	autumn	8 d		1 year	
Vine plants	summer	instantaneous	0.5 m	10 years	0.25 m/s
	autumn	instantaneous	0.5 m	10 years	0.25 m/s
	winter	1 month	0.5 m	5 years	
Orchards	spring/summer	1 d	1 m	10 years	0.5 m/s
	forest crown	3 to 5 d		1 year	0.3 m/s
	soil	1 month		1 year	
Permanent grassland	spring	10 d		1 year	
	autumn/winter	1 month			
Woodland, forest		1 week to 1 month		1 year	

Tabella 4.3 - Linee guida - Massimi valori accettabili per le diverse aree rurali (Fonte: Citeau, 2003).

Prendendo come riferimento questi valori ed utilizzando le informazioni raccolte da fonti bibliografiche e tramite incontri con esperti, sono state definite delle funzioni di danno sintetiche per le principali tipologie colturali presenti nell'area di studio. Si tratta di schede informative che forniscono il danno alluvionale in percentuale per ogni coltura in funzione di quattro parametri di pericolosità:

- mese dell'anno: ci possono essere delle caselle vuote corrispondenti al periodo del calendario colturale in cui la particella di terreno è spoglia o comunque il danno alla pianta è da considerarsi irrilevante;
- durata di sommersione: quattro classi corrispondenti al numero dei giorni di sommersione (D3, D7, D11, D15);
- altezza dell'acqua: tre classi di profondità (H1, H2, H3);
- velocità della corrente: tre classi (V1, V2, V3).

A titolo di esempio, viene mostrata la scheda di danno per il mais in Figura 4.3. È evidente come il danno cresca all'aumentare dell'altezza, della velocità e del numero di giorni di permanenza delle acque alluvionali; per lunghe durate (D15) si ha sempre perdita totale indipendentemente dalla variabilità degli altri fattori.

Citeau (2003) sottolinea il fatto che queste schede siano solamente dei modelli teorici; per poterli impiegare nella pratica, a seguito di una effettiva alluvione, è necessario utilizzare le osservazioni di campo per correggere e adattare questi valori teorici alle diverse specifiche situazioni.

D = Durée submersion (en jours) y compris temps de ressuyage		H = Hauteur d'eau (en m)			V = Vitesse (en m/s)		
Nbre de jours	Code	Mètre	Code	Mètre/sec	Code		
3	D3	< à 0,5	H1	< à 0,25	V1		
7	D7	[0,5 à 1]	H2	[0,25 à 1]	V2		
11	D11	> 1	H3	> à 1	V3		
15	D15						

		dégâts en pourcentage (en rouge pour tout ce qui est à 100%)											
		D3			D7			D11			D15		
		V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3
Cultures	MAÏS	Janvier	H3										
			H2										
			H1										
	Février	H3											
		H2											
		H1											
	Mars	H3											
		H2											
		H1											
	Avril	H3	30	60	90	100	100	100	100	100	100	100	100
		H2	20	40	60	100	100	80	100	100	100	100	100
		H1	10	20	30	100	100	40	80	100	60	100	100
Mai	H3	30	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H2	20	40	80	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H1	10	20	40	100	100	80	100	100	100	100	100	
Juin	H3	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H2	40	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H1	20	40	80	100	100	80	100	100	100	100	100	
Juillet	H3	30	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H2	20	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H1	10	30	100	100	100	60	80	100	100	100	100	
Août	H3	30	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H2	20	40	100	100	100	80	100	100	100	100	100	
	H1	10	20	60	100	100	40	80	100	60	100	100	
Septembre	H3	30	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H2	20	40	100	100	100	80	100	100	100	100	100	
	H1	10	20	60	100	100	40	80	100	100	100	100	
Octobre	H3	30	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H2	20	40	100	100	100	80	100	100	100	100	100	
	H1	10	20	60	100	100	40	80	100	100	100	100	
Novembre	H3	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	H2	40	80	100	100	100	80	100	100	100	100	100	
	H1	20	40	60	100	100	40	80	100	100	100	100	
Décembre	H3												
	H2												
	H1												

Informations théoriques susceptibles de modifications selon les aléas locaux

Figura 4.3 - Scheda informativa del danno alluvionale relativo per il mais (Fonte: Citeau, 2003).

5) *Agenais et al., 2013 (Francia)*

Quello di Agenais et al. (2013) è sicuramente lo studio più approfondito e completo disponibile in letteratura allo stato attuale. Si tratta del lavoro di ricerca compiuto da un gruppo di studiosi francesi dal 2011 al 2013 con l'obiettivo di realizzare una guida metodologica per la valutazione dei danni alluvionali al settore agricolo. Tramite un'analisi completa di tutti i modelli esistenti in letteratura e attraverso numerosi incontri con esperti di agraria e agricoltori colpiti da passati eventi alluvionali, i ricercatori hanno sviluppato delle funzioni di danno sintetiche a scala nazionale.

Dal momento che le caratteristiche agricole (calendari colturali, rese, prezzi di vendita di ogni coltura) variano fortemente a seconda della regione considerata, è difficile costruire delle curve di danno valide per un'intera nazione; di conseguenza le curve nazionali sviluppate in questo studio sono delle funzioni di base che devono essere adattate localmente per ottenere le funzioni di danno specifiche per una determinata zona di interesse della Francia.

A differenza dei modelli presentati finora, che valutano quasi esclusivamente il danno alle coltivazioni, Agenais et al. (2013) considerano tutte le componenti dell'azienda agricola per garantire la stima dei danni più completa possibile: colture e materiale vegetale perenne (vigneti, frutteti, ecc.), terreno, bestiame, materiali immagazzinati, attrezzi e macchinari, fabbricati agricoli, attrezzature e impianti presenti sul suolo agricolo (es. sistema di irrigazione). Tuttavia, per l'obiettivo del seguente elaborato, viene riportata solamente la parte relativa alle colture e al materiale vegetale.

Secondo gli studiosi francesi il danno alle colture deve essere valutato in termini di perdita del valore aggiunto, ossia della differenza tra la produzione lorda e i consumi intermedi. La produzione lorda per ettaro di una determinata coltura è data dalla sua resa unitaria moltiplicata per il prezzo di vendita del prodotto raccolto. I consumi intermedi corrispondono alle spese sostenute per la produzione della medesima coltura a partire dalla fase di preparazione del terreno fino all'operazione di raccolta (sementi, fertilizzanti, diserbanti, macchinari, manodopera, ecc.). Il danno alle colture e alle piante perenni è quindi calcolato con la seguente espressione:

$$D = \Delta VA = \Delta \text{Produit} - \Delta CI = \Delta \text{Produit}_R + \Delta \text{Produit}_{P_V} - \Delta CI$$

dove:

- D sono i danni alle colture e alle piante per la stagione dell'inondazione e per le stagioni successive
- ΔVA è la variazione del valore aggiunto

- $\Delta\text{Produit}$ è la variazione della produzione lorda
- ΔCI è la variazione dei consumi intermedi
- $\Delta\text{Produit}_R$ è la variazione della produzione legata alla variazione della resa
- $\Delta\text{Produit}_{P_V}$ è la variazione della produzione legata alla variazione del prezzo di vendita

Pertanto, la perdita di valore aggiunto conseguente ad una inondazione è data in primo luogo dalla riduzione della produzione lorda che, a sua volta, può essere dovuta sia ad una riduzione della resa sia ad una riduzione del prezzo di vendita della coltura danneggiata; infatti, le alluvioni possono provocare una degradazione della qualità del prodotto finale raccolto e quindi il conseguente abbassamento del suo prezzo di vendita.

In secondo luogo, il danno alle colture può comportare una variazione dei consumi intermedi dovuta all'adattamento delle pratiche di produzione alla situazione post-evento: operazioni agrarie aggiuntive necessarie per il recupero parziale o totale delle colture inondate (es. applicazione aggiuntiva di antiparassitari e diserbanti, risemina delle piante andate perse), mancato svolgimento delle operazioni rimanenti a causa della perdita totale della coltura (es. mancato raccolto in caso di abbandono della coltivazione).

Dopo aver spiegato brevemente la metodologia proposta da Agenais et al. (2013) per la valutazione economica delle perdite legate alle colture agricole, di seguito ci si concentrerà sull'analisi delle funzioni di danno derivate per le principali tipologie colturali coltivate in Francia. Tali funzioni esprimono la diminuzione della resa della pianta in termini percentuali in funzione dei seguenti parametri di pericolosità: data d'inondazione (settimana), durata di sommersione (giorni), altezza idrica (cm). Le Figure 4.4, 4.5 e 4.6 mostrano le funzioni di danno per le colture di maggior interesse per il nostro caso di studio: mais, cereali autunno-vernini (grano, orzo) e prato. Il danno è dunque espresso in funzione della durata, per due diverse altezze d'acqua (acqua molto bassa nel grafico superiore, acqua che sovrasta l'intera pianta nel grafico inferiore) e per i diversi stadi vegetativi (asse orizzontale inferiore) che si distribuiscono durante l'anno secondo il calendario colturale di ciascuna coltura (asse orizzontale superiore). La vulnerabilità delle colture è considerata omogenea per tutta la durata di uno stadio vegetativo. Queste funzioni sono state costruite in caso di velocità dell'acqua trascurabili.

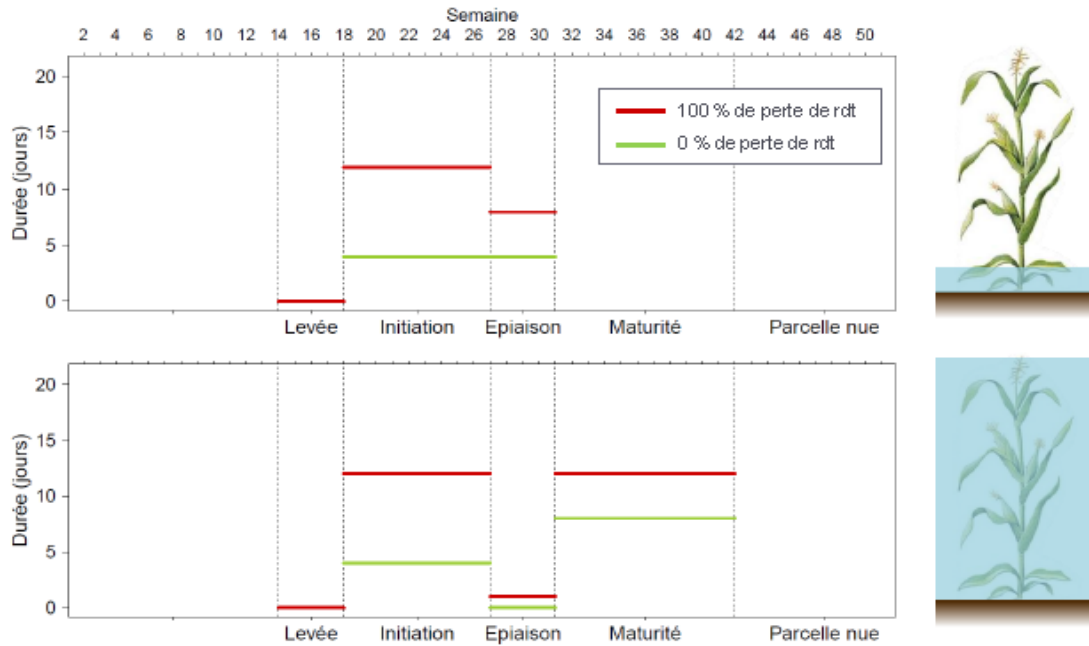


Figura 4.4 - Funzioni di perdita di rendimento per il mais (Fonte: Agenais et al., 2013).

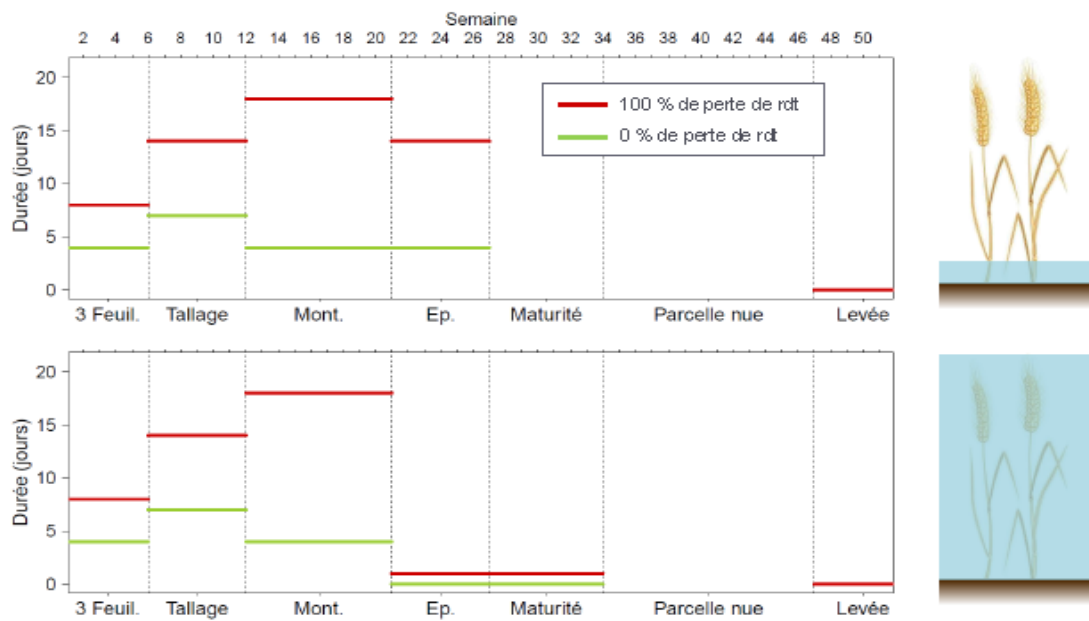


Figura 4.5 - Funzioni di perdita di rendimento per il grano e per l'orzo (Fonte: Agenais et al., 2013).

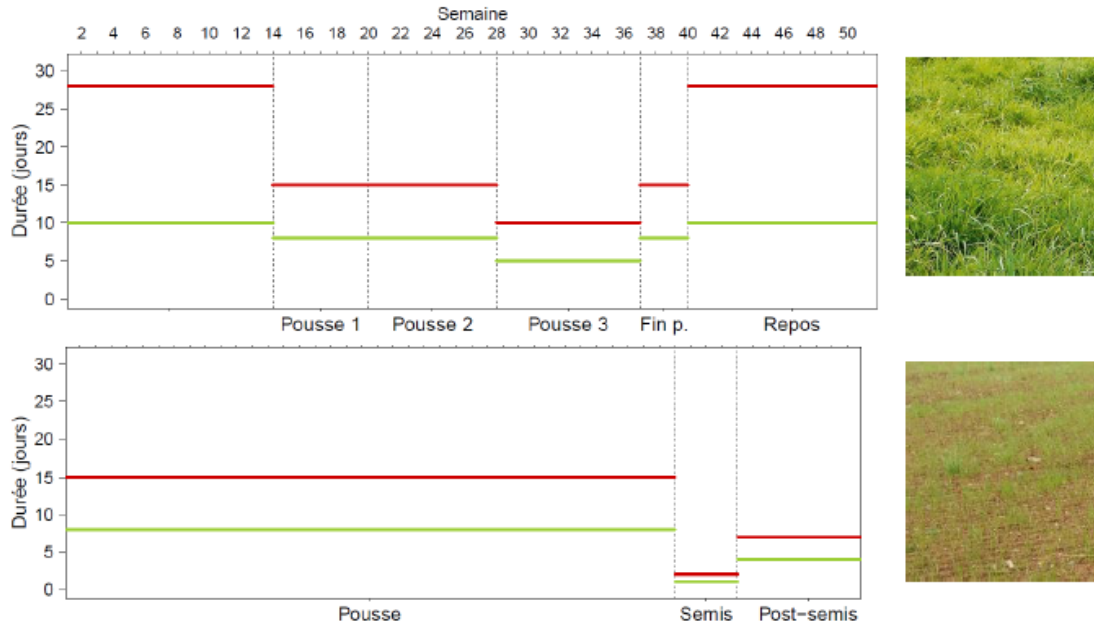


Figura 4.6 - Funzioni di perdita di rendimento per il prato (Fonte: Agenais et al., 2013).

Per comprendere meglio le perdite di resa sopra rappresentate, Agenais et al. (2013) forniscono in aggiunta dei grafici più dettagliati che mostrano tali perdite in funzione della durata e dell'altezza idrica per ciascun stadio vegetativo della pianta. Come esempio, in Figura 4.7, vengono illustrati i grafici per la coltura principale della nostra area di studio, il mais. Si ipotizza che la perdita di rendimento vari linearmente dal valore minimo (0%) corrispondente al colore bianco al massimo (100%) corrispondente al colore rosso.

Allo stadio di germinazione (Fig. 4.7 – grafico A) la pianta è molto fragile e quindi le perdite sono totali appena si verifica un'alluvione; in questa fase non è possibile distinguere l'effetto né dell'altezza d'acqua né della durata di sommersione. Durante il periodo di crescita (Fig. 4.7 – grafico B) le riduzioni di resa iniziano dopo quattro giorni di inondazione e sono totali dopo dodici giorni; anche in questo stadio le perdite sono indipendenti dall'altezza raggiunta dall'acqua. Durante la fioritura (Fig. 4.7 – grafico C) la pianta è più vulnerabile rispetto allo stadio precedente poiché le spighe, ancora in formazione, sono molto sensibili al contatto con l'acqua; è in questa fase che entra in gioco l'altezza d'acqua: per un'altezza inferiore a 130 cm le diminuzioni di resa iniziano dopo quattro giorni di inondazione e sono totali dopo otto, mentre per un'altezza idrica superiore a 130 cm, quindi con le spighe potenzialmente a contatto con l'acqua, le perdite iniziano appena c'è un'inondazione e sono totali dopo soltanto un giorno di sommersione.

L'altezza idrica utilizzata come limite (130 cm) corrisponde proprio all'altezza delle spighe del mais. Per finire, allo stadio di maturazione (Fig. 4.7 – grafico D) la pianta è ormai al termine del suo ciclo biologico e dunque un'inondazione non ha alcun effetto sul suo metabolismo; inoltre il rischio di germinazione delle spighe è minore rispetto alla fase precedente perché a questo punto i grani sono secchi. Quindi per un'altezza d'acqua inferiore a 130 cm non c'è alcuna perdita di rendimento, mentre quando l'acqua supera i 130 cm le perdite cominciano dopo otto giorni e raggiungono il 100% dopo dodici giorni di inondazione.

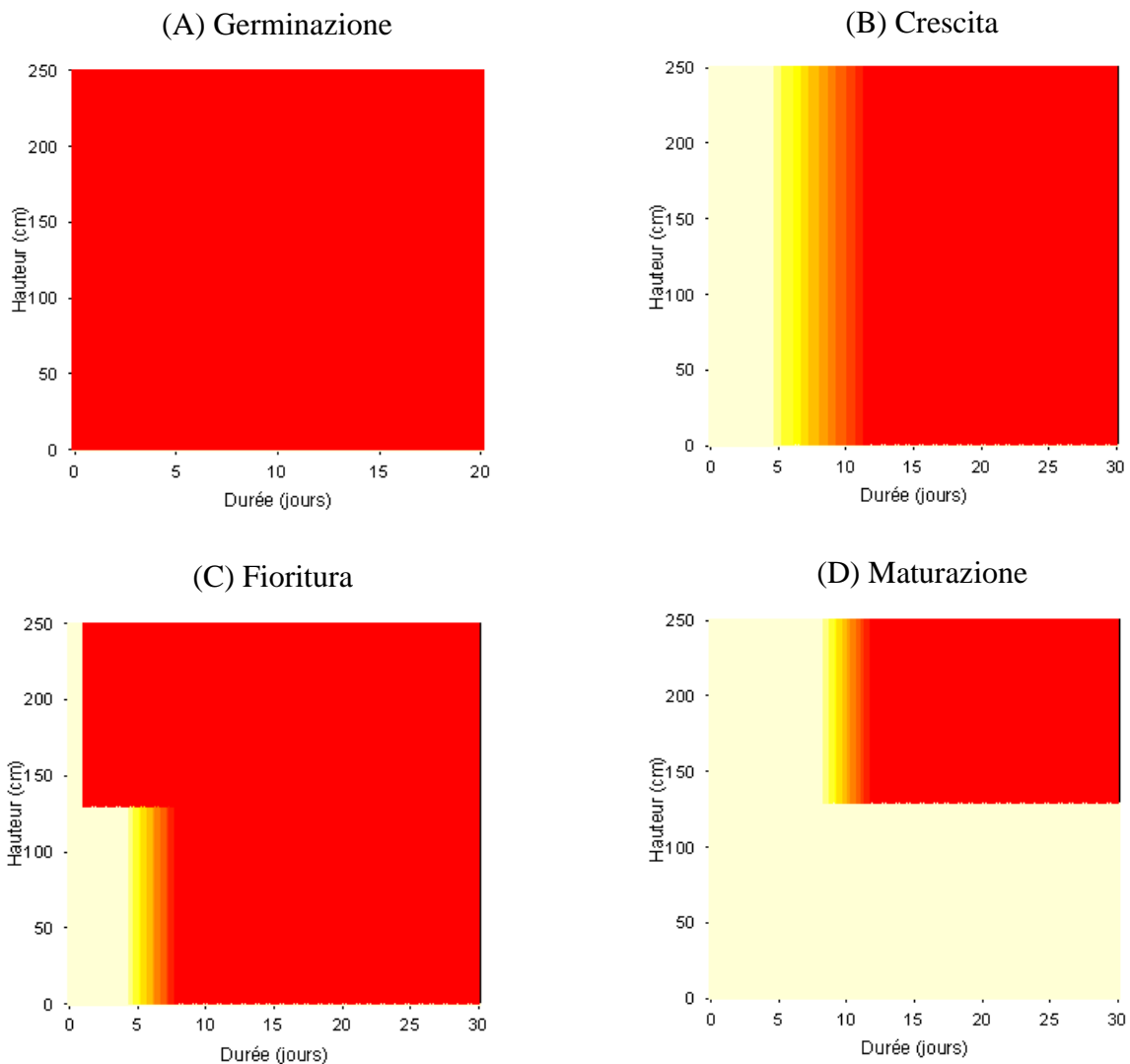


Figura 4.7 - Perdita di rendimento per il mais ai diversi stadi vegetativi: (A) germinazione, (B) crescita, (C) fioritura, (D) maturazione (Fonte: Agenais et al., 2013).

6) Kok et al., 2004 – Metodo Standard (Paesi Bassi)

Nei Paesi Bassi è stato sviluppato un metodo standard per la valutazione dei danni da alluvione. Esso considera numerose categorie di beni esposti tra cui le aree agricole, gli edifici residenziali e non, le aree ricreative, i veicoli e le infrastrutture. Molte di queste categorie sono suddivise ulteriormente in base alla tipologia di danno in: danni diretti (danni fisici ai beni inondati), danni indiretti primari (es. interruzione di un'attività) e danni indiretti secondari (perdite che si riscontrano al di fuori dell'area alluvionata).

Nel Metodo Standard il danno economico complessivo è calcolato sommando i danni stimati per ciascuna categoria di esposizione secondo la seguente formula:

$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i n_i S_i$$

- S è il danno economico totale causato da un'alluvione
- i è la categoria di esposizione (tipologia di uso del suolo)
- n è il numero totale di categorie incluse nell'area alluvionata
- α_i è il fattore di danno della categoria i (valore compreso tra 0 e 1)
- n_i è il numero di unità (es. case) nella categoria i
- S_i è il massimo danno per unità nella categoria i

Il fattore di danno α_i è derivato da una funzione di danno. Attraverso un approccio di tipo misto empirico-sintetico sono state costruite le funzioni di danno, una per ciascuna categoria, che rappresentano il fattore α_i in funzione dei parametri di pericolosità quali l'altezza d'acqua e la velocità della corrente.

Il fattore di danno per agricoltura ed aree ricreative è espresso in funzione della sola altezza idrica d , come rappresentato graficamente in Figura 4.8.

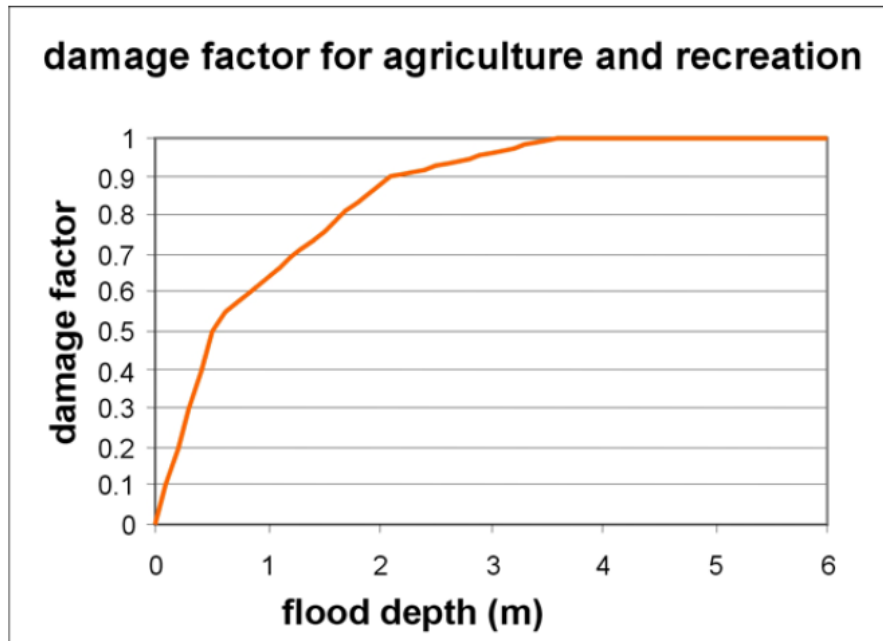


Figura 4.8 - Fattore di danno per agricoltura ed aree ricreative (Fonte: Kok et al., 2004).

7) Hoes and Schuurmans, 2006 (Paesi Bassi)

Il governo olandese ha predisposto un programma di azione per preparare i sistemi idrici nazionali ai cambiamenti futuri (cambiamento climatico, subsidenza, sviluppi del territorio), che si presume porteranno ad un incremento sia dei danni sia della frequenza delle alluvioni e dunque ad un aumento del rischio alluvionale. Pertanto, sono necessarie nuove misure di protezione idraulica che possano far fronte agli eventi futuri.

In questo studio, in particolare, vengono esaminati gli impatti del cambiamento climatico sul rischio alluvionale nell'area di Westeramstel, un polder situato nella parte occidentale dei Paesi Bassi. Hoes e Schuurmans (2006) comparano un set di misure proposte, tra cui la realizzazione di due bacini di espansione, attraverso un'analisi costi-benefici. I costi coincidono con i costi di realizzazione delle nuove misure di protezione, mentre i benefici corrispondono alla riduzione del rischio annuale conseguente all'implementazione delle misure medesime.

Il danno assegnato ad ogni elemento presente sul territorio è calcolato mediante le curve di danno relativo riportate in Figura 4.9, che rappresentano il danno percentuale in funzione dell'altezza d'acqua, e i dati forniti dall'Istituto di Ricerca Agroalimentare olandese LEI (LEI, 2004) raccolti in Tabella 4.4. Nel grafico si osservano le tre funzioni danno-altezza costruite per tre tipologie generiche di copertura del suolo: colture, prato ed aree residenziali.

La tabella mostra la funzione utilizzata per ogni specifico uso del suolo e il danno economico massimo corrispondente.

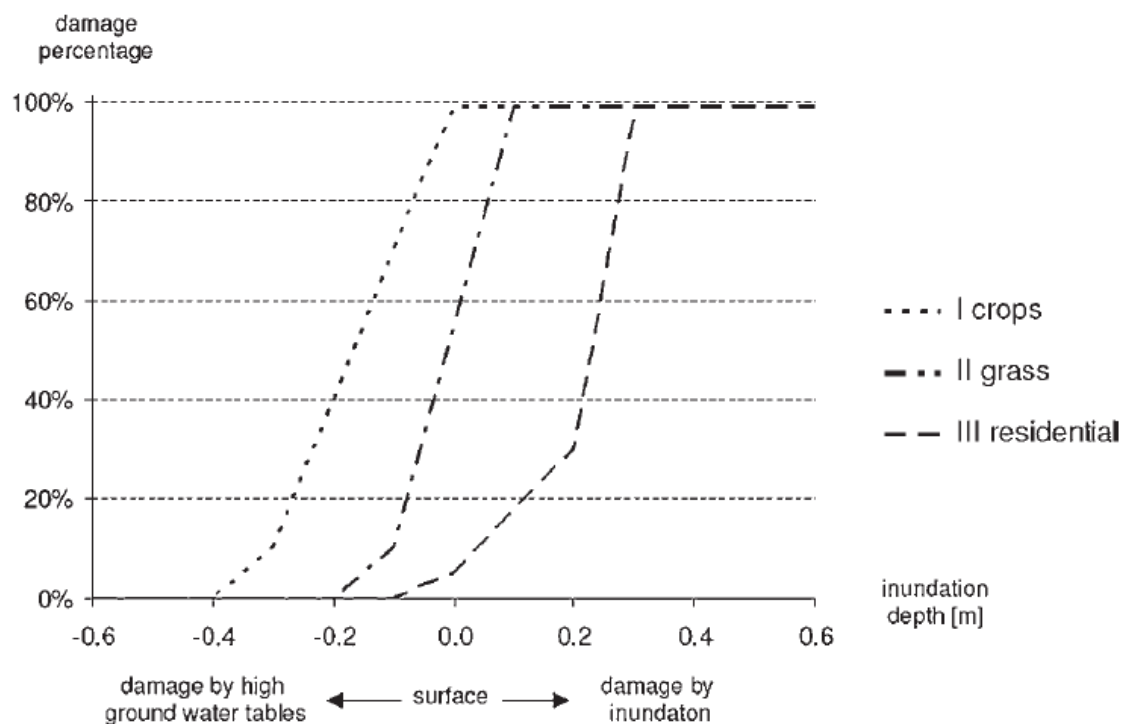


Figura 4.9 - Funzioni danno-altezza idrica (Fonte: Hoes and Schuurmans, 2006).

Class	Damage function	Maximum damage (€ ha ⁻¹)
Pastures	II	1000
Maize	II	1000
Cereals	I	1500
Sugar beet	I	2000
Potatoes	I	2500
Other agricultural crops	I	3500
Flower bulb cultivation	I	25 000
Orchards	II	100 000
Main roads and rail roads	III	100 000
Greenhouses	III	225 000
Buildings in agricultural area	III	225 000
Buildings in rural area	III	225 000
Urban area	III	225 000

Tabella 4.4 - Danno massimo e funzione di danno per ogni classe di uso del suolo (Fonte: Hoes and Schuurmans, 2006).

8) Modello HAZUS - AGDAM (USA)

Il modello HAZUS è stato sviluppato dall'ente statunitense FEMA (Federal Emergency Management Agency), a partire dagli anni '90, con lo scopo di creare una metodologia standard per la stima delle perdite provocate dai principali rischi naturali, incluso quello alluvionale.

Per quanto concerne i danni al settore agricolo, il modello HAZUS consente di determinare il danno fisico diretto alle colture; questa sezione del modello si basa in buona parte sulla metodologia sviluppata da USACE (U.S. Army Corps of Engineers) nel modello AGDAM (Agriculture Damage Assessment Model) nel 1985 (USACE, 1985).

Data l'ampia varietà di prodotti agricoli coltivati su tutto il territorio degli Stati Uniti e considerando il numero relativamente limitato delle funzioni di danno disponibili, il team del progetto ha scelto di considerare solamente i prodotti principali di ogni stato. La Tabella 4.5 raccoglie le 40 colture attualmente incluse nel modello HAZUS.

Crop Type	Crop Type	Crop Type
Alfalfa Hay	Apples	Bahiagrass
Barley	Bromegrass-Alfalfa Hay	Common Bermudagrass
Corn	Corn Silage	Corn, Sweet
Cotton Lint	Crested Wheatgrass-Alfalfa Hay	Flax
Grain Sorghum	Grapes, Wine	Grass Hay
Grass-Clover	Grass-Legume Hay	Improved Bermudagrass
Kentucky Bluegrass	Oats	Oranges
Orchard Grass	Orchardgrass-Alfalfa Hay	Peanuts
Pears	Potatoes, Irish	Reed Canarygrass
Rice	Smooth Bromegrass	Soybeans
Sugar Beets	Tall Fescue	Tall Fescue-Ladino
Timothy-Red Clover Hay	Tobacco	Tomatoes
Trefoil-Grass Hay	Watermelons	Wheat
Wheat, Winter		

Tabella 4.5 - Tipi di colture attualmente disponibili nel modello HAZUS (Fonte: HAZUS_Technical Manual).

Per quanto riguarda le funzioni di danno disponibili nel modello, occorre sottolineare il fatto che il danno alle colture agricole viene fatto dipendere unicamente dal periodo in cui si verifica l'evento e dalla durata di inondazione; risulta perciò indipendente dall'altezza d'acqua, che è invece uno dei parametri di pericolosità principali in quasi tutti gli studi analizzati finora.

Come si legge nel manuale del modello AGDAM (USACE, 1985), la durata è un parametro fondamentale nella determinazione dei danni alluvionali alle colture ed il suo impatto varia nel

corso del ciclo vitale della pianta: nelle fasi iniziali di sviluppo della pianta pochi giorni di inondazione potrebbero non causare alcun danno (inteso qui in termini di costi di produzione), mentre poche ore di inondazione allo stadio di maturazione possono portare alla perdita totale. Quindi l'utente fornisce la data dell'alluvione e il modello stima le perdite per le durate standard previste da USACE (0, 3,7 e 14 giorni). Più precisamente, i parametri da fornire in input al modello sono i seguenti: data dell'evento alluvionale, tipo di coltura, area di coltivazione, valore di mercato corrente del prodotto, resa media annua, stagione di semina, costo di raccolta. Secondo il modello AGDAM la perdita monetaria legata ad ogni coltura può essere stimata come segue:

$$L = A(pY_0 - H) \cdot D(t) \cdot R(t)$$

- L è la perdita (\$)
- A è l'area coltivata (acri)
- p è il prezzo di vendita (\$/bushel)
- Y_0 è la resa media annua (bushel/acro)
- H è il costo di raccolta (\$/acro)
- $D(t)$ è perdita della coltura al giorno t dell'anno (% del massimo ricavo netto)
- $R(t)$ è il modificatore della perdita che considera la durata di inondazione (% della massima perdita potenziale)

9) Hussain, 1995 (Bangladesh)

Nel seguente studio vengono analizzati gli impatti delle alluvioni sulla produzione di riso in diversi distretti del Bangladesh. L'obiettivo è lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni per pianificatori e agricoltori che permetta di ridurre il danno alluvionale alle coltivazioni di riso.

Nel corso di questa analisi è stato sviluppato un sistema, denominato FLOODEX, per calcolare le perdite di resa del riso conseguenti ad un'inondazione in funzione di quattro parametri: altezza e durata di sommersione, stadio di crescita della pianta, torbidità delle acque alluvionali. È un modello di tipo sintetico realizzato utilizzando le informazioni presenti in letteratura e i dati riportati dalla FAO e attraverso discussioni con esperti di agraria.

Il sistema è riassunto nelle tabelle sottostanti dove la perdita è espressa come una percentuale della normale resa del riso in assenza di alluvioni.

La riduzione di resa è fornita per quattro classi di durata, per i diversi stadi vegetativi, per acque pulite ed acque torbide e per tre altezze idriche differenti; ogni tabella corrisponde infatti ad una diversa altezza di sommersione pari, rispettivamente, al 25-50%, 50-75% e 75-100% dell'altezza della pianta.

a) Sommersione: 25-50% altezza pianta

Crop Growth Stages	Clear Water				Muddy Water			
	Days of Submergence							
	3	7	10	15	3	7	10	15
	Percent Yield Reduction							
10 days after transplanting	10	15	20	30	25	45	50	60-70
Maximum tillering	10	15	25	40	25	45	55	70-90
Panicle initiation	0	0	30	40	15	15	60	70-90
Heading	0	0	30	40	15	15	60	70-90
Early grain filling	0	0	30	40	20	20	60	70-90
Maturity	0	25	40	40	15	45	70	70-100

b) Sommersione: 50-75% altezza pianta

Crop Growth Stages	Clear Water				Muddy Water			
	Days of Submergence							
	3	7	10	15	3	7	10	15
	Percent Yield Reduction							
10 days after transplanting	10	40	50	60	35	70	80	90-100
Maximum tillering	5	50	60	70	30	80	90	90-100
Panicle initiation	15	40	50	60	45	70	80	90-100
Heading	15	40	50	60	45	70	80	90-100
Early grain filling	20	40	60	70	50	70	90	90-100
Maturity	20	40	60	70	50	70	90	90-100

c) Sommersione: 75-100% altezza pianta

Crop Growth Stages	Clear Water				Muddy Water			
	Days of Submergence							
	3	7	10	15	3	7	10	15
	Percent Yield Reduction							
10 days after transplanting	40	80	100	100	60	90	100	100
Maximum tillering	40	60	80	100	60	90	100	100
Panicle initiation	50	70	100	100	70	90	100	100
Heading	40	80	100	100	60	90	100	100
Early grain filling	30	60	80	100	40	80	100	100
Maturity	30	60	80	100	40	80	100	100

Tabella 4.6 - Riduzione di resa del riso in Bangladesh per tre diversi livelli di sommersione: a) 25-50% altezza pianta, b) 50-75% altezza pianta, c) 75-100% altezza pianta (Fonte: Hussain, 1995).

4.2.2 Scelta dei modelli trasferibili al territorio della provincia di Lodi

Per verificare la trasferibilità dei modelli appena descritti all'area di interesse sono stati definiti quattro criteri di similarità: fascia climatica, tipologia degli eventi alluvionali, tipi di colture, calendario culturale di ciascuna coltura. I modelli selezionati sono dunque quelli sviluppati per aree geografiche con caratteristiche analoghe/comparabili al territorio lodigiano secondo questi criteri.

Di seguito vengono descritte le caratteristiche climatiche e agrarie della provincia di Lodi, o più genericamente della pianura Padana, che sono state considerate per la scelta dei modelli più idonei al caso di studio.

4.2.2.1 Fascia climatica

L'attività agricola è strettamente connessa al clima di ogni regione. Il periodo e la durata del ciclo di una stessa coltura e, di conseguenza, le relative tecniche di coltivazione impiegate dall'uomo, dipendono fortemente dalle caratteristiche climatiche dell'area geografica in esame. Il territorio della provincia di Lodi, analogamente al resto della pianura Padana, presenta un clima temperato umido con estate molto calda corrispondente al sottotipo 'Cfa' della classificazione dei climi di Köppen-Geiger (Peel et al., 2007). Si tratta di un clima senza stagione secca, con precipitazioni annue comprese tra 700 mm e 1500 mm e con temperatura media del mese più caldo superiore ai 22 °C.

In particolare, il clima padano è caratterizzato da una significativa escursione termica annuale con estati calde e afose (temperature medie = 25/30 °C) ed inverni freddi e spesso nevosi (temperature medie = 0/4 °C). La piovosità si concentra maggiormente nei mesi autunnali e primaverili, ma sono frequenti i temporali durante le estati molto umide. Un fenomeno tipico della pianura Padana durante la stagione autunno-invernale è la nebbia; tale fenomeno è legato alla particolare orografia della valle, delimitata da alte catene montuose su tre lati (le Alpi a nord ea ovest, gli Appennini a sud), che ostacola in parte i venti e favorisce l'accumulo di umidità in atmosfera con la formazione di nebbie diffuse. Per questa sua particolare posizione geografica, la pianura si contraddistingue dal resto d'Italia a cui viene associata comunemente un clima di tipo mediterraneo. La regione climatica padana rappresenta una zona di transizione tra il tipico clima mediterraneo dell'Europa meridionale e quello oceanico delle regioni nord-occidentali del continente. Il sottotipo climatico 'Cfa' è tipico delle seguenti zone della Terra: Europa centrale, Stati Uniti sudorientali, Cina sudorientale, Giappone meridionale, Brasile meridionale, Argentina settentrionale, Africa meridionale, Australia orientale.

4.2.2.2 Tipologia degli eventi alluvionali

In base all'origine dell'evento, si distinguono tre tipologie principali di alluvioni:

- Alluvioni costiere: si verificano in zone costiere per condizioni estreme di alta marea legate al maltempo, per effetto di tifoni e altre tempeste o per l'arrivo di uno tsunami sulla costa. Queste inondazioni costituiscono la maggiore minaccia per le popolazioni che vivono lungo la costa e possono provocando ingenti danni al territorio colpito.
- Alluvioni fluviali: si verificano per lo straripamento dei corsi d'acqua ingrossati a seguito di intense e perduranti precipitazioni o anche per improvvisi scioglimenti di nevai o ghiacciai. Queste esondazioni si distinguono ulteriormente, in base alla velocità della corrente, in alluvioni lente che si sviluppano nell'arco di diversi giorni, solitamente nei bacini idrografici di pianura, e in alluvioni improvvise che si verificano molto velocemente senza alcun preavviso, tipicamente nei bacini minori (torrenti montani); quest'ultime alluvioni, note con il termine "flash flood", sono molto pericolose e devastanti non solo per la forza dell'acqua ma anche per i detriti trasportati dal flusso.
- Alluvioni pluviali: si tratta degli allagamenti da ristagno delle acque di pioggia. Quindi, a differenza delle altre due tipologie di evento, le alluvioni pluviali sono causate direttamente dalle piogge indipendentemente dalla presenza di un qualsiasi corpo idrico: si possono verificare in aree urbane quando la rete di drenaggio non riesce a smaltire le eccessive acque meteoriche oppure in zone rurali quando l'acqua piovana scorre su terreni saturi o poco permeabili formando ruscellamenti superficiali.

Le aree agricole della pianura Padana sono interessate quasi esclusivamente da alluvioni fluviali con velocità di flusso molto basse, quasi nulle (salvo casi di improvvise rotture arginali). L'evento alluvionale del novembre 2002, preso come riferimento in questo studio e descritto dettagliatamente nel Capitolo 2, fu determinato appunto dall'esondazione di vari fiumi di pianura innescata da precipitazioni copiose e persistenti su tutto il territorio regionale.

4.2.2.3 Tipologie colturali

Grazie alle informazioni ricevute in via informale dalla Coldiretti di Lodi e sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dell'uso agricolo, riportati nel Capitolo 3, si è giunti ad identificare come colture prevalenti del territorio in esame le seguenti specie: mais, grano, orzo, soia e prato stabile. Accanto a queste, si è deciso inoltre di includere anche il riso che, nonostante non sia tra le colture principali della provincia di Lodi, è una delle coltivazioni più importanti sull'intera

pianura Padana. L'Italia ne è infatti il primo produttore europeo, con una coltivazione concentrata prevalentemente in Lombardia e in Piemonte.

Dunque l'analisi delle curve di danno viene limitata alle sei tipologie colturali appena individuate.

4.2.2.4 Calendari colturali per le colture prevalenti

Per la stima del danno alle colture agricole è fondamentale conoscere la stagione di crescita di ciascuna coltura e le corrispondenti attività agrarie svolte dall'agricoltore durante l'intero ciclo della pianta, a partire dalle pratiche di preparazione del terreno fino alle operazioni di raccolta. La perdita economica subita dall'azienda agricola aumenta infatti all'aumentare del numero di attività e quindi dei costi di produzione sostenuti fino al momento in cui si verifica l'alluvione. Per questo motivo vengono descritte le tecniche colturali necessarie alla coltivazione delle sei specie colturali più rilevanti.

- ***Mais (o granoturco)***

Il mais è una pianta erbacea annuale appartenente alla famiglia delle Graminacee, ampiamente coltivata sia nelle regioni temperate che in quelle tropicali. Attualmente si cerca di coltivare il mais soltanto nelle zone dove le condizioni gli sono particolarmente favorevoli: clima a estate piovosa o aziende ad elevata disponibilità irrigua.

Mentre un tempo il mais rientrava come coltura da rinnovo in complesse rotazioni colturali, la tendenza attuale consiste nel coltivarlo in monosuccessione o in rotazione solamente con la soia, che si è rivelata una coltura molto affine al mais. Un avvicendamento tipico è infatti quello che prevede tre anni di mais e uno di soia. Negli ambienti più favorevoli (es. pianura Padana), il mais viene spesso coltivato in seconda coltura dopo il primo taglio di un prato o dopo colture a raccolta precoce come pisello da industria o orzo da insilamento; queste successioni richiedono però la disponibilità di mezzi rapidi per la preparazione del terreno e la successiva raccolta e l'utilizzo varietà di mais sufficientemente precoci.

Il ciclo biologico del mais si svolge in stagione vegetativa primaverile-estiva e ha una durata che varia da un minimo di 75 giorni per i tipi precocissimi ad un massimo di 160 giorni per i tipi più tardivi. La durata del ciclo vegetativo e l'epoca di semina variano in base al tipo di seme utilizzato. In passato le varietà di mais italiane venivano classificate nelle seguenti cinque categorie di precocità crescenti: maggenghi, agostani, agostanelli, cinquantini e quarantini; queste varietà sono ormai state sostituite dagli ibridi di mais che, secondo la classificazione

FAO, vengono suddivisi in nove classi di precocità contrassegnate con i numeri da 100 a 900 per ordine di precocità decrescente.

La lavorazione tradizionale del terreno per la semina del mais prevede un'aratura profonda (40-50 cm) eseguita normalmente in autunno o a fine inverno; all'aratura seguono lavori secondari di affinamento delle zolle e di controllo delle erbe infestanti (erpiculture, estirpature) per preparare un buon letto di semina. In realtà negli ultimi anni si stanno diffondendo nuove tecniche di preparazione del terreno che consistono nella riduzione o addirittura eliminazione delle lavorazioni con lo scopo di risparmiare in termini di tempo, lavoro ed energia ottenendo anche dei vantaggi agronomici ed ecologici (miglioramento del terreno, riduzione dell'erosione). Esistono essenzialmente tre tecniche di "lavorazione ridotta":

- aratura leggera: tipicamente in Italia si esegue un'aratura intorno a 15-25 cm di profondità;
- lavorazione minima: non si effettua alcuna aratura, ma si prepara il letto di semina andando semplicemente a disgregare il terreno in superficie giusto quel tanto che basta a far funzionare le normali seminatrici (50-100 mm); a seconda dell'effetto desiderato si sceglie la macchina agricola più idonea tra estirpatori, erpici, fresatrici e zappatrici;
- non lavorazione o semina diretta: si semina il cereale su un terreno su cui non è stato fatto alcun lavoro preparatorio, utilizzando una seminatrice speciale munita di coltri in modo da tagliare il suolo.

Queste tecniche possono essere impiegate anche per gli altri cereali.

Il mais, essendo una coltura ad elevata capacità produttiva, ha delle esigenze nutrizionali considerevoli che devono essere soddisfatte attraverso la concimazione. L'azoto, il fosforo e il potassio sono i principali macroelementi da fornire al mais mediante la somministrazione di fertilizzanti organici (letame, liquami, residui colturali) e chimici. I letami e i concimi minerali fosfo-potassici vengono interrati prima dell'aratura, o quanto meno prima dell'erpicoltura, mentre la concimazione azotata viene eseguita in parte alla semina e in parte in copertura (colture già in atto) oppure tutta al momento della semina.

Per iniziare a seminare bisogna aspettare che la temperatura del terreno si sia assestata stabilmente su almeno 12 °C; questo livello termico viene raggiunto normalmente in marzo nelle regioni italiane centro-meridionali e in aprile in quelle settentrionali. Quindi l'epoca usuale di semina per il mais in prima coltura si colloca tra metà marzo e metà aprile.

Invece nel caso di mais in seconda coltura l'epoca di semina varia a seconda del tipo di coltura che precede il mais: a fine maggio dopo il taglio di un erbaio, a fine giugno dopo orzo da granella o pisello e ai primi di luglio dopo il frumento.

Come già accennato, il mais è una pianta di origine subtropicale e richiede un clima caldo-umido; quindi l'acqua è un elemento fondamentale. Dal momento che il suo ciclo si svolge nel periodo primaverile-estivo, quando la piovosità è al suo minimo e l'evapotraspirazione è al suo massimo, la maiscoltura in Italia per essere intensiva e altamente produttiva non può prescindere dall'ausilio dell'irrigazione. La fioritura è lo stadio vegetativo più sensibile all'insufficienza idrica; pertanto un buon programma d'irrigazione deve coprire il periodo che va dall'emissione del pennacchio (circa 2 settimane prima della fioritura) fino almeno alla maturazione latteo-cerosa (circa 5-6 settimane dopo la fioritura). Generalmente la stagione irrigua si colloca nei mesi di luglio e agosto per una durata di 50-60 giorni al massimo.

L'epoca della raccolta varia a seconda dei vari tipi coltivati e delle differenti epoche di semina, ma soprattutto dipende dalla tipologia di prodotto che si vuole ottenere. Il mais da granella viene raccolto a partire dalla maturazione fisiologica della pianta e può essere raccolto in spiga o direttamente in granella; nel primo caso le spighe vengono staccate dalla pianta manualmente e successivamente sgranate con una macchina sgranatrice, mentre nel secondo caso, che è quello più diffuso, si utilizza una mietitrebbia in grado di effettuare contemporaneamente la raccolta e la sgranatura. La tipica stagione di raccolta del mais da granella è compresa tra la seconda metà di settembre e la fine di ottobre. Quando invece si intende produrre mais da insilato (foraggio) la raccolta viene anticipata allo stadio vegetativo di maturazione cerosa e quindi approssimativamente da metà agosto in avanti. In questo caso si raccoglie l'intera pianta per mezzo di una macchina falcia-trincia-caricatrice ed il prodotto finale, ottenuto dopo la fermentazione della massa in adeguati silos e il successivo raffreddamento della stessa, viene impiegato per l'alimentazione degli erbivori (bovini, bufalini) o negli impianti di biogas.

- Grano (o frumento)

Il grano o frumento è una pianta erbacea annuale della famiglia delle Graminacee originaria del Medio Oriente ed è attualmente il cereale più coltivato nel mondo. Esistono diverse specie di frumento: quelli teneri sono i più diffusi perché sono gli unici ad essere coltivati anche nei Paesi nordici grazie alla loro buona resistenza al freddo, mentre i grani duri occupano un'estensione inferiore poiché sono adatti solo a regioni con clima temperato caldo.

In Italia la produzione di frumento duro si concentra nelle regioni meridionali, mentre il frumento tenero è coltivato prevalentemente al Centro-Nord.

Il frumento è una tipica coltura depauperante che impoverisce il terreno lasciandolo in condizioni peggiori al termine del suo ciclo poiché assorbe grandi quantità di sostanze nutritive. Per questa ragione si ricorre alla tecnica dell'avvicendamento colturale dove normalmente il frumento segue colture da rinnovo (mais, girasole, barbabietola, patata, pomodoro, ecc.), le quali lasciano un buon residuo di fertilità che può essere sfruttato dal grano ed inoltre liberano il terreno da eventuali infestanti.

A differenza del mais, il grano è un cereale autunno-vernino che svolge dunque il suo ciclo vegetativo durante la stagione fredda.

La preparazione tradizionale del letto di semina per il frumento prevede le seguenti lavorazioni: trinciatura dei residui della coltura precedente, aratura non molto profonda (30-35 cm), affinamento della superficie per mezzo di erpici o di estirpatori. Il periodo per svolgere questi lavori preparatori dipende dalla successione colturale, ovvero dalla data a cui si raccoglie la coltura precedente: a partire da luglio dopo frumento, colza, fava e pisello; da settembre dopo girasole e barbabietola; da ottobre dopo mais, sorgo e tabacco. In ogni caso queste operazioni devono essere eseguite rapidamente in modo da garantire la semina autunnale del grano entro la fine di novembre. In realtà, le nuove tecniche di "lavorazione ridotta", descritte per il mais, stanno progressivamente sostituendo la preparazione tradizionale del terreno.

La stagione usuale di semina del grano in Italia è l'autunno inoltrato e la data media di inizio risulta tanto più anticipata quanto maggiore è la latitudine o l'altitudine: si inizia a seminare a metà ottobre nell'Italia settentrionale, ai primi di novembre nelle regioni centrali, nella seconda metà di novembre nel Meridione. Le semine vengono anticipate procedendo dalla pianura alla montagna. La semina primaverile del grano in Italia è praticata eccezionalmente, soltanto quando la semina autunnale non è stata possibile o è fallita. In queste situazioni di emergenza si devono utilizzare i frumenti primaverili, aventi un ciclo vegetativo più breve rispetto a quelli tipici autunno-vernini, che possono quindi essere seminati a fine inverno: generalmente tra febbraio e marzo al Nord e verso la fine di gennaio al Sud.

Per quanto riguarda le sostanze nutritive, il potassio e il fosforo sono elementi indispensabili al metabolismo del frumento. In generale i terreni italiani hanno una buona dotazione di questi due elementi, ma nel caso risultasse insufficiente bisogna procedere con la somministrazione di concimi fosfo-potassici, interrando prima della semina.

L'azoto è invece l'elemento che influisce maggiormente sulle rese finali. Dal momento che la fornitura di azoto da parte del terreno non è mai sufficiente a soddisfare i fabbisogni colturali del grano, la concimazione azotata risulta indispensabile; la tecnica migliore consiste in 2-3 somministrazioni di concimi azotati da eseguire in fase di copertura, rispettivamente, nei mesi di gennaio, febbraio e marzo.

L'irrigazione del frumento in Italia è limitata ad alcune zone della Lombardia e del Piemonte caratterizzate da terreni molto permeabili. Normalmente non è necessario ricorrere all'ausilio dei sistemi irrigui, poiché il ciclo del grano si sviluppa nella stagione autunno-invernale, corrispondente al periodo di massima piovosità in Italia. Al contrario si possono avere degli inconvenienti legati a precipitazioni eccessive: il ristagno prolungato dell'acqua può portare all'asfissia radicale delle colture, favorire l'insorgere di malattie o lo sviluppo di erbe infestanti. È possibile iniziare la raccolta nel momento in cui la pianta raggiunge lo stadio di maturazione fisiologica. Nel caso di semina autunnale questo si verifica tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate (giugno-luglio); se invece si semina in primavera, si raccoglie in estate avanzata (luglio-agosto).

- Orzo

Analogamente al frumento, l'orzo è una pianta erbacea annuale della famiglia delle Graminacee originaria del Medio Oriente. L'orzo presenta delle caratteristiche che gli consentono di adattarsi a diverse zone marginali e ad ambienti poco favorevoli alla coltivazione del frumento. Innanzitutto, l'orzo ha un ciclo biologico più breve rispetto al grano e questo permette di coltivarlo fin quasi al circolo polare artico dove, seminato dopo l'inverno, riesce a giungere a maturazione in quelle brevi estati. Inoltre, la coltivazione dell'orzo si presta alle zone più aride e secche della Terra grazie alla sua precocità, alla capacità di sopportare temperature elevate e ai consumi idrici relativamente ridotti. L'orzo è infatti il cereale più diffuso in Medio Oriente e nel Nord Africa.

L'orzo, come il grano, è una coltura depauperante e quindi non tollera la monosuccessione colturale ma, al contrario, trae grandi benefici se seminato dopo colture miglioratrici da rinnovo. L'orzo è un cereale autunno-vernino, ma presenta una minore resistenza al freddo rispetto al frumento. In Italia l'orzo viene seminato tipicamente in autunno, mentre si ricorre alla semina primaverile solamente in caso di emergenza.

La tecnica di concimazione usata per l'orzo coincide con quella descritta per il frumento con un'unica differenza: poiché l'orzo ha fabbisogni di azoto inferiori al grano, non serve effettuare

2-3 concimazioni azotate ma è sufficiente un'unica somministrazione da effettuare nel mese di gennaio.

La raccolta dell'orzo comincia una decina di giorni prima rispetto al grano e ciò permette anche una migliore gestione delle macchine di raccolta per le aziende agricole che producono entrambi i cereali. Le operazioni di raccolta devono essere portate a termine piuttosto rapidamente per via della fragilità della spiga.

- Riso

Il riso è una pianta erbacea annuale della famiglia delle Graminacee, di origine asiatica.

Questo cereale ha elevati fabbisogni sia di acqua sia di calore e, nonostante non sia una pianta acquatica, presenta una grande tolleranza per la saturazione idrica del terreno; il che lo rende particolarmente adatto alle regioni calde e umide dei tropici e dei subtropici, soggette anche a sommersione. Il riso richiede una temperatura elevata e costante poiché risente delle escursioni termiche. Alle latitudini equatoriali, dove la temperatura è costantemente alta, si possono fare anche due o tre raccolti all'anno; nelle zone a clima temperato invece il riso può essere coltivato solamente durante la stagione primaverile-estiva e con l'ausilio di opportuni sistemi di irrigazione atti a svolgere anche un'importante funzione termoregolatrice. La temperatura minima richiesta nella fase iniziale di germinazione è 12 °C, mentre agli stadi successivi di levata e di fioritura sono necessarie temperature maggiori attorno ai 23-25 °C. Per quanto riguarda i fabbisogni idrici, la risicoltura senza irrigazione può essere eseguita soltanto là dove cadono regolarmente più di 200 mm di pioggia al mese per almeno 3-4 mesi. In Italia, dove il clima è temperato e dove le precipitazioni sono insufficienti, il riso è coltivato con l'ausilio dell'irrigazione, più precisamente in terreno sommerso. L'irrigazione per sommersione svolge molteplici funzioni: soddisfa le significative esigenze idriche della coltura, fornisce calore alla pianta (quando l'acqua abbia temperatura superiore a quella dell'aria) e svolge un'azione termoregolatrice, cedendo durante la notte e nei giorni freddi il calore accumulato nei periodi di insolazione intensa. Con la sommersione un'escursione termica giornaliera di 10-15 °C viene ridotta ad appena 3-4 °C.

Le risaie italiane si concentrano quasi interamente nella pianura Padana ed in particolar modo nelle province di Vercelli, Novara, Pavia e Milano, che da sole raggruppano poco meno del 90% della superficie risicola nazionale; altre coltivazioni di riso sono situate nelle province di Mantova, Verona, Rovigo e Ferrara; anche in Toscana e in Sardegna si trovano alcune aree

risicole, seppur in misura minore. Ciò significa che il riso può essere coltivato ovunque, purché ci siano sufficienti disponibilità idriche a basso costo.

Nelle zone temperate come l'Italia il ciclo biologico del riso si svolge in stagione primaverile-estiva per una durata che varia da un minimo di 150 giorni per le varietà più precoci ad un massimo di 185 giorni per quelle più tardive.

Il riso può essere coltivato in monosuccessione poiché è una specie che tollera la coltura ripetuta. In Italia questo accade solamente nelle zone acquitrinose e nei terreni a falda molto superficiale, dove la risaia permanente è l'unica soluzione possibile. Nella maggior parte delle aree risicole italiane si preferisce avvicendare il riso con altre colture, pur incontrando qualche difficoltà. Tale rotazione colturale risulta infatti piuttosto dispendiosa a causa dei costosi lavori di sistemazione del terreno e di risanamento idraulico necessari per alternare il riso alle altre colture, che non possono essere coltivate in terreni sommersi. Per ammortizzare i costi è necessario effettuare più coltivazioni consecutive di riso; una rotazione tipica è quella con il riso che succede a se stesso per 3-6 anni per poi essere seguito da una successione di pari durata di grano, prati o colture da rinnovo. Il riso è una buona pianta miglioratrice da far precedere al frumento, in quanto sgombera il suolo dalle erbe infestanti.

Dovendo praticare l'irrigazione per sommersione, occorre innanzitutto spianare perfettamente il terreno e delimitare lo stesso con arginature. In pianura Padana esistono due modelli di sistemazione della risaia: nella parte occidentale (Piemonte e Lombardia), dove la pendenza dei terreni non è trascurabile, si realizzano unità colturali modeste (2-3 ettari), dette camere, delimitate da arginelli; nelle regioni orientali (Emilia-Romagna e Veneto), dove i terreni sono già naturalmente quasi perfettamente piani, lo spianamento è poco impegnativo e consente di fare unità colturali molto estese (10-12 ettari), dette bacini, delimitati da grandi argini.

Dopo aver sistemato il terreno si procede con l'aratura, eseguita normalmente in autunno nei terreni argillosi e a fine inverno in quelli leggeri. All'aratura segue l'affinamento superficiale per mezzo di erpici di vario genere e il pareggiamento con spianone, effettuato per verificare il perfetto livellamento del terreno.

L'epoca di semina del riso varia in funzione della temperatura dell'acqua, della data di raccolta della coltura precedente e della precocità della varietà scelta. Generalmente si colloca tra la metà di aprile e la metà di maggio, ma con varietà molto precoci ci si può spingere fino alla fine di maggio.

La concimazione minerale è indispensabile al fine di ottenere le massime rese. La concimazione fosfo-potassica è praticata prima dell'aratura, mentre i concimi azotati vengono forniti in parte alla semina e in buona parte in copertura.

Per quanto concerne l'irrigazione, le portate continue richieste per soddisfare gli enormi consumi idrici della risaia variano da 1 a 5 litri al secondo per ettaro. Considerando una stagione di 5 mesi, ciò porta a volumi d'adacquamento stagionali variabili da 13.000 a 65.000 m³/ha.

Si può iniziare a raccogliere al raggiungimento della maturazione fisiologica della pianta. Il riso seminato in aprile giunge a questo stadio in epoche diverse secondo la precocità della varietà: si raccolgono quelle precoci a metà settembre, quelle semi-precoci a fine settembre, mentre quelle tardive a fine ottobre.

- Soia

La soia è una pianta erbacea annuale della famiglia delle Leguminose, originaria dell'Asia centro-orientale e coltivata per scopi alimentari. La sua coltivazione fu iniziata in Cina più di 3000 anni fa e si diffuse in Occidente solamente ai primi del Novecento. Può essere coltivata in tutte le regioni a clima temperato e subtropicale. Attualmente gli Stati Uniti, il Brasile e l'Argentina sono i principali produttori mondiali di soia. È ampiamente usata nell'alimentazione umana (farina, olio, latte, tofu, salsa di soia, ecc.), soprattutto in Cina e in Giappone, mentre nei paesi extra-asiatici è destinata prevalentemente all'alimentazione degli animali da allevamento o all'esportazione verso l'Asia.

La soia è una pianta a ciclo primaverile-estivo e non può essere coltivata senza l'ausilio dell'irrigazione se non nelle località dove in estate le precipitazioni sono consistenti e regolari. In semina primaverile la soia è una comune coltura da rinnovo negli avvicendamenti colturali; tipicamente la sua coltivazione viene alternata a quella del mais. In semina ritardata all'inizio dell'estate la soia può essere seminata in secondo raccolto dopo frumento o colture a raccolta precoce (pisello da industria, orzo da insilamento, ecc.); in questo caso si devono impiegare varietà molto precoci e la semina deve essere effettuata comunque entro metà giugno.

Per quanto riguarda le lavorazioni di preparazione del terreno, l'aratura e le successive operazioni di affinamento delle zolle devono essere eseguite piuttosto anticipatamente e rapidamente in modo da avere un letto di semina ben livellato e amminutato.

I concimi fosfo-potassici vengono interrati in pre-semina, mentre quelli azotati vengono dati durante la semina.

La soia viene seminata in primavera, normalmente dalla metà di aprile alla metà di maggio, ma può ci si può spingere fino a metà giugno nel caso di coltura intercalare con le varietà di soia più precoci.

La raccolta viene effettuata, per mezzo delle stesse mietitrebbiatrici usate per i cereali, quando la pianta resta quasi interamente senza foglie e i semi presentano una colorazione marrone. Di norma in Italia si comincia a raccogliere in settembre nel caso di coltura principale e in ottobre nel caso di coltura intercalare.

- Prato stabile

Il prato è un tipo di coltura foraggera poliennale sottoposta ad almeno uno sfalcio all'anno. Si distingue tra i prati monofiti, costituiti da un'unica specie, e i prati polifiti che comprendono un miscuglio di più specie, normalmente Graminacee (loietto, avena, erba mazzolina, ecc.) e Leguminose (trifoglio, lupinella, erba medica, ecc.).

A seconda dell'origine, i prati si suddividono in naturali (di origine remotissima, in cui la flora è andata affermandosi sotto l'influenza dell'ambiente) e artificiali (la cui formazione è opera dell'uomo). Un'ulteriore distinzione si basa invece sulla durata della cotica erbosa: si parla di prato stabile o permanente se la cotica erbosa viene mantenuta per tempi lunghissimi, mentre quando viene rinnovata periodicamente ogni 3-5 anni si parla di prato avvicendato. Solitamente i prati sono gestiti in regime irriguo in pianura ed in regime non irriguo nelle zone collinari o montane.

In provincia di Lodi, e in generale in pianura Padana, prevalgono i prati stabili, che sono destinati principalmente alla produzione di fieno per l'alimentazione dei bovini.

Il prato stabile non è soggetto ad alcun lavoro di sistemazione del terreno (es. aratura, dissodamento), ma viene lasciato a vegetazione spontanea per moltissimo tempo, anche per centinaia di anni, e mantenuto esclusivamente mediante le operazioni di sfalcio e concimazione. Ogni anno si effettuano in genere 2/3 sfalci nei prati asciutti e 4/5 in quelli irrigui. Tradizionalmente tali sfalci vengono chiamati maggengo, agostano, terzuolo, quartiolo e quinto taglio. Il maggengo corrisponde al primo taglio e ricade nella prima metà di maggio; gli altri vengono fatti a distanza variabile dai 35/40 giorni per i prati irrigui, sino ai 50/60 giorni per quelli asciutti. Il primo e ultimo taglio forniscono un foraggio ricco di graminacee, mentre le leguminose prevalgono negli sfalci estivi.

4.2.2.5 Modelli selezionati per lo studio

In base ai quattro criteri di trasferibilità sopra descritti, i modelli che più si avvicinano al caso di studio oggetto della tesi sono risultati essere i seguenti: Dutta et al. (2003, Giappone), MEDIS (2008, Germania), Citeau (2003, Francia) e Agenais et al. (2013, Francia). A supporto di tale scelta si riportano le tabelle di confronto tra l'area di interesse e i territori considerati in ciascun modello, relativamente alle caratteristiche climatiche e agrarie.

La Tabella 4.7 mostra il confronto in termini di fasce climatiche. Si è deciso di seguire la classificazione climatica di Köppen-Geiger (Peel et al., 2007), che offre una sintetica descrizione del clima mediante un'indicazione sulle caratteristiche e sul regime annuo della temperatura e della piovosità delle diverse regioni del globo.

Modello	Luogo di applicazione	Fascia climatica (classificazione di Köppen-Geiger)
Caso di studio	Italia, provincia di Lodi / pianura Padana	<i>Cfa</i> : clima temperato umido con estate molto calda
Dutta et al., 2003	Giappone, bacino del fiume Ichinomiya: situato nella prefettura di Chiba lungo la costa orientale di Honshu (l'isola più grande del Giappone)	<i>Cfa</i> : clima temperato umido con estate molto calda
MEDIS, 2008-2016	Germania	<ul style="list-style-type: none"> - Germania occidentale → <i>Cfb</i>: clima temperato umido con estate tiepida / clima oceanico - Germania orientale → <i>Dfb</i>: clima temperato a inverno rigido, senza stagione secca ed estate tiepida / clima continentale - Germania centrale → transizione tra clima oceanico (<i>Cfb</i>) e clima continentale (<i>Dfb</i>)
Citeau, 2003	Francia settentrionale, bacino del fiume Oise: attraversa le regioni Ile-de-France, Piccardia e Nord-Passo di Calais	<i>Cfb</i> : clima temperato umido con estate tiepida / clima oceanico
Agenais et al., 2013	Francia	<ul style="list-style-type: none"> - Francia settentrionale-occidentale → <i>Cfb</i>: clima temperato umido con estate tiepida / clima oceanico - Francia meridionale → <i>Csa</i>: clima mediterraneo con estate calda - Alsazia, Lorena, area del Rodano, massicci montuosi (Alpi, Pirenei, Massiccio Centrale) → <i>Dfb</i>: clima temperato a inverno rigido, senza stagione secca ed estate tiepida / clima continentale

Tabella 4.7 - Confronto tra il caso di studio e i modelli in termini di fasce climatiche.

Si osserva come l'unico modello perfettamente corrispondente al nostro caso di studio, dal punto di vista climatico, sia quello sviluppato da Dutta et al. (2003); il modello si riferisce infatti ad una zona del Giappone appartenente allo stesso gruppo climatico della pianura Padana: clima temperato umido con estate molto calda (*Cfa*). Le altre regioni sono caratterizzate per la maggior parte da un clima temperato umido con estate tiepida, noto anche come clima oceanico (*Cfb*); una porzione minore presenta un clima temperato a inverno rigido ed estate tiepida (*Dfb*), a cui si aggiunge il clima mediterraneo (*Csa*) della Francia meridionale. La Tabella 4.8 riporta una breve descrizione delle temperature e delle precipitazioni caratteristiche di questi climi e le relative zone del globo appartenenti a ciascun gruppo.

	Caratteristiche climatiche	Zone della Terra
<i>Cfa</i>	Ampia escursione termica annuale con temperature medie basse in inverno ed alte in estate (>22°C); precipitazioni comprese tra 700 mm e 1500 mm: nella Pianura Padana la piovosità si concentra nei mesi primaverili ed autunnali ma nelle estati calde sono frequenti i temporali, mentre in Giappone la stagione delle piogge si colloca tra giugno e luglio.	USA sudorientali, Cina sudorientale, Giappone meridionale, Brasile meridionale e Argentina settentrionale, zone sparse in Eurasia (Pianura Padana, regioni danubiane e balcaniche), Africa meridionale, Australia orientale.
<i>Cfb</i>	Clima non troppo freddo grazie alla presenza moderatrice dell'oceano; ciò provoca variazioni termiche stagionali poco marcate, inverni relativamente miti ed estati fresche (<22°C); piovosità significativa durante tutto l'anno. Il clima è quindi fresco, nuvoloso e umido per gran parte dell'anno.	Europa centrale e atlantica, Australia sudorientale, Nuova Zelanda, Cile meridionale.
<i>Dfb</i>	Clima freddo (temperatura media di 5.5 °C) con inverno umido ed estate fresca (<22°C); assenza di stagione secca; piovosità significativa durante tutto l'anno.	Zone interne ai continenti situati alle medie latitudini dell'emisfero settentrionale: zona centrale e orientale dell'Europa, regioni interne dell'Asia e degli USA, regioni centrali del Canada.
<i>Csa</i>	Escursioni termiche giornaliere ed annue modeste per effetto del mare che trattiene il calore estivo e lo rilascia durante l'inverno: inverni miti piovosi ed estati calde (>22°C) ma ben ventilate; le precipitazioni si concentrano prevalentemente in autunno e nel periodo di transizione tra l'inverno e la primavera, mentre in estate sono possibili prolungati eventi di siccità.	Aree costiere del Mediterraneo e del Vicino oriente.

Tabella 4.8 - Caratteristiche e regime annuo della temperatura e della piovosità dei diversi gruppi climatici..

È evidente come le temperature medie e la distribuzione delle precipitazioni durante l'anno varino molto da un tipo di clima all'altro. Nonostante queste differenze climatiche locali, è possibile far rientrare tutti i territori considerati nella più ampia fascia climatica temperata, ossia l'area geografica compresa tra i 30 e i 60 gradi di latitudine. Basandosi su questa omogeneizzazione più generale dei climi, si è scelto di utilizzare ugualmente tutti e quattro i modelli di danno per la nostra area di studio, andando a verificare che le differenze climatiche non incidessero sui calendari colturali. Difatti, l'obiettivo ultimo di questo confronto è verificare che i calendari colturali considerati nei modelli coincidano con quelli italiani e più precisamente con quelli della pianura Padana.

Si è proceduto quindi al confronto delle caratteristiche colturali. Prima di tutto si è verificato che nei modelli fossero incluse delle curve di danno per le specie colturali di nostro interesse (mais, grano, orzo, riso, soia, prato stabile). La Tabella 4.9 mostra quali modelli possono essere applicati per ognuna delle sei colture prevalenti nel Lodigiano. Si nota che l'unica coltura presente in tutti e quattro i modelli analizzati è il mais.

Culture prevalenti	Modelli
MAIS	Dutta et al. (2003), MEDIS (2008), Citeau (2003), Agenais et al. (2013)
GRANO	Dutta et al. (2003), MEDIS (2008), Agenais et al. (2013)
ORZO	Dutta et al. (2003), MEDIS (2008), Agenais et al. (2013)
RISO	Dutta et al. (2003)
SOIA	Dutta et al. (2003)
PRATO STABILE	MEDIS (2008), Agenais et al. (2013)

Tabella 4.9 - Modelli utilizzabili per ciascuna delle sei colture prevalenti nel Lodigiano.

Quindi sono stati esaminati i calendari colturali delle diverse aree geografiche per controllare che il ciclo produttivo di ogni coltura si svolgesse all'incirca nello stesso periodo dell'anno. È stato fatto essenzialmente un confronto tra le epoche di semina e di raccolta per individuare il periodo e la durata della stagione vegetativa delle sei colture nelle diverse regioni. La Tabella 4.10 riporta i risultati di tale raffronto. Si sottolinea il fatto che per il modello Agenais et al. (2013) i calendari sono stati riportati, non in termini di lavorazioni agricole (semina, raccolta), ma in termini di stadi vegetativi, poiché in tale studio erano disponibili i cicli biologici dettagliati per ogni coltura ricavati mediante l'aiuto di esperti; si è deciso quindi di attenersi a questa tipologia di calendari abbinando l'epoca di semina alla fase di germinazione e quella di raccolta allo stadio di maturazione della pianta. La Tabella 4.10 mostra come, nonostante le differenze climatiche evidenziate precedentemente, esista complessivamente una buona corrispondenza tra i calendari colturali delle diverse regioni, con scarti di poche settimane gli uni dagli altri.

Pertanto, sulla base dei risultati ottenuti da questa analisi comparativa, si è giunti alla conclusione che Dutta et al. (2003), MEDIS (2008), Citeau (2003) e Agenais et al. (2013) fossero i modelli di danno più idonei e quindi trasferibili al nostro caso di studio.

MAIS												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Caso di studio (pianura Padana)				semina (prima coltura)	semina (seconda coltura)		irrigazione		raccolta GRANELLA			
Dutta (Giappone)				semina				irrigaz.	raccolta INSILATO			
MEDIS (Germania)				semina					raccolta			
Citeau (Francia)				semina					raccolta			
Agenais (Francia)	particella spoglia			germinazione	crescita		fioritura	maturazione		particella spoglia		

GRANO												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Caso di studio (pianura Padana)						raccolta				semina autunnale		
Dutta (Giappone)						raccolta				semina		
MEDIS (Germania)							raccolta			semina		
Agenais (Francia)	3 foglie	germogliazione	accestimento		spigatura	maturazione			particella spoglia		germinazione	

ORZO												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Caso di studio (pianura Padana)						raccolta				semina autunnale		
Dutta (Giappone)						raccolta				semina		
MEDIS (Germania)				semina orzo primaverile				raccolta orzo primaverile				
						raccolta orzo invernale			semina orzo invernale			
Agenais (Francia)	3 foglie	germogliazione	accestimento		spigatura	maturazione			particella spoglia		germinazione	

RISO												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Caso di studio (pianura Padana)	aratura			semina	irrigazione				raccolta			
Dutta (Giappone)				semina					raccolta			

SOIA												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Caso di studio (pianura Padana)					semina				raccolta			
Dutta (Giappone)					semina				raccolta			

PRATO STABILE												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Caso di studio (pianura Padana)					1°sfalcio		2°sfalcio		3°sfalcio		4°sfalcio	
MEDIS (Germania)					1°sfalcio		2°sfalcio	3°sfalcio				
Agenais (Francia)	riposo		crescita	1°sfalcio	crescita	2°sfalcio	crescita	3°sfalcio		riposo		

Tabella 4.10 - Confronto tra il caso di studio e i modelli in termini di calendari colturali.

4.2.3 Analisi di sensitività per i modelli selezionati

Il passo successivo è stato quello di eseguire un'analisi di sensitività per valutare gli effetti sui risultati forniti dai quattro modelli di danno, indotti da modifiche nei valori delle variabili di ingresso. Tali input corrispondono ai principali parametri di pericolosità da cui dipende il danno alluvionale all'agricoltura: altezza di inondazione, durata di permanenza dell'acqua, periodo in cui si verifica l'evento su scala mensile; non è stata considerata la velocità della corrente, nell'ipotesi che l'alluvione interessi un territorio di pianura dove il deflusso, per le scarse pendenze, tende ad avere una velocità ridotta (alluvione del novembre 2002).

L'analisi di sensitività è stata effettuata con l'ulteriore scopo di confrontare i risultati ottenuti con i diversi modelli e determinare così un range di valori per il danno atteso al variare dei parametri di pericolosità.

A tal fine è stata presa in esame una particella di terreno destinata a mais con superficie unitaria di un ettaro per la quale sono stati costruiti diversi scenari di pericolosità, laddove uno scenario corrisponde a una tra le possibili combinazioni di valori assunti dai tre parametri di pericolosità. Nello specifico si è andati ad assegnare tre valori a ciascuna variabile e, facendo variare una variabile alla volta mantenendo le altre due costanti, sono stati generati 27 possibili scenari: 9 scenari esprimono il danno al variare della durata per diverse combinazioni di altezza e mese; 9 scenari mostrano il danno in funzione dell'altezza per diverse combinazioni di durata e mese; gli ultimi 9 scenari esprimono il danno in funzione dei mesi per diverse combinazioni di durata e altezza. I tre valori assegnati ad ognuno dei tre parametri di pericolosità, riportati in Tabella 4.11, sono stati definiti sulla base del calendario colturale relativo al mais e delle classi in cui risultano suddivise l'altezza e la durata di inondazione nei quattro modelli analizzati.

Le Figure 4.10 e 4.11 mostrano la curva di danno fornita, rispettivamente, da Dutta et al. (2003) e dal modello MEDIS (2008) per la coltivazione del mais. Dutta et al. (2003) esprime il danno relativo in funzione della durata per tre range di altezza idrica e considera il mese dell'evento tramite il fattore di perdita mn di cui, come accennato precedentemente nella descrizione del modello, non vengono forniti i valori; si è deciso dunque di attribuire a tale fattore un valore crescente con l'aumentare dei costi sostenuti nel corso della produzione:

- $mn = 0,3$ per il mese di maggio (in prossimità della semina);
- $mn = 0,7$ per il mese di luglio;
- $mn = 1$ per il mese di ottobre (fase di raccolta).

Il modello MEDIS (2008) fornisce invece il danno relativo in funzione del mese per due classi di durata, senza prendere in considerazione l'altezza di inondazione.

Mentre il punto di partenza per l'analisi sugli altri due modelli è rappresentato dalla scheda di danno riportata in Figura 4.3, per quanto concerne il modello Citeau (2003), e dai grafici delle Figure 4.4 e 4.7, per quanto riguarda Agenais et al. (2013). Il primo modello esprime il danno al mais per diverse classi di altezza idrica, durata di inondazione e velocità della corrente, per i diversi mesi; il secondo rappresenta la perdita di resa in funzione dell'altezza, della durata e della data dell'evento collegata allo stadio vegetativo della pianta al momento dell'alluvione.

Parametri	Valori		
altezza [m]	0,4	0,9	1,5
durata [giorni]	3	7	15
mese	maggio	luglio	ottobre

Tabella 4.11 - Valori assegnati ai tre parametri di pericolosità nell'analisi di sensitività.

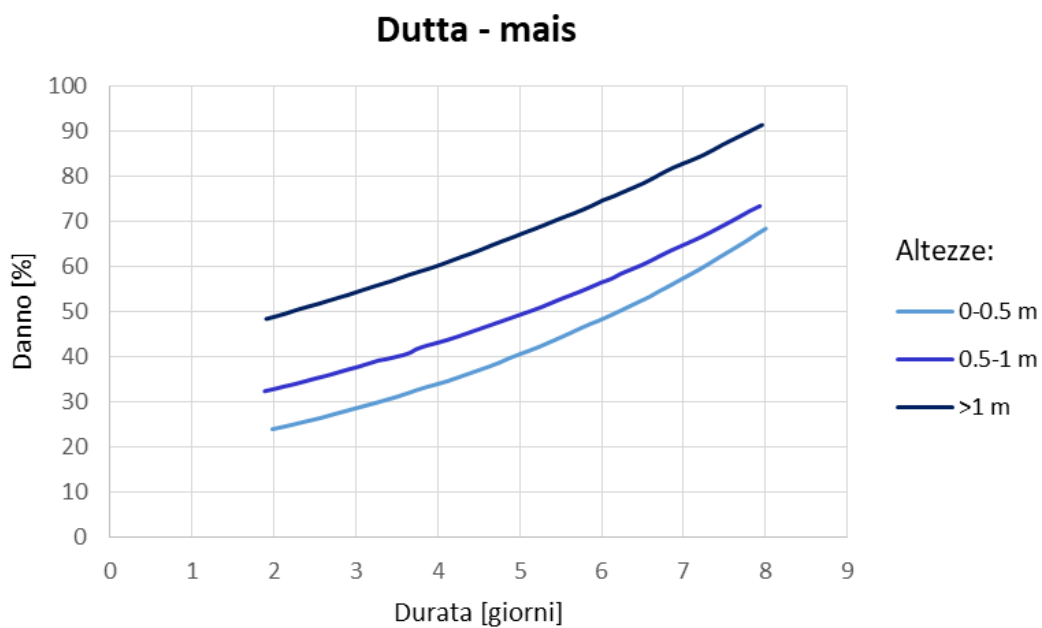


Figura 4.10 - Curve di danno sviluppate per il mais da Dutta et al. (Fonte: Dutta et al., 2003).

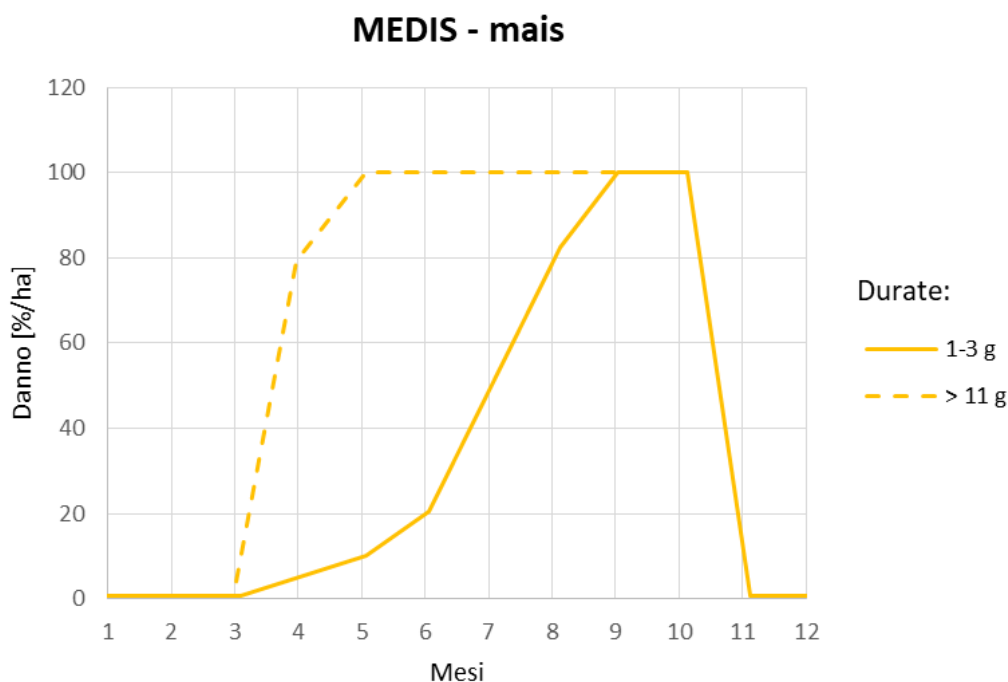


Figura 4.11 - Curve di danno sviluppate per il mais nel modello MEDIS (Fonte: Klaus et al., 2016).

Di seguito vengono esaminati i risultati ottenuti dall'analisi di sensitività.

I primi 9 scenari di pericolosità, riportati in Figura 4.12, mostrano la variazione del danno stimato con i quattro modelli in funzione della durata per le diverse combinazioni di altezza e mese. La durata di inondazione risulta un parametro fondamentale per la stima del danno alle colture.

Analizzando la prima riga di grafici in Figura 4.12, ossia le curve per il mese di maggio, si osserva come il danno sia una funzione crescente della durata fino a 10-12 giorni di inondazione dove raggiunge il valore massimo (100%); superato questo numero di giorni, il danno risulta costante e quindi indipendente dalla durata. Inoltre, i modelli sembrano cogliere in modo analogo le soglie di durata per le quali si ha variazione del danno, soprattutto nel primo grafico. Fa eccezione la curva fornita dal modello di Dutta et al. (2003), che arriva fino a una durata massima di 8 giorni e fornisce delle stime di danno inferiori rispetto agli altri modelli; questa differenza può essere dovuta in parte al valore scelto per il fattore di perdita per il mese di maggio ($mn = 0,3$): incrementando tale valore, la curva si alzerebbe avvicinandosi alle altre. Inoltre, è evidente come nel modello MEDIS (2008) non venga presa in considerazione la relazione tra il danno e l'altezza idrica; difatti, la curva corrispondente varia soltanto in base al mese, mentre è identica lungo ogni riga, quindi per i tre diversi valori di altezza.

Osservando la seconda fila di grafici, relativi al mese di luglio, si notano le prime differenze tra i modelli. Le curve ricavate da Dutta et al. (2003) e da Agenais et al. (2013) risultano avere una pendenza maggiore rispetto alle corrispettive di maggio; ciò significa che il danno massimo viene raggiunto più rapidamente, per durate inferiori intorno agli 8 giorni e addirittura, secondo Agenais et al. (2013), dopo appena un giorno di inondazione nel caso di altezze elevate (1,5 m). L'innalzamento della curva di Dutta et al. (2003) è legato al fattore moltiplicativo di cui sopra, a cui è stato assegnato un valore superiore per il mese di luglio ($mn = 0,7$). Viceversa, le curve relative ai modelli MEDIS (2008) e Citeau (2003) sono meno pendenti poiché, rispetto al mese di maggio, la soglia di durata alla quale si raggiunge il 100% di perdita rimane pressoché invariata mentre aumenta il danno per brevi durate.

Per finire, considerando le funzioni di danno per il mese di ottobre, si nota un avvicinamento delle curve di Citeau (2003) e Dutta et al. (2003), che risultano addirittura sovrapposte per il valore di altezza minore (0,4 m). La curva di Dutta et al. (2003) è ulteriormente rialzata rispetto al mese precedente per il fattore di perdita mn posto pari a 1. Ma ciò che emerge maggiormente da quest'ultimi grafici è la netta contrapposizione tra il danno fornito dal modello MEDIS (2008) e quello stimato da Agenais et al. (2013). In entrambi i casi si osserva come ad ottobre la durata non abbia più alcun effetto sull'entità dei danni ma, se nel modello tedesco il danno è costante e pari al valore massimo, in quello francese è costantemente nullo tranne nell'ultimo grafico dove il danno torna ad essere funzione crescente della durata. Questa differenza potrebbe essere dovuta ad una diversa interpretazione del danno da parte degli autori dei due modelli. Il mese di ottobre corrisponde, dal punto di vista fisico, alla fase di maturazione della pianta e, da quello economico, all'epoca di raccolta del mais.

Come precedentemente anticipato nella parte di descrizione generale dei vari modelli di letteratura, Agenais et al. (2013) considerano il danno fisico alla coltura e, dunque, allo stadio di maturazione la pianta è più resistente e non subisce alcuna perdita di rendimento se non per altezze elevate (1,5 m). Al contrario, il modello MEDIS (2008) sembrerebbe considerare il danno economico: infatti se l'alluvione si verifica ad ottobre, appena prima o durante le operazioni di raccolta, la perdita economica è totale e corrispondente a tutti i costi di produzione sostenuti durante l'intero itinerario colturale.

Si parla per via ipotetica dal momento che gli autori tedeschi non danno alcuna delucidazione al riguardo: nel loro studio si legge semplicemente che il danno alle colture agricole dipende fortemente dal mese in cui si verifica l'evento, non spiegando se questa dipendenza dal mese

vada intesa in termini di stadi vegetativi o di pratiche colturali e quindi di costi di produzione. Su questo punto si ritornerà nel corso dell'analisi degli scenari successivi.

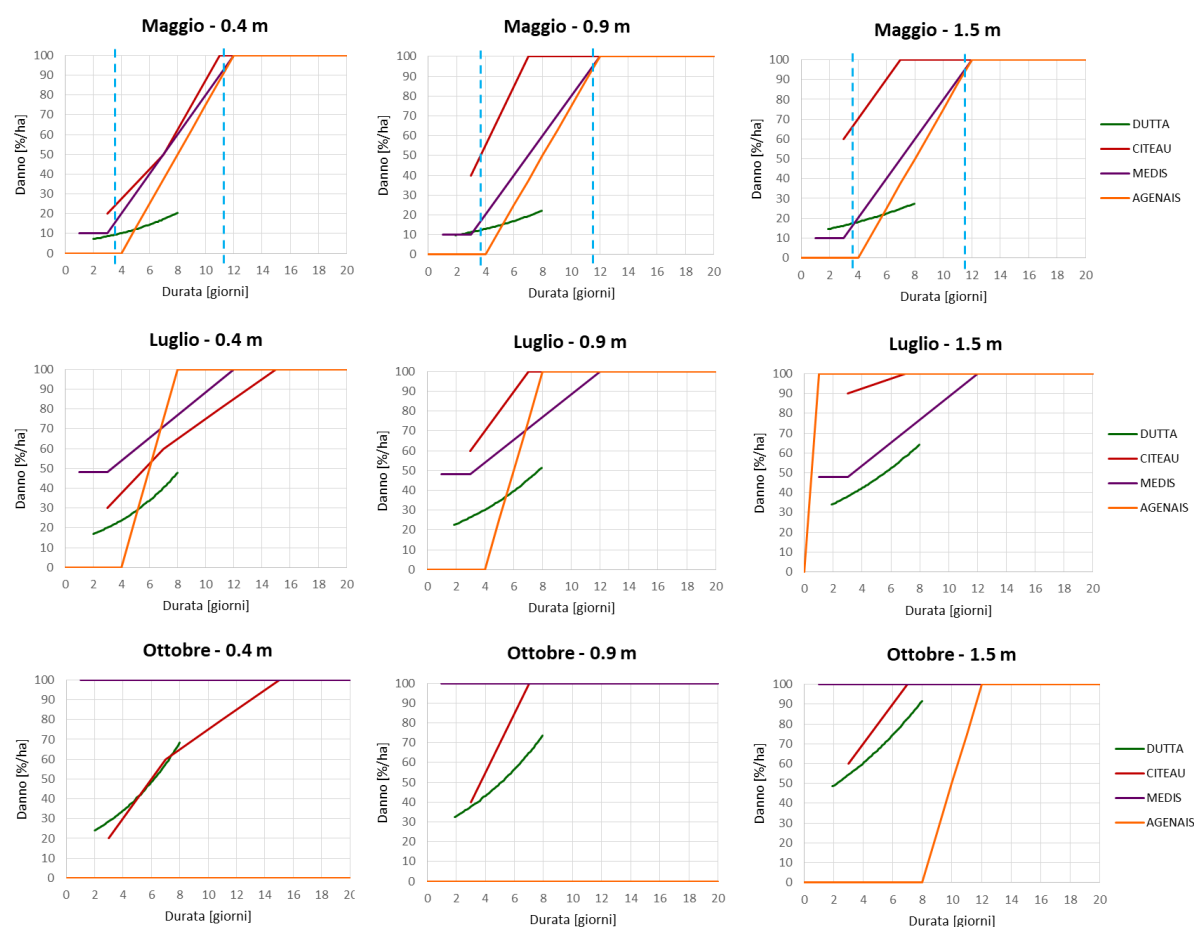


Figura 4.12 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di mais: variazione del danno in funzione della durata di inondazione per diverse combinazioni di altezza idrica e mese.

I successivi 9 scenari di pericolosità, mostrati in Figura 4.13, rappresentano la variazione del danno alla coltivazione di mais in funzione dell'altezza di inondazione per le diverse combinazioni di durata e mese. In questo secondo gruppo di possibili scenari non compare il modello MEDIS (2008) perché, come detto più volte, non include l'altezza idrica tra i parametri di pericolosità; mentre, il modello Dutta et al. (2003) non compare negli ultimi grafici relativi a 15 giorni di inondazione, poiché considera alluvioni di durata massima pari a 8 giorni. Osservando i grafici si nota che l'altezza ha una minore importanza nella stima del danno alle colture rispetto alla durata dell'evento.

Le curve ricavate da Citeau (2003) e Dutta et al. (2003) hanno un andamento a gradini simile, a meno di un fattore di scala, e sembrano cogliere in maniera analoga le soglie di altezza per le quali si ha una variazione del danno (0,5 m e 1 m), soprattutto per durate brevi. Secondo Agenais et al. (2013), invece, il danno alla coltura è indipendente dall'altezza idrica, a meno che l'acqua non raggiunga un'altezza tale da poter intaccare le infiorescenze della pianta. Difatti, nei grafici relativi al mese di maggio, ossia agli stadi di crescita iniziali del mais, il danno è una funzione costante dell'altezza. L'effetto dell'altezza di inondazione inizia ad essere visibile al mese di luglio, quando cioè il mais è nella fase di fioritura e le sue spighe, ancora in formazione, sono molto sensibili al contatto con l'acqua: nella seconda fila di grafici è ben visibile un aumento netto del danno intorno a 1,3 m di altezza idrica, corrispondente proprio all'altezza delle spighe di mais; soltanto per durate elevate si ha una perdita totale indipendentemente dall'altezza raggiunta dall'acqua. Per concludere, nel mese di ottobre, corrispondente allo stadio di maturazione, il mais è ormai al termine del suo ciclo, dunque molto resistente, e anche le sue spighe sono molto meno vulnerabili rispetto allo stadio precedente: il danno torna ad essere una funzione costante dell'altezza idrica, salvo che per tempi di sommersione molto lunghi (15 giorni), in cui si osserva una variazione di danno in corrispondenza della solita soglia di 1,3 m di altezza.

Infine, si sottolinea l'evidente aumento del danno alluvionale in funzione della durata in tutti e 9 i grafici appena analizzati. Ciò a ribadire il fatto che la durata sia un parametro di pericolosità fondamentale per la stima dell'entità dei danni causati alle colture agricole.

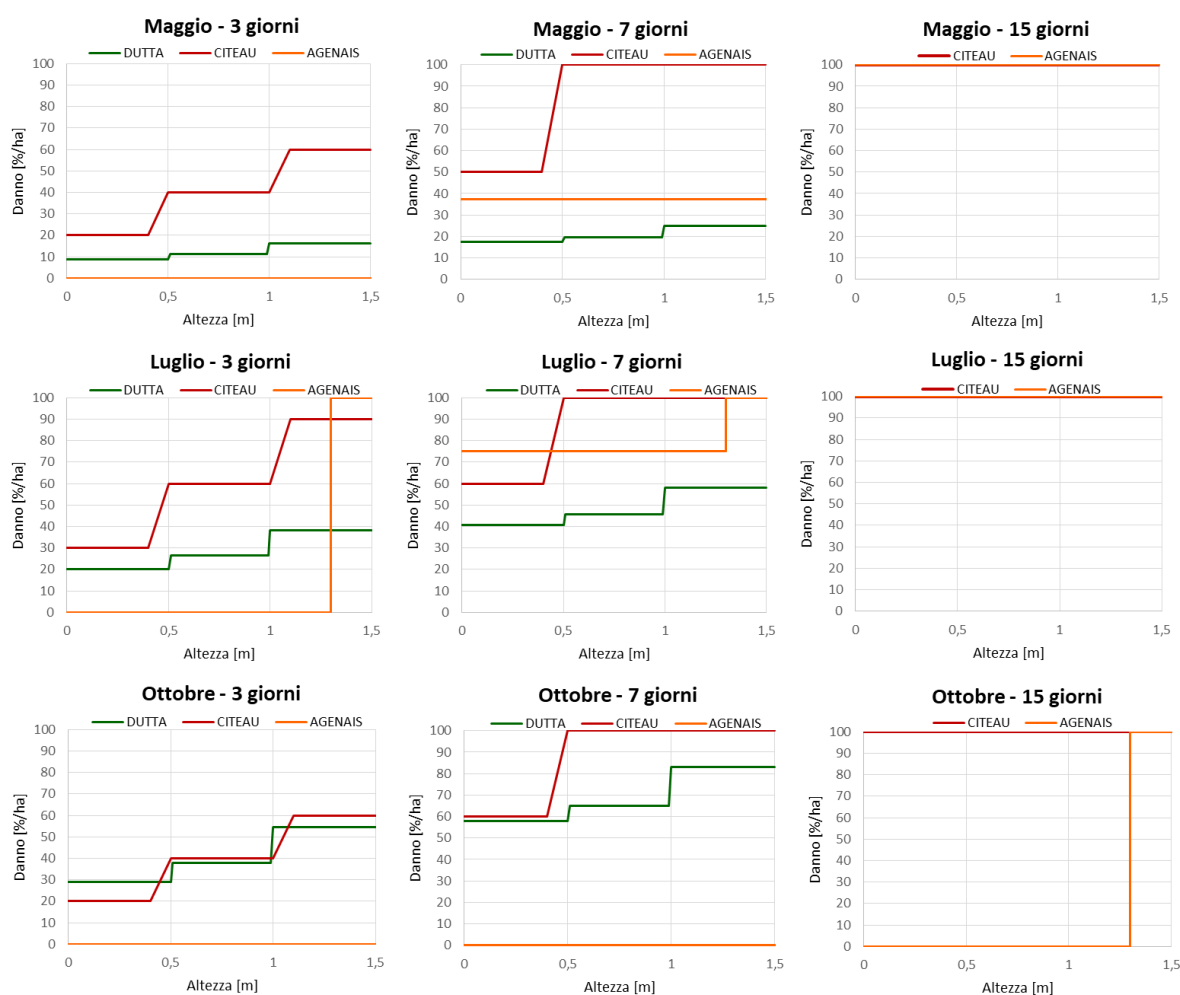


Figura 4.13 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di mais: variazione del danno in funzione dell'altezza di inondazione per diverse combinazioni di durata e mese.

La Figura 4.14 raccoglie gli ultimi 9 scenari di pericolosità costruiti per la particella di mais, raffiguranti la variazione del danno in funzione dei mesi per diverse combinazioni di durata e altezza di sommersione. Quest'ultimi grafici sono quelli che mettono maggiormente in risalto le differenze tra i quattro modelli selezionati. Le diverse funzioni presentano infatti andamenti molto diversi tra loro. Trascuriamo le curve relative al modello Dutta et al. (2003), dal momento che la loro forma è legata esclusivamente alla scelta del fattore stagionale mn .

Ci si soffermerà invece sulla chiara antitesi tra i modelli Agenais et al. (2013) e MEDIS (2008). Secondo il modello francese i danni si concentrano nei mesi iniziali del ciclo di vita del mais: si osserva un primo picco ad aprile e, all'aumentare della durata e dell'altezza di inondazione, un secondo picco a luglio, fino ad arrivare ad avere una perdita totale per tutti i mesi inclusi in questo arco temporale nel caso di durate molto elevate attorno ai 15 giorni.

Viceversa, il modello tedesco fornisce una funzione di danno crescente con l'avanzare dei mesi sino a raggiungere il valore massimo tra settembre e ottobre. Questa differenza sostanziale non può essere dovuta ad una diversa stagione vegetativa del mais nei due Paesi poiché, come mostrato in Tabella 4.10, i calendari colturali in Francia e Germania sono molto simili tra loro. Sembra invece essere confermato quanto ipotizzato precedentemente durante l'analisi dei primi 9 scenari, ossia che i due modelli propongano una differente valutazione del danno alle colture. Da una parte, Agenais et al. (2013) valutano la vulnerabilità della pianta in funzione degli stadi vegetativi: per questo motivo il massimo danno viene riscontrato ad aprile e a luglio, che corrispondono, rispettivamente, alle fasi di germinazione e fioritura del mais e quindi ai momenti più critici per la coltura; mentre le alluvioni non hanno più alcun effetto sul metabolismo della pianta allo stadio di maturazione, ovvero da agosto in avanti. Dall'altra parte, il modello MEDIS (2008) sembra proporre delle funzioni di costo. Infatti, il danno cresce nel corso dei mesi fino a raggiungere il valore massimo a settembre, coincidente con l'inizio delle operazioni di raccolta. Quindi il danno sembrerebbe seguire proprio la distribuzione dei costi sostenuti dall'azienda nel corso del ciclo agrario. Esaminando infine le funzioni derivate dal modello Citeau (2003), si nota un andamento simile a quello proposto da Agenais et al. (2013), con un picco di danno nella prima metà del ciclo del mais ma traslato in avanti di un paio di mesi. Questa traslazione potrebbe essere legata ad un calendario colturale ritardato rispetto a quello considerato da Agenais et al. (2013). Anche in questo caso, così come per il modello tedesco, si procede per supposizioni dal momento che gli autori degli studi non forniscono alcuna motivazione esplicita circa la relazione tra il danno e il mese dell'inondazione. I tre modelli forniscono lo stesso risultato solamente per lo scenario peggiore (15 giorni – 1,5 m) dove si ha una perdita totale per l'intera stagione vegetativa del mais.

A conclusioni analoghe si è giunti ripetendo l'analisi di sensitività sulle altre specie colturali di interesse, in particolare su grano e orzo per i quali erano disponibili più modelli: Dutta et al. (2003), MEDIS (2008) e Agenais et al. (2013). I grafici costruiti per queste due colture sono riportati in Appendice.

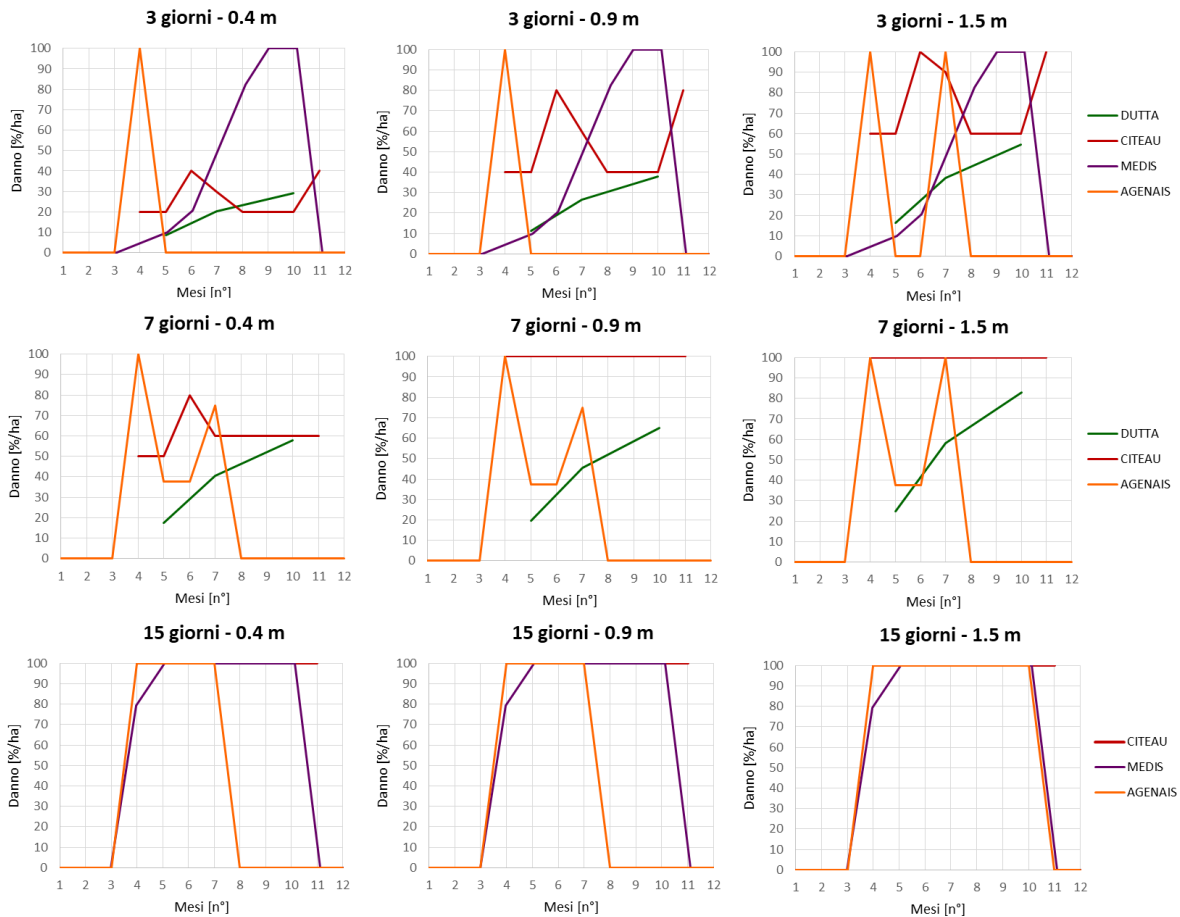


Figura 4.14 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di mais: variazione del danno in funzione del mese per diverse combinazioni di durata e altezza.

In definitiva, avendo ottenuto delle funzioni con andamenti molto diversi tra loro, non è stato possibile determinare una fascia di confidenza sui valori di danno atteso con i diversi modelli per nessuna delle colture in esame.

Il problema evidente, messo in luce da tale analisi, è la mancanza di informazioni circa le ipotesi di base dei modelli di danno selezionati, fatta eccezione per il modello francese Agenais et al. (2013), in cui viene fornita una spiegazione esplicita e dettagliata delle ipotesi.

In questa cornice globale diviene complicato il proposito iniziale di provare a trasferire i modelli di letteratura al nostro caso studio e, in generale, a qualsiasi altro contesto geografico diverso da quello per cui sono stati sviluppati. Persino le curve di danno proposte da Agenais et al. (2013), per quanto siano ben dettagliate, andrebbero verificate con l'aiuto di agronomi e agricoltori locali prima di essere applicate per un territorio differente da quello francese: le

perdite di resa delle colture conseguenti ad un'inondazione potrebbero infatti variare a seconda della regione considerata e delle caratteristiche delle varietà colturali coltivate localmente.

Questi risultati hanno indotto dunque alla decisione finale di non poter trasferire le curve di danno disponibili in letteratura, bensì di utilizzare tutte le informazioni e le considerazioni tratte dallo studio di queste per definire un nuovo modello per via sintetica.

4.3 Metodo 3: modello sintetico

A differenza del modello empirico, costruito mediante i dati raccolti da eventi passati, un modello sintetico viene sviluppato attraverso le ipotesi e le informazioni derivate da incontri con esperti in materia (da cui anche il nome “expert-based”) che, in questo caso, sono rappresentati da agronomi e agricoltori. Nel nostro caso specifico, la realizzazione del modello sintetico si basa sulle conoscenze e le nozioni acquisite con lo studio della letteratura relativa alla valutazione dei danni alluvionali al settore agricolo, supportato da un confronto con la Coldiretti di Lodi. Si è scelto di derivare un modello alla micro-scala, adatto per la valutazione dei danni potenziali a livello della singola azienda agricola.

La prima fase di modellazione è consistita nella costruzione del modello concettuale, rappresentato in forma tabellare e grafica per fornire un quadro più chiaro e schematico. Le prime due tabelle forniscono una visione globale dei danni a carico di una azienda agricola colpita da un evento alluvionale. La Tabella 4.12 raccoglie tutte le componenti che costituiscono tipicamente l'azienda agricola e i parametri di pericolosità e di vulnerabilità da cui dipendono i danni provocati a ciascuna componente. In generale i parametri di pericolosità connessi al danno alluvionale per l'agricoltura sono i seguenti:

- periodo dell'anno in cui si verifica l'evento;
- durata di inondazione intesa come numero di giorni di sommersione (per una valutazione più precisa bisognerebbe considerare anche il tempo di prosciugamento del terreno, che dipende dalla sua tessitura);
- altezza di inondazione;
- velocità della corrente;
- trasporto solido: detriti alluvionali, materiale vegetale, rifiuti, ecc.;
- inquinamento: sostanze inquinanti, rifiuti, ecc.;
- salinità dell'acqua nel caso di inondazioni costiere.

Tutti o alcuni di questi parametri incidono sulle singole componenti aziendali in maniera differente. La Tabella 4.13 spiega brevemente come ciascuno dei sette parametri di pericolosità

possa influire sull'entità dei danni arrecati ai diversi elementi costitutivi dell'impresa agricola. Poi, questi danni possono essere più o meno gravi a seconda delle caratteristiche di vulnerabilità di ciascun elemento esposto (es. tipologia colturale, stadio vegetativo, tipo di suolo, di edificio).

Componenti azienda	Parametri di pericolosità	Parametri di vulnerabilità
Colture in atto	<ul style="list-style-type: none"> • periodo dell'anno • durata • altezza idrica • velocità di corrente • trasporto solido • inquinamento • salinità (inondazioni costiere) 	<ul style="list-style-type: none"> • tipo di coltura • ciclo biologico della coltura
Materiale vegetale delle piante perenni: viti, alberi da frutto, piante aromatiche pluriennali, ecc.	<ul style="list-style-type: none"> • periodo dell'anno • durata • altezza idrica • velocità di corrente • trasporto solido • inquinamento • salinità (inondazioni costiere) 	<ul style="list-style-type: none"> • tipo di pianta • ciclo biologico della pianta
Terreno	<ul style="list-style-type: none"> • durata • velocità di corrente • trasporto solido • inquinamento • salinità (inondazioni costiere) 	<ul style="list-style-type: none"> • tipo di suolo
Bestiame	<ul style="list-style-type: none"> • altezza idrica • velocità di corrente • periodo dell'anno 	<ul style="list-style-type: none"> • tipologia di bestiame
Materiali immagazzinati: scorte (semi, foraggi, mangimi, concimi,...) e prodotti alimentari zootecnici (latte, uova)	<ul style="list-style-type: none"> • altezza idrica • durata • periodo dell'anno 	<ul style="list-style-type: none"> • tipologia di scorta / prodotto
Attrezzi e macchine agricole	<ul style="list-style-type: none"> • altezza idrica • durata • trasporto solido • inquinamento • salinità (inondazioni costiere) 	<ul style="list-style-type: none"> • tipologia di macchina
Fabbricati aziendali: capanni, magazzini, stalle, silos, serre	<ul style="list-style-type: none"> • altezza idrica • velocità di corrente • trasporto solido 	<ul style="list-style-type: none"> • tipologia di edificio • materiale di costruzione
Attrezzature / Impianti su suolo agricolo: sistema di irrigazione, recinzioni, palizzamento (vigneti), serre	<ul style="list-style-type: none"> • altezza idrica • velocità di corrente • trasporto solido • inquinamento • salinità (inondazioni costiere) 	<ul style="list-style-type: none"> • tipologia
Strade poderali	<ul style="list-style-type: none"> • altezza idrica • velocità di corrente • trasporto solido 	

Tabella 4.12 - Parametri di pericolosità e di vulnerabilità da cui dipendono i danni alle diverse componenti elementari di un'azienda agricola.

Parametri di pericolosità	Incidenza sulle diverse componenti aziendali
<p>Periodo dell'anno</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colture/piante: <ul style="list-style-type: none"> ➤ ciclo biologico → la vulnerabilità della coltura dipende fortemente dalle sue caratteristiche e quindi dallo stadio vegetativo al momento dell'alluvione: in generale è più sensibile negli stadi iniziali, mentre nelle fasi successive dipende se i fiori, i frutti o altre parti commercializzate della coltura entrano in contatto con l'acqua; ➤ calendario colturale → segue il ciclo biologico della coltura: la stessa operazione (es. semina) per la stessa coltura può essere eseguita in diversi periodi dell'anno a seconda della regione perché lo sviluppo della pianta varia con clima e caratteristiche del suolo → bisogna quindi conoscere la distribuzione annuale delle pratiche colturali per ogni specie, caratteristica della regione agricola considerata. In caso di alluvione gli itinerari tecnici colturali possono subire delle modifiche. • Bestiame: in base al periodo dell'anno gli animali possono trovarsi in apposite strutture o al pascolo (dipende anche dal sistema di allevamento: confinato, brado, semibrado). • Materiali immagazzinati: le scorte possono variare durante l'anno.
<p>Durata</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colture/piante: una delle cause principali della riduzione di resa è l'asfissia radicale della pianta che è funzione della durata di allagamento. • Terreno: la permanenza dell'acqua nei pori del terreno causa un'insufficiente aerazione con possibile degradazione delle caratteristiche chimiche e fisiche del suolo e quindi della sua fertilità. • Materiali immagazzinati: danni alle scorte di foraggio perché l'acqua che ristagna può infiltrarsi e raggiungere altezze non direttamente toccate dall'acqua. • Attrezzi e macchinari: possibile corrosione dei pezzi metallici.
<p>Altezza idrica</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colture / piante: sembra avere un'influenza minore rispetto alla durata e alla stagionalità. Questo parametro entra in gioco negli stadi vegetativi più avanzati in cui i frutti o altre parti commercializzate della pianta potrebbero subire perdite entrando in contatto con l'acqua; ciò dipende dall'altezza dell'acqua e dall'altezza a cui si trovano le varie parti della pianta alle varie fasi. <p>È invece il parametro principale per il danno a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestiame: gli animali non riescono a stare in piedi quando l'acqua raggiunge una certa altezza; • Materiali immagazzinati: scorte immagazzinate generalmente a diverse altezze; • Attrezzi e macchinari: determina i pezzi danneggiati; • Fabbricati aziendali: determina l'entità della pulizia e del ripristino da realizzare e il danno o meno alla rete elettrica; • Attrezzature su suolo agricolo: determina il loro danno o non danno; • Strade poderali: determina il loro danno o non danno.

Velocità della corrente	<p>L'uso di questo parametro dipende dalla tipologia degli eventi alluvionali locali: è importante in caso di flash flood.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colture e piante: potenziale sradicamento/estirpazione. • Terreno: erosione, asportazione del suolo agrario. • Bestiame: gli animali vengono portati via. • Fabbricati aziendali: danni alle aperture, ai battenti. • Attrezzature su suolo agricolo: possibile asportazione. • Strade poderali: erosione.
Trasporto solido	<ul style="list-style-type: none"> • Colture/piante: rischio di asfissia della pianta con riduzione della sua resa. • Terreno: deposito di materiale solido. <p>Il trasporto solido può aggravare i danni anche a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attrezzi e macchinari • Fabbricati aziendali • Attrezzature su suolo agricolo • Strade poderali
Inquinamento	<ul style="list-style-type: none"> • Colture/piante: contaminazione con possibile degradazione della qualità dei prodotti (in particolare per prodotti IGP, DOP). • Terreno: contaminazione. • Attrezzi e macchinari: possibile corrosione dei pezzi metallici. • Attrezzature su suolo agricolo: possibili danneggiamenti agli impianti di irrigazione.
Salinità	<ul style="list-style-type: none"> • Colture/piante: impatti negativi sulle colture come la riduzione della loro resa. • Terreno: contaminazione. • Attrezzi e macchinari: possibile corrosione dei pezzi metallici. • Attrezzature su suolo agricolo: possibili danneggiamenti agli impianti di irrigazione.

Tabella 4.13 - Legame tra parametri di pericolosità e componenti elementari dell'azienda agricola.

Dopo aver proposto un quadro generale delle componenti di danno che dovrebbero essere incluse in una valutazione complessiva ed esaustiva dei danni subiti da un'azienda agricola, ci si è focalizzati sull'obiettivo di questo lavoro di tesi andando quindi a considerare solamente le perdite connesse alle colture agricole. I danni da alluvione relativi alle colture sono stati distinti in quattro tipologie differenti:

1. Danno al terreno
2. Danno fisico alle colture / piante perenni
3. Riduzione della produzione lorda
4. Variazione dei costi di produzione sostenuti dall'azienda

Le prime due tipologie di danno rappresentano la componente fisica del danno legato alle colture, mentre le altre due tipologie costituiscono la parte di perdita economica. Il modello fisico e quello economico sono strettamente interconnessi.

Il modello concettuale derivato per la valutazione dei danni legati alle colture agricole è schematizzato in Tabella 4.14. Per ogni tipologia di danno vengono riportati i parametri di pericolosità e vulnerabilità, una breve descrizione dei possibili danni fisici riscontrabili sul terreno e sulle colture, gli indicatori economici necessari per una stima monetaria delle perdite e le interconnessioni esistenti tra le 4 componenti di danno. La velocità della corrente e la salinità dell'acqua non compaiono tra i fattori di pericolosità, poiché nel seguente studio si prende come riferimento il caso di un'alluvione fluviale in territorio pianeggiante come il Lodigiano.

1. Danno al terreno	
Parametri	Pericolosità: <ul style="list-style-type: none"> • durata • trasporto solido • inquinamento Vulnerabilità: <ul style="list-style-type: none"> • tipo di suolo
Descrizione danno fisico	Danni diretti istantanei: <ul style="list-style-type: none"> • erosione, asportazione del suolo agrario • deposito di materiale solido trasportato dalla corrente • contaminazione (inquinanti) Danni diretti indotti: <ul style="list-style-type: none"> • insufficiente aerazione per eccessiva quantità e permanenza di acqua nei pori del terreno → conseguenti problemi fisici e chimici: arresto nitrificazione, diminuzione concentrazione di ossigeno, involuzione dell'attività microbica,... → ripercussioni negative sulla disponibilità di elementi nutritivi e quindi sulla fertilità del suolo Questi danni diretti al terreno possono ridurre la capacità di produzione agricola.
Indicatori economici	Costi di ripristino del terreno: <ul style="list-style-type: none"> • costi di pulizia, sgombero materiali in caso di deposito • costi di aratura, livellamento • costi per apporto di terra in caso di erosione
Interdipendenze	I danni al terreno incidono sullo sviluppo e sulla resa delle colture e possono determinare una variazione dei costi di produzione. <ul style="list-style-type: none"> • Il danno diretto al terreno è indipendente dal periodo di occorrenza dell'evento. • Il danno al suolo legato alla produzione agricola varia durante l'anno perché dipende dal calendario culturale, dalle colture in atto.
2. Danno fisico alle colture / piante perenni	
Parametri	Pericolosità: <ul style="list-style-type: none"> • periodo dell'anno • durata • altezza idrica • trasporto solido • inquinamento

	<p>Vulnerabilità:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tipo di coltura / pianta • ciclo biologico della coltura / pianta
Descrizione danno fisico	<ul style="list-style-type: none"> • sommersione e ristagno dell'acqua sulle colture → effetti variabili a seconda della specie coltivata, dello stadio vegetativo e della durata del fenomeno: asfissia radicale (è letale per alcune colture), rallentamenti dello sviluppo, insorgenza di malattie, attacco di parassiti • deposito di materiale solido → rischio di asfissia della pianta con riduzione della sua resa • inquinamento → contaminazione
Indicatori economici	<p>Per poter monetizzare correttamente il danno alle colture agricole, la variazione della produzione deve essere combinata con la variazione dei costi sostenuti. Infatti, a causa delle perdite di rendimento, alcuni costi di produzione variabili possono aumentare o diminuire. Perciò il danno economico alle colture coincide con la perdita del valore aggiunto, non solo della produzione lorda: (perdita di valore aggiunto) = (riduzione produzione lorda) – (variazione costi di produzione).</p> <ul style="list-style-type: none"> • La maggior parte degli studi considera solo la variazione della produzione lorda, data dal prodotto del prezzo di vendita per la variazione della resa della coltura. • Pochi studi considerano anche la variazione dei costi di produzione → il problema è che la variazione dei costi dipende dalla stagionalità: richiede la raccolta di dati specifici sulla distribuzione dei costi nel corso dell'anno per ogni coltura. <p>Vedi:</p> <p>3. Riduzione della produzione lorda</p> <p>4. Variazione dei costi di produzione sostenuti dall'azienda</p>
Interdipendenze	<ul style="list-style-type: none"> • Il danno alle colture può essere accentuato dai danni al terreno; infatti lo sviluppo di una specifica coltura avviene in determinate condizioni di temperatura, acqua, nutrienti e struttura fisica del suolo → per questo motivo bisogna cercare di ripristinare il terreno in tempi relativamente brevi. • I danni fisici subiti dalle piante possono avere delle ripercussioni sulla loro produttività e qualità → diminuzione o, addirittura, perdita totale della produzione. • Il danno alle colture comporta l'adattamento delle pratiche di sfruttamento e/o la non realizzazione di un certo numero di compiti: <ul style="list-style-type: none"> – operazioni aggiuntive necessarie per il recupero totale o parziale delle colture – mancato svolgimento delle operazioni rimanenti a causa della perdita delle colture
3. Riduzione della produzione lorda	
Parametri	Vedi:
Descrizione danno fisico	<p>1. Danno al terreno</p> <p>2. Danno fisico alle colture / piante perenni</p>
Indicatori economici	<p>I danni fisici a colture e terreno generano una riduzione della produzione lorda, che può essere data da:</p> <ul style="list-style-type: none"> • diminuzione della resa / del raccolto • diminuzione del prezzo di vendita (perché le inondazioni possono causare una degradazione della qualità dei prodotti raccolti e quindi un abbassamento dei prezzi)

Interdipendenze	<p>La ridotta o, addirittura, mancata produzione dipende dall'entità dei danni fisici alle piante e al terreno.</p> <p>Le perdite di rendimento possono proseguire anche per più anni dopo l'inondazione a seconda della gravità dei danni e delle strategie di sfruttamento adottate dall'agricoltore.</p>
4. Variazione dei costi di produzione sostenuti dall'azienda	
Parametri	Vedi:
Descrizione danno fisico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Danno al terreno 2. Danno fisico alle colture / piante perenni
Indicatori economici	I danni fisici a colture e terreno generano una variazione dei costi di produzione, o meglio, una variazione dei consumi intermedi + spese supplementari eccezionali.
Interdipendenze	<p>Questa variazione dei costi dipende dalla strategia di proseguimento dell'itinerario colturale, scelta in funzione dell'attesa perdita di resa della pianta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • proseguimento della coltura se le perdite di resa sono parziali → le operazioni meccaniche non cambiano e devono essere eseguite su tutta la particella, quindi i consumi intermedi non cambiano; potrebbero però essere necessarie delle spese eccezionali: operazioni di ripristino del suolo, trattamenti supplementari per evitare lo svilupparsi di malattie favorite dall'umidità, ecc.. In questo caso le perdite di rendimento si distribuiscono fino alla fine del ciclo vitale della pianta e possono proseguire anche per più anni. • abbandono della coltura se le perdite di resa superano una certa soglia, cioè quando il prodotto del raccolto non permette di coprire i costi del raccolto stesso → la produzione è persa interamente e la variazione dei consumi intermedi consiste nella non realizzazione delle operazioni di raccolta; si aggiungono spese eccezionali come il costo di estirpazione delle piante morte. Poi l'agricoltore può scegliere se riseminare la stessa coltura o un'altra a seconda delle sue possibilità / disponibilità → si aggiunge quindi una seconda variazione dei consumi intermedi che coincide con le spese necessarie per dare inizio ad una nuova produzione agricola: spese di preparazione del suolo + costi delle sementi o delle piante + spese di semina + costi di mantenimento delle nuove colture. I costi di risemina dipendono fortemente dalle specie e dalle varietà scelte e dalla densità di semina (vanno definiti localmente). Bisogna considerare il fatto che il rendimento di colture seminate o piantate tardivamente sarà mediamente inferiore al rendimento normale → riduzione rendimento finale. <p>A questi due estremi si aggiunge una soluzione intermedia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • proseguire la coltivazione in atto andando a riseminare unicamente le piante perse e non l'intera particella. <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Agenais et al. consigliano di scegliere la strategia da adottare in funzione della % di colture perse per unità di superficie:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. al di sotto di una certa % di perdita, le piante perse non sono sostituite; 2. al di sopra di questa prima soglia e al di sotto di una seconda soglia, vengono ripiantate soltanto le piante perse; 3. Sopra la seconda soglia, si estirpano tutte le piante e si risemina l'intera particella. <p>Le due soglie di danno cambiano a seconda del tipo di coltura.</p>

Tabella 4.14 - Modello concettuale per la valutazione dei danni legati alle colture in atto in un'azienda agricola.

Oltre che in forma tabellare, il modello concettuale è anche stato tradotto in forma grafica al fine di fornire una rappresentazione più sintetica ed immediata dei concetti e delle informazioni essenziali per la realizzazione del modello sintetico di danno. Il primo diagramma in Figura 4.15 riassume i parametri di input necessari per stimare i danni alle singole componenti elementari dell'impresa agricola, mentre in Figura 4.16 è riportata la mappa concettuale riguardante esclusivamente la porzione di perdita legata alle colture agricole.

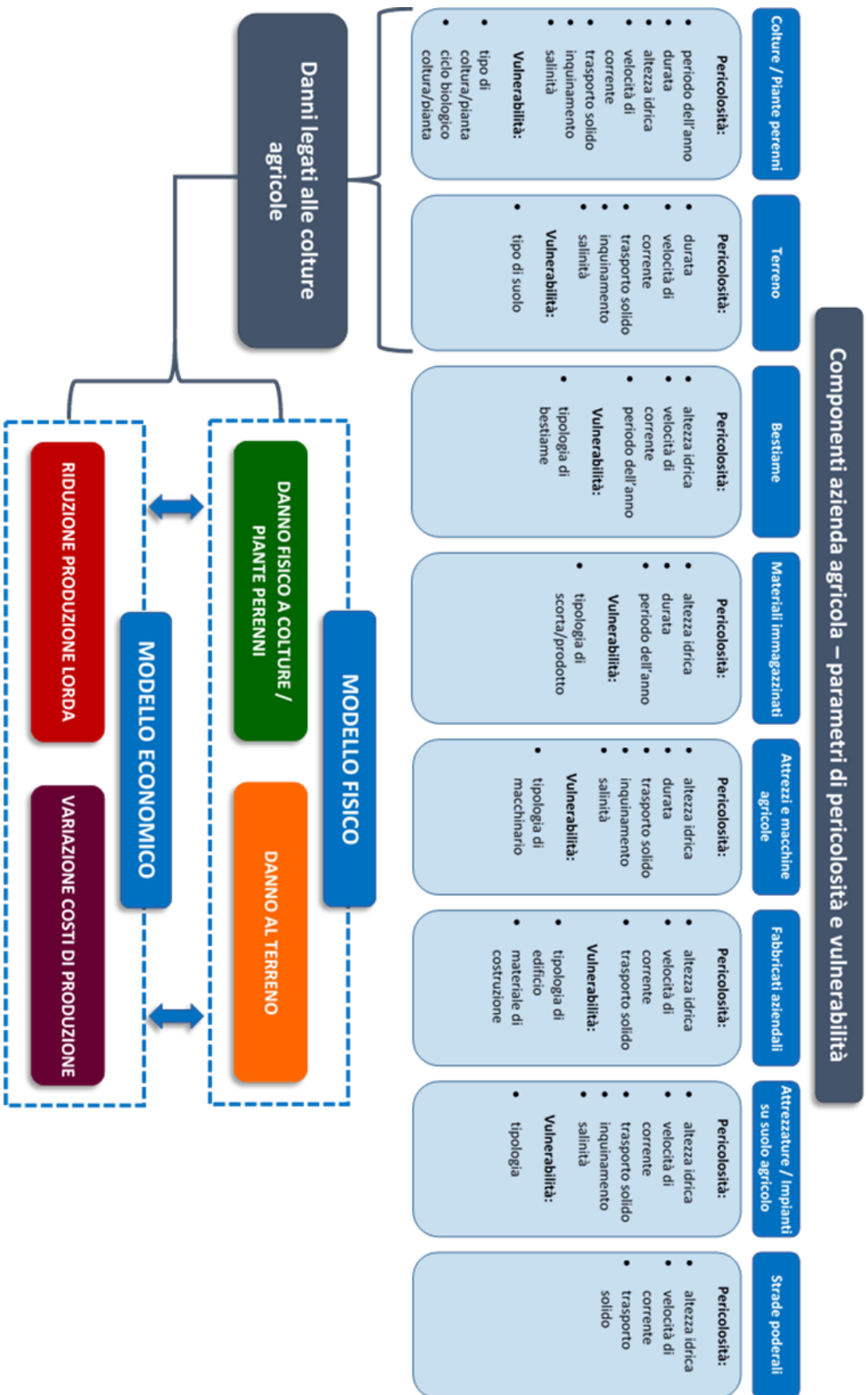


Figura 4.15 - Mappa concettuale sul quadro generale delle componenti di danno di un'azienda agricola alluvionata.

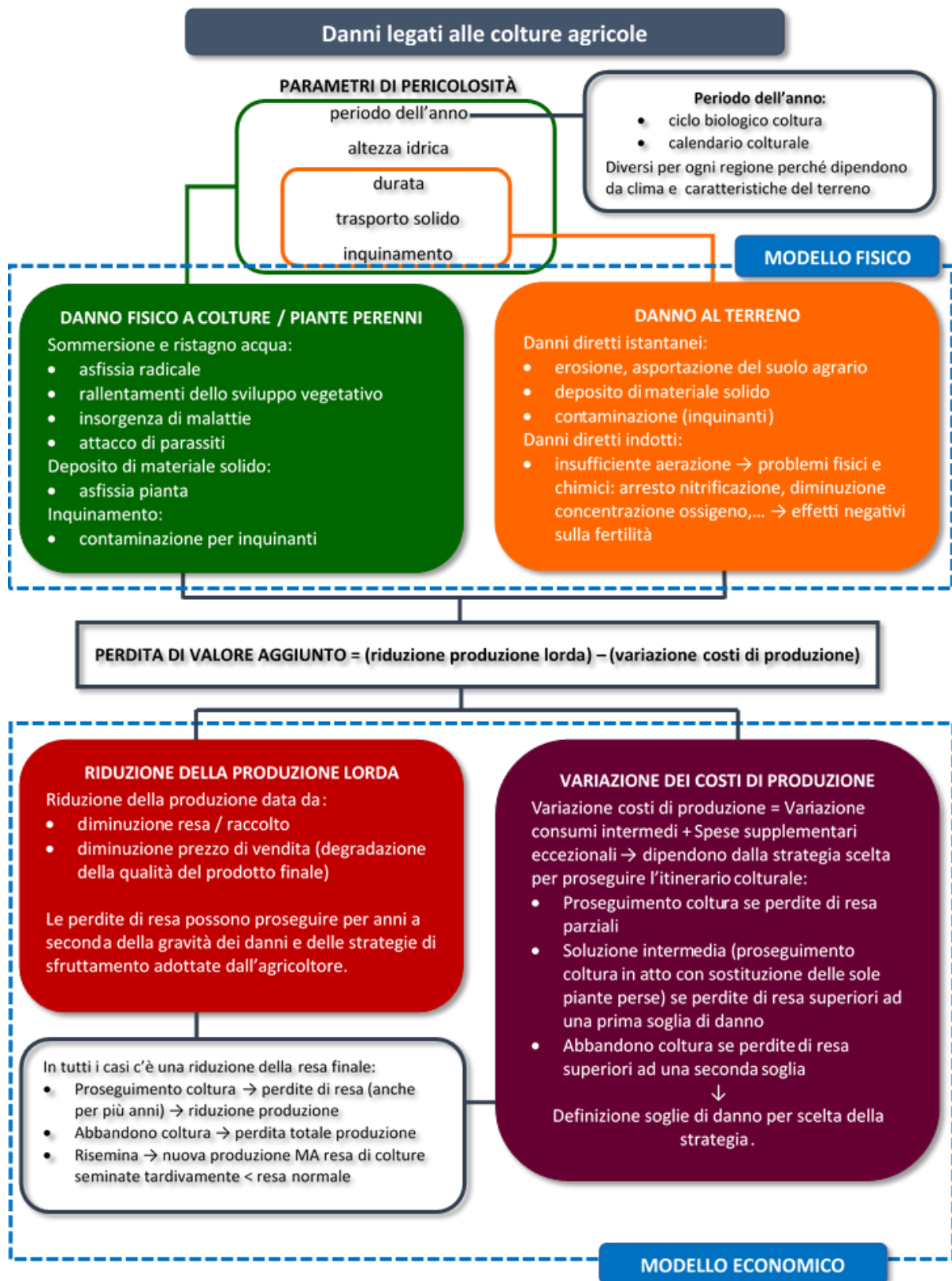


Figura 4.16 - Mappa concettuale sulla porzione di danni legati alle colture agricole.

4.4 Derivazione del modello analitico per il danno alle colture: caso del mais

Il secondo step è stato quello di tradurre il modello concettuale appena esposto in forma analitica. Tra tutte le varie componenti costituenti un'azienda agricola, ci si è limitati alla modellazione del danno alle colture. Analogamente al resto dello studio, si è scelto di attuare tale modellazione per una particella unitaria (1 ha) di terreno destinata a mais, essendo la coltura prevalente dell'agricoltura lodigiana. La modellazione si è focalizzata prevalentemente sulla componente economica, mentre, per quanto riguarda la componente di danno fisico alla coltura e la conseguente riduzione della sua resa, è stato preso come riferimento il modello Agenais et al. (2013). Infatti, dopo un'opportuna consultazione con la Coldiretti di Lodi, si è verificato che le funzioni relative alla perdita di resa del mais proposte dal modello francese (Figura 4.7) fossero compatibili e applicabili al contesto di studio in oggetto.

A tal fine, si è andati ad analizzare innanzitutto la distribuzione annuale delle pratiche colturali e dei corrispettivi costi per la coltivazione di mais nel Lodigiano. Le lavorazioni colturali svolte durante l'intero ciclo di vita del mais sono già state descritte nel Paragrafo 4.2.2.4, relativo ai calendari colturali delle sei specie colturali principali nel territorio in esame. Riprendendo tale paragrafo, si può notare che esistono diverse tecniche di preparazione del letto di semina per il mais. Accanto alla lavorazione tradizionale del terreno, che consiste in un'aratura profonda (40-50 cm) e in successivi lavori di affinamento delle zolle (erpicature), negli ultimi anni si sono diffuse nuove tecniche di "lavorazione ridotta" finalizzate alla riduzione o addirittura eliminazione dei lavori preparatori. Tra queste, una delle più utilizzate è la cosiddetta "minima lavorazione", con cui non si effettua alcuna aratura, ma semplicemente si va a disgregare il terreno superficiale quel tanto che basta a far funzionare le normali macchine seminatrici. Si è deciso quindi di esaminare due possibili itinerari agronomici del mais, che si differenziano per le diverse tecniche di preparazione del terreno. Le Tabelle 4.15 e 4.16 mostrano le pratiche colturali e i relativi costi unitari per il caso di lavorazione tradizionale del terreno e per il caso di minima lavorazione, rispettivamente. I costi delle lavorazioni agromeccaniche sono stati ricavati dal tariffario 2016 dei Contoterzisti delle province di Lodi, Milano, Como e Varese, mentre i costi relativi alle sementi, ai concimi e all'irrigazione sono stati forniti dalla Coldiretti di Lodi.

Itinerario 1 : Lavorazione tradizionale del terreno	
Lavorazioni	Costi [€/ha]
<i>Preparazione terreno</i>	
aratura profonda (40-50 cm)	162
<i>Preparazione letto di semina e concimazione pre-semine</i>	
2 erpicature rotative in pre-semine	199
concimazione pre-semine (a passata) + concimi fosfo-potassici (cloruro potassico)	38 + 72
<i>Semina</i>	
semine + sementi	77 + 300
<i>Cure colturali</i>	
diserbo	72,5
concimazione in copertura (a passata) + concimi azotati (urea agricola)	38 + 216
sarchiatura meccanica	61
<i>Irrigazione</i>	
irrigazione	110
<i>Raccolta</i>	
raccolta mais insilato da foraggio	378,5
raccolta mais insilato da biogas	428
raccolta mais pastone	413
raccolta mais da granella con raccogliatrice pannocchie	258,5
raccolta mais da granella con mietitrebbiatrice	206,5
<i>Essiccazione</i>	
essiccazione granella	525

Tabella 4.15 - Itinerario agronomico del mais nel caso di lavorazione tradizionale del terreno.

Itinerario 2 : Minima lavorazione del terreno	
Lavorazioni	Costi [€/ha]
<i>Preparazione letto di semina e concimazione pre-semine</i>	
Minima lavorazione: strip till con concime	168
<i>Semina</i>	
semine su minima lavorazione + sementi	138 + 300
<i>Cure colturali</i>	
diserbo	72,5
concimazione in copertura (a passata) + concimi azotati (urea agricola)	38 + 216
sarchiatura meccanica	61
<i>Irrigazione</i>	
irrigazione	110
<i>Raccolta</i>	
raccolta mais insilato da foraggio	378,5
raccolta mais insilato da biogas	428
raccolta mais pastone	413
raccolta mais da granella con raccogliatrice pannocchie	258,5
raccolta mais da granella con mietitrebbiatrice	206,5
<i>Essiccazione</i>	
essiccazione granella	525

Tabella 4.16 - Itinerario agronomico del mais nel caso di minima lavorazione del terreno.

Si nota che i costi delle operazioni di raccolta cambiano in base al prodotto che si vuole ottenere (insilato di mais per foraggio o biogas, mais da granella, pastone). Le analisi successive si riferiscono alla raccolta del mais da granella poiché, dallo studio sull'uso agricolo riportato nel Capitolo 3, è emerso che la coltivazione lodigiana del mais è destinata prevalentemente alla produzione di granella per l'alimentazione zootecnica.

Il passo successivo è stato quello di ricostruire il calendario colturale del mais da granella per le due diverse situazioni, andando a distribuire le varie lavorazioni e quindi i costi di produzione nell'arco di un'annata agraria (es. 2016-2017). Alla scala temporale mensile, è stata affiancata quella del ciclo vegetativo del mais in modo da creare una correlazione tra gli stadi di crescita della pianta e le lavorazioni colturali con i rispettivi costi. Le Tabelle 4.17 e 4.18 mostrano il calendario colturale per i due casi considerati (lavorazione tradizionale, minima lavorazione del terreno). In queste tabelle vengono riportati i costi di produzione cumulati nel corso dell'itinerario in modo da avere una stima dei costi sostenuti in corrispondenza di ogni mese o stadio vegetativo. Tali costi sono stati poi rappresentati graficamente in Figura 4.17. È evidente come la minima lavorazione del terreno sia una soluzione vantaggiosa dal punto di vista economico, abbattendo i costi ad un totale di 1887 €/ha contro i 2129 €/ha della lavorazione tradizionale. In aggiunta, la tecnica di minima lavorazione consente di ridurre gli impatti ambientali, andando a mitigare le azioni di disturbo al suolo provocati dall'aratura e riducendo i consumi di carburante e quindi le emissioni di CO₂ in atmosfera. Infine, tale tecnica ha il vantaggio, non indifferente dal punto di vista economico, di far ottenere all'agricoltore il massimo dei contributi europei previsti nel caso di adozione di tecnologie sostenibili. Per questi motivi, al giorno d'oggi gli imprenditori agricoli tendono ad optare per tecniche di "lavorazione ridotta" del terreno.

Stadi vegetativi	Mesi	Lavorazioni MAIS DA GRANELLA	Costi cumulati [€/ha]
Particella spoglia	01/10/2016	aratura profonda	162
	01/11/2016		162
	01/12/2016		162
	01/01/2017		162
	01/02/2017		162
	01/03/2017	2 erpicature rotative + concimazione presemina + concimi fosfo-potassici	471
Germinazione	01/04/2017	semina + sementi	848
Levata	01/05/2017	diserbo	920,5
Emissione pennacchio	01/06/2017	concimazione in copertura + concimi azotati + sarchiatura meccanica	1235,5
Fioritura	01/07/2017	irrigazione	1345,5
Maturazione latteo-cerosa	01/08/2017	irrigazione	1345,5
Maturazione fisiologica	01/09/2017	raccolta mais granella - racco.pannocchie + essiccazione	2129
	01/10/2017	raccolta mais granella - racco.pannocchie + essiccazione	2129

Tabella 4.17 - Calendario colturale del mais nel caso di lavorazione tradizionale del terreno.

Stadi vegetativi	Mesi	Lavorazioni MAIS DA GRANELLA	Costi cumulati [€/ha]
Particella spoglia	01/10/2016		0
	01/11/2016		0
	01/12/2016		0
	01/01/2017		0
	01/02/2017		0
	01/03/2017	minima lavorazione: strip till con concime	168
Germinazione	01/04/2017	semina su minima lavorazione + sementi	606
Levata	01/05/2017	diserbo	678,5
Emissione pennacchio	01/06/2017	concimazione in copertura + concimi azotati + sarchiatura meccanica	993,5
Fioritura	01/07/2017	irrigazione	1103,5
Maturazione latteo-cerosa	01/08/2017	irrigazione	1103,5
Maturazione fisiologica	01/09/2017	raccolta mais granella - racc.pannocchie + essiccazione	1887
	01/10/2017	raccolta mais granella - racc.pannocchie + essiccazione	1887

Tabella 4.18 - Calendario colturale del mais nel caso di minima lavorazione del terreno.

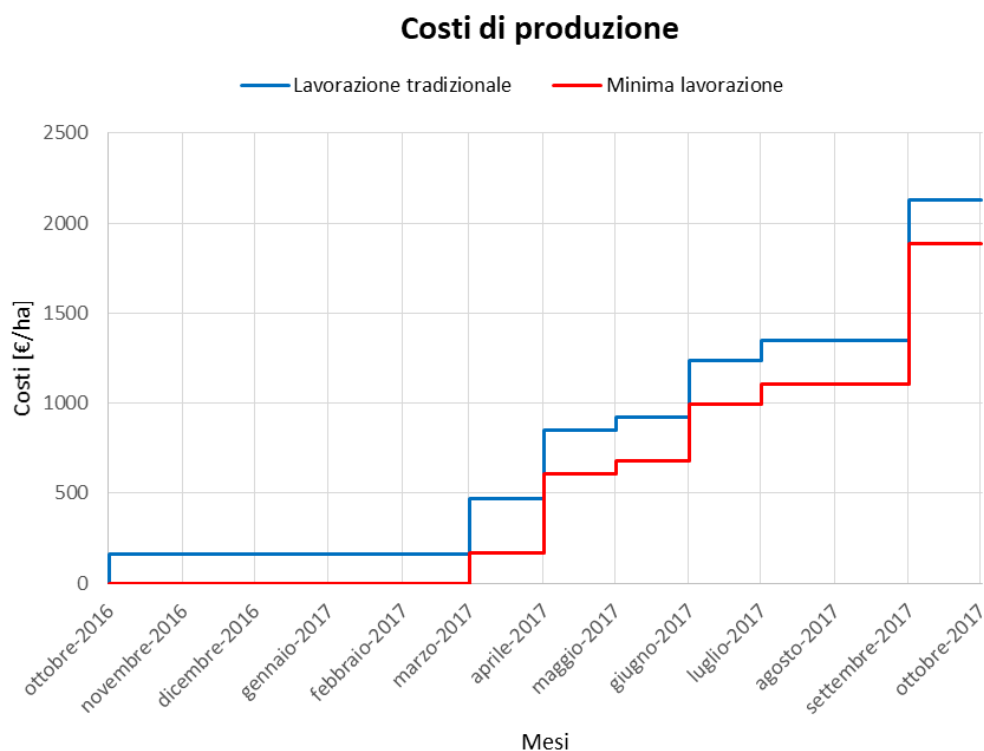


Figura 4.17 - Costi di produzione sostenuti nel corso dell'itinerario agronomico del mais da granella.

Dopo aver eseguito questo studio preliminare sulla distribuzione annuale dei costi sostenuti per la produzione di mais, si è potuto procedere allo sviluppo del modello per la valutazione della perdita economica legata alle colture.

Come illustrato nel modello concettuale, il danno economico alle colture corrisponde alla perdita di valore aggiunto, che è data dalla differenza tra due componenti: riduzione della produzione lorda e variazione dei costi di produzione. Per analizzare la variazione di queste due componenti, si è scelto di costruire delle curve raffiguranti i ricavi e i costi sostenuti dall'azienda agricola per diversi scenari alluvionali. Tali curve permetteranno quindi di capire come varia l'utile dell'impresa, che per definizione è dato dalla differenza tra ricavi e costi, al verificarsi di una determinata inondazione rispetto alle condizioni normali (in assenza di fenomeni alluvionali). È necessario considerare diversi scenari di alluvione poiché, in base alle caratteristiche di pericolosità dell'evento (mese di occorrenza, altezza e durata di allagamento), cambiano gli impatti sulle colture; di conseguenza cambia la percentuale di riduzione della resa e quindi della produzione lorda e, inoltre, cambiano le strategie scelte per proseguire la coltivazione e quindi i costi di produzione.

Per prima cosa, sono state costruite le curve del ricavo e dei costi relative alle condizioni normali di produzione del mais. Per ricavo si intende la somma della produzione lorda vendibile (PLV) e del contributo europeo, dove la PLV è data dal prodotto tra la resa massima unitaria e il prezzo di vendita massimo unitario del mais da granella in Lombardia; mentre, i contributi europei si riferiscono ai finanziamenti previsti dal Regolamento (UE) n.1305/2013 a sostegno degli imprenditori agricoli e forestali e definiti dal Programma di Sviluppo Rurale (PSR) della Regione Lombardia. Invece, la curva dei costi totali è stata costruita andando a sommare ai costi variabili delle lavorazioni colturali, riportati nelle tabelle precedenti, una quota di costi fissi corrispondente ai costi di struttura (direzione, amministrazione, spese generali di gestione), che non dipendono dal volume di produzione e vendita; tale quota di costi fissi è stata posta pari al 5% della PLV.

La Tabella 4.19 mostra il bilancio economico di un'azienda maidicola in condizioni normali, sia per il caso di lavorazione tradizionale che per quello di minima lavorazione. È evidente come il profitto di un agricoltore che adotta la tecnica della minima lavorazione sia decisamente superiore a quello di un agricoltore che segue ancora la preparazione tradizionale del terreno. Uno dei principali fattori determinanti questo divario è l'elevato contributo europeo fissato per le tecniche di lavorazione ridotta (minima lavorazione, semina diretta), compreso tra i 400 e i 500 €/ha. Mentre, per la lavorazione tradizionale è stato posto un contributo EU pari a 150 €/ha, corrispondente al finanziamento previsto nel caso in cui l'agricoltore lasci libero almeno il 10% della superficie utile per la crescita di prati ed erbai, assumendo che tale condizione sia sempre verificata. Le relative curve del ricavo e dei costi sono rappresentate nei grafici a) della Figura 4.18 (pp. 131-133). Si può notare come il maggiore profitto nel caso di minima lavorazione sia dovuto da un lato all'aumento del ricavo e dall'altro alla diminuzione dei costi rispetto alla lavorazione tradizionale.

La Figura 4.18 (pp. 131-133) raccoglie anche le curve ricavi e costi per i diversi scenari di pericolosità considerati qui di seguito, al fine di facilitare il confronto tra tutte le situazioni possibili.

RICAVO		
	Valore	Unità di misura
Prezzo max 2017 MAIS DA GRANELLA GENERICO	16,92	€/q
Resa max 2014 GRANOTURCO IBRIDI	175	q/ha
Produzione lorda vendibile (PLV)	2961	€/ha
Contributi EU - lavorazione tradizionale	150	€/ha
Contributi EU - minima lavorazione	450	€/ha
RICAVO - lavorazione tradizionale	3111	€/ha
RICAVO - minima lavorazione	3411	€/ha
COSTI		
Costi variabili - lavorazione tradizionale	2129	€/ha
Costi variabili - minima lavorazione	1887	€/ha
Costi fissi: costi di struttura	148,05	€/ha
COSTI - lavorazione tradizionale	2277,05	€/ha
COSTI - minima lavorazione	2035,05	€/ha
UTILE		
UTILE - lavorazione tradizionale	833,95	€/ha
UTILE - minima lavorazione	1375,95	€/ha

Tabella 4.19 - Bilancio economico di un'azienda maidicola in condizioni normali.

Successivamente è stata analizzata la variazione del bilancio economico aziendale, quindi dell'utile, rispetto alle condizioni normali per diversi scenari di pericolosità.

Sono stati considerati cinque macro-scenari corrispondenti a cinque eventi alluvionali di diversa stagionalità, in modo da ricoprire le varie fasi dell'itinerario agronomico e quindi del ciclo biologico del mais. I mesi di occorrenza dell'evento ipotizzati sono novembre, aprile, giugno, luglio e settembre, corrispondenti, rispettivamente, alle fasi di particella spoglia, germinazione, crescita, fioritura e maturazione della pianta. Poi, per alcuni di questi cinque eventi alluvionali sono stati considerati dei sotto-casi corrispondenti a differenti caratteristiche dell'evento, in termini di durata e altezza di inondazione.

Di seguito vengono descritti gli scenari di pericolosità ipotizzati e le relative conseguenze sul bilancio economico per il caso della lavorazione tradizionale. Per semplicità, i vari scenari vengono raggruppati in base al mese di occorrenza:

1. Alluvione nel mese di novembre: in questo caso la particella di terreno è ancora spoglia e gli unici costi sostenuti sino a questo momento coincidono con i costi di preparazione del terreno tramite aratura. Pertanto, il ricavo al termine del ciclo produttivo rimane invariato rispetto alla situazione normale poiché l'alluvione non ha alcun effetto sulla coltura (non è ancora stata seminata); mentre, i costi di produzione aumentano perché

si aggiungono le spese per il ripristino e la pulizia del terreno e perché è necessario ripetere l'aratura. Le operazioni di ripristino e pulizia del suolo consistono nel livellamento del terreno e nello spostamento della terra accumulatasi; per queste operazioni è stato fissato un costo pari a 500 €/ha, ricavato dal tariffario dei Contoterzisti della provincia di Lodi. L'incremento dei costi implica una riduzione del profitto dell'impresa. La Tabella 4.20 riassume il bilancio economico per questo scenario. Le relative curve del ricavo e dei costi sono riportate nel grafico b) a sinistra in Figura 4.18 (pp. 131-133).

	Valore	Unità di misura
RICAVO	3111,00	€/ha
COSTI	2939,05	€/ha
UTILE/PERDITA	171,95	€/ha

Tabella 4.20 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di novembre (lavorazione tradizionale).

2. Alluvione nel mese di aprile: si è nello stadio di germinazione del mais, ovvero subito dopo l'operazione di semina. È a questo punto che entrano in gioco le funzioni di danno proposte da Agenais et al. (2013); infatti, la riduzione della produzione lorda e la strategia scelta per proseguire la coltivazione, e dunque la variazione del bilancio aziendale, dipendono dalla percentuale di riduzione della resa subita dalla pianta. Dal grafico A della Figura 4.7, si osserva che nella fase di germinazione si ha sempre una perdita totale di resa appena si verifica un'inondazione, indipendentemente dalla durata e dall'altezza raggiunta dall'acqua. Quindi, in questa fase, sono possibili soltanto due opzioni: abbandono della coltivazione o risemina della stessa coltura.

In caso di abbandono, ovviamente non si ha alcuna produzione, ma si ha comunque un ricavo minimo dato dal contributo EU; invece, i costi si riducono a quelli sostenuti fino al momento della semina. Si ha quindi un risparmio dei costi di produzione, ma il ricavo è pressoché nullo e quindi l'azienda subisce una perdita considerevole.

Chiaramente la situazione migliora nel caso si decida di riseminare perché, nonostante l'aumento dei costi, si riesce ad ottenere la massima produzione lorda, cioè quella ottenibile in condizioni normali. Tuttavia, pur realizzando il massimo ricavo possibile, l'incremento dei costi incide maggiormente sul bilancio finale, che difatti risulta in perdita. L'aumento dei costi è legato alle seguenti lavorazioni aggiuntive: ripristino/pulizia del terreno + rifacimento delle erpicature per sistemare il letto di

semina + risemina del mais. In conclusione, se si verifica un'alluvione nel mese di aprile, l'azienda perde in entrambi i casi.

La tabella seguente riporta il bilancio per i due casi analizzati. Le curve ricavi e costi corrispondenti sono rappresentate nel grafico c) a sinistra in Figura 4.18 (pp. 131-133).

Abbandono		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	150,00	€/ha
COSTI	848,00	€/ha
UTILE/PERDITA	-698,00	€/ha
Risemina		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	3111,00	€/ha
COSTI	3353,05	€/ha
UTILE/PERDITA	-242,05	€/ha

Tabella 4.21 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di aprile (lavorazione tradizionale).

3. Alluvione nel mese di giugno: corrisponde al periodo di crescita del mais (emissione del pennacchio, l'infiorescenza maschile). Secondo il modello di Agenais et al. (2013), a questo stadio vegetativo (Fig. 4.7 – grafico B), le riduzioni di resa cominciano dopo 4 giorni di inondazione e sono totali dopo 12. Quindi per questo scenario di pericolosità bisogna distinguere tra più casi corrispondenti ad inondazioni di diversa durata; mentre, analogamente allo stadio precedente, l'altezza dell'acqua non ha alcuna influenza sulle perdite. Sono stati esaminati quattro casi differenti.

Nel primo caso, si ipotizza un'alluvione di durata inferiore a 5 giorni e altezza qualsiasi ($d \leq 4$ giorni, h qualsiasi). In tali condizioni non si ha alcuna perdita di resa e dunque è possibile proseguire la coltura senza ripercussioni sulla produzione finale: il ricavo rimane invariato rispetto alla situazione normale, mentre i costi aumentano per via delle lavorazioni aggiuntive di ripristino e pulizia del terreno. Nonostante l'incremento dei costi, il bilancio rimane positivo.

Mentre, nel caso di un'inondazione di durata a pari a 5 giorni ($d = 5$ giorni, h qualsiasi), si ha una perdita di resa di circa 12,5%. In questa situazione, si può scegliere se proseguire la coltura inondata o riseminare lo stesso tipo di coltura.

Nel caso di proseguimento della coltura si ha una riduzione della resa, e di conseguenza del ricavo, del 12,5% ed un aumento dei costi corrispondente alle solite spese aggiuntive di ripristino/pulizia del suolo.

Se invece si decide di riseminare è possibile ottenere una resa del 100% della coltura riseminata, utilizzando ibridi di mais a ciclo molto precoce, adatti alla semina in giugno. Pur ottenendo il massimo ricavo, l'incremento dei costi di produzione è superiore rispetto al caso di proseguimento della coltura inondata perché, oltre alle operazioni di ripristino del terreno, bisogna aggiungere tutti i costi legati alla risemina del mais (erpiculture, risemina, sementi). In entrambi i casi il bilancio economico è negativo, ma proseguendo la coltivazione inondata si possono contenere le perdite. L'ultimo scenario considerato coincide con l'abbandono della produzione. Questa è una soluzione probabile nel caso in cui la durata di allagamento superi i 12 giorni ($d \geq 12$ giorni, h qualsiasi), provocando così una perdita totale della resa. Il ricavo coincide con il contributo EU, mentre i costi risparmiati rispetto alle condizioni normali corrispondono con i costi relativi all'irrigazione, alla raccolta e all'essiccazione. L'abbandono comporta come sempre le perdite maggiori. I diversi scenari ipotizzati sono riassunti in Tabella 4.22 e nei grafici d), e) a sinistra in Figura 4.18 (pp. 131-133). Per quanto riguarda la rappresentazione grafica, si è scelto di distinguere tra lo scenario senza alcuna perdita di resa, riportato nel grafico d), e i tre scenari che comportano una qualche perdita di resa (parziale o totale), raccolti nel grafico e).

Proseguimento senza perdita di resa ($d \leq 4$ giorni, h qualsiasi)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	3111,00	€/ha
COSTI	2777,05	€/ha
UTILE/PERDITA	333,95	€/ha
Proseguimento con perdita di resa del 12,5% ($d = 5$ giorni, h qualsiasi)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	2740,88	€/ha
COSTI	2758,54	€/ha
UTILE/PERDITA	-17,67	€/ha
Risemina della stessa coltura senza perdita di resa ($d = 5$ giorni, h qualsiasi)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	3111,00	€/ha
COSTI	3353,05	€/ha
UTILE/PERDITA	-242,05	€/ha
Abbandono ($d \geq 12$ giorni, h qualsiasi)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	150,00	€/ha
COSTI	1235,50	€/ha
UTILE/PERDITA	-1085,50	€/ha

Tabella 4.22 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di giugno (lavorazione tradizionale).

4. Alluvione nel mese di luglio: questo periodo dell'anno corrisponde allo stadio di fioritura del mais, una fase più delicata rispetto alla precedente, poiché le spighe, ancora in formazione, sono molto sensibili al contatto con l'acqua. Riprendendo Agenais et al. (2013), si osserva che a questo stadio vegetativo entra in gioco anche l'altezza idrica (Fig. 4.7 – grafico C): per $h < 130$ cm le riduzioni di resa iniziano dopo 4 giorni di sommersione e sono totali dopo 8, mentre per $h > 130$ cm le spighe sono potenzialmente a contatto con l'acqua e quindi le perdite cominciano appena c'è un'inondazione e sono totali dopo soltanto 1 giorno di sommersione. L'altezza idrica utilizzata come limite (130 cm) corrisponde proprio all'altezza delle spighe del mais. Per il mese di luglio, gli scenari ipotizzati sono all'incirca gli stessi del mese di giugno.

Per un evento alluvionale di $d \leq 4$ giorni e $h < 1,3$ m, non c'è alcuna perdita di resa del mais e quindi si può continuare la coltura inondata, ottenendo il massimo ricavo e aggiungendo solamente le spese di ripristino/pulizia del suolo ai costi di produzione. Il bilancio aziendale è positivo e identico a quello del medesimo scenario nel mese di giugno.

Se invece si verifica un'inondazione caratterizzata da $d = 5$ giorni e $h < 1,3$ m, si ha una riduzione di resa pari a circa il 25%. In questo caso, a differenza del mese precedente, non è più possibile riseminare il mais. Non resta che proseguire la coltivazione del mais alluvionato, con un ricavo finale ridotto del 25% rispetto al ricavo standard e i costi incrementati di 500 €/ha (ripristino/pulizia terreno). L'agricoltore subisce una perdita superiore rispetto al mese di giugno, a causa della maggiore perdita di resa.

Il caso peggiore di abbandono, si verifica per eventi con $d \geq 8$ giorni e h qualsiasi oppure per $d \geq 1$ giorni e $h \geq 1,3$ m, i quali determinano una perdita totale di resa e quindi di raccolto. Il ricavo corrisponde ai 150 € di contributo EU, mentre i costi risparmiati coincidono con metà dei costi irrigui (ipotizzando che al momento dell'alluvione, sia già stato consumato metà del volume irriguo complessivo richiesto dal mais) e con i costi di raccolta e di essiccazione. La Tabella 4.23 e i grafici f), g) a sinistra in Figura 4.18 (pp. 131-133) riassumono gli scenari appena descritti per il mese di luglio.

Proseguimento senza perdita di resa ($d \leq 4$ giorni, $h < 1,3$ m)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	3111,00	€/ha
COSTI	2777,05	€/ha
UTILE/PERDITA	333,95	€/ha
Proseguimento con perdita di resa del 25% ($d = 5$ giorni, $h < 1,3$ m)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	2370,75	€/ha
COSTI	2758,54	€/ha
UTILE/PERDITA	-387,79	€/ha
Abbandono ($d \geq 8$ giorni, h qualsiasi oppure $d \geq 1$ giorno, $h \geq 1,3$ m)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	150,00	€/ha
COSTI	1290,50	€/ha
UTILE/PERDITA	-1140,50	€/ha

Tabella 4.23 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di luglio (lavorazione tradizionale).

5. Alluvione nel mese di settembre: il mais ha ormai raggiunto la fase finale di maturazione e quindi le alluvioni non hanno più alcun effetto sul suo metabolismo; inoltre, le sue spighe sono più resistenti rispetto allo stadio di fioritura. Osservando il grafico D in Figura 4.7, si nota che per altezze idriche inferiori a 130 cm la resa non subisce alcuna riduzione, mentre quando l'acqua supera i 130 cm le perdite cominciano dopo 8 giorni di allagamento e raggiungono il 100% dopo 12 giorni. Le strategie possibili per proseguire l'itinerario colturale sono le stesse del mese di luglio.

Nel caso si verifichi un'inondazione con d qualsiasi e $h < 1,3$ m oppure con $d \leq 8$ giorni e $h \geq 1,3$ m, non si ha alcuna riduzione della resa e quindi è possibile continuare la coltivazione alluvionata senza ripercussioni sul ricavo. A settembre, ossia in prossimità della raccolta, si può evitare di ripristinare e pulire il suolo. Quindi anche i costi non subiscono alcuna variazione. Di conseguenza, il profitto ottenuto in tali condizioni di pericolosità coincide con quello normale raggiunto in assenza di fenomeni alluvionali. In questo periodo dell'anno, si possono avere perdite soltanto per eventi caratterizzati da durate e altezze elevate. Per esempio, ipotizzando un'alluvione con $d = 9$ giorni e $h \geq 1,3$ m, si ha una diminuzione della resa del 25%. Pertanto, scegliendo di proseguire la coltivazione, si avrà un ricavo ridotto appunto del 25%, mentre i costi di produzione non subiscono alcuna variazione poiché, essendo ormai al termine del ciclo produttivo, non sono necessari i lavori aggiuntivi di pulizia del terreno. Il bilancio economico resta positivo, seppur inferiore allo scenario precedente.

Per finire, nel caso di alluvioni con $d \geq 12$ giorni e $h \geq 1,3$ m, il mais subisce una perdita del 100%, costringendo l'agricoltore ad abbandonare la produzione. Sicuramente il caso di abbandono appena prima del raccolto è in assoluto la situazione peggiore che si possa verificare: da una parte la produzione viene persa interamente e quindi l'unico ricavo possibile coincide con il finanziamento europeo, dall'altra parte l'azienda ha ormai effettuato quasi tutte le lavorazioni richieste per la coltivazione del mais e gli unici risparmi corrispondono con i costi delle non più necessarie operazioni di raccolta ed essiccazione. I valori e le curve sul bilancio economico nel caso di alluvione a settembre, sono riportati in Tabella 4.24 e nei grafici h, i) a sinistra in Figura 4.18 (pp. 131-133).

Proseguimento senza perdita di resa (d qualsiasi, $h < 1,3$ m oppure $d \leq 8$ giorni, $h \geq 1,3$ m)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	3111,00	€/ha
COSTI	2277,05	€/ha
UTILE/PERDITA	833,95	€/ha
Proseguimento con perdita di resa del 25% ($d = 9$ giorni, $h \geq 1,3$ m)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	2370,75	€/ha
COSTI	2240,04	€/ha
UTILE/PERDITA	130,71	€/ha
Abbandono ($d \geq 12$ giorni, $h \geq 1,3$ m)		
	Valore	Unità di misura
RICAVO	150,00	€/ha
COSTI	1345,50	€/ha
UTILE/PERDITA	-1195,50	€/ha

Tabella 4.24 - Bilancio economico nel caso di un'alluvione nel mese di settembre (lavorazione tradizionale).

La stessa identica analisi è stata ripetuta seguendo il calendario colturale con la minima lavorazione del terreno. Valgono le medesime considerazioni espresse per la lavorazione tradizionale, ad eccezione dello scenario di alluvione nel mese di novembre. Infatti, come visto, nell'itinerario tradizionale i costi aggiuntivi corrispondono alle spese di ripristino del terreno e al rifacimento dell'aratura; mentre, nella minima lavorazione, la preparazione del letto di semina viene fatta a fine inverno e quindi un'alluvione nel periodo autunnale non comporta alcuna variazione dei normali costi di produzione, se non l'aggiunta delle spese di pulizia del suolo. I bilanci economici relativi ai diversi scenari di pericolosità sono riassunti in Tabella 4.25 e sono rappresentati nei grafici a destra in Figura 4.18 (pp. 131-133). Si può osservare come, in generale, i profitti ottenuti praticando la lavorazione ridotta siano superiori a quelli realizzabili con la tecnica tradizionale e come il bilancio aziendale risulti in perdita quasi esclusivamente nel caso in cui si sia costretti ad abbandonare la coltura inondata.

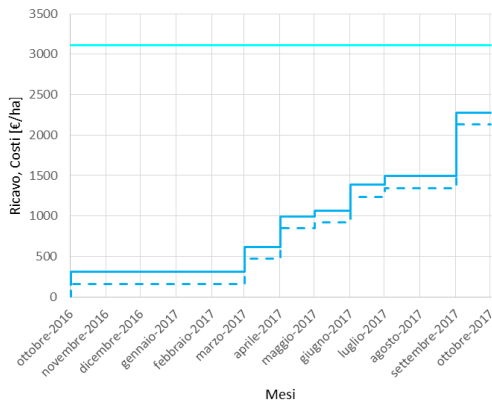
NOVEMBRE		Valore	Unità di misura
	RICAVO	3411,00	€/ha
	COSTI	2535,05	€/ha
	UTILE/PERDITA	875,95	€/ha
APRILE	Abbandono		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	450,00	€/ha
	COSTI	606,00	€/ha
	UTILE/PERDITA	-156,00	€/ha
	Risemina		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	3411,00	€/ha
	COSTI	3141,05	€/ha
	UTILE/PERDITA	269,95	€/ha
GIUGNO	Proseguimento senza perdita di resa (d ≤ 4 giorni, h qualsiasi)		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	3411,00	€/ha
	COSTI	2535,05	€/ha
	UTILE/PERDITA	875,95	€/ha
	Proseguimento con perdita di resa del 12,5% (d = 5 giorni, h qualsiasi)		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	3040,88	€/ha
	COSTI	2516,54	€/ha
	UTILE/PERDITA	524,33	€/ha
	Risemina della stessa coltura senza perdita di resa (d = 5 giorni, h qualsiasi)		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	3411,00	€/ha
	COSTI	3141,05	€/ha
	UTILE/PERDITA	269,95	€/ha
	Abbandono (d ≥ 12 giorni, h qualsiasi)		
	Valore	Unità di misura	
RICAVO	450,00	€/ha	
COSTI	993,50	€/ha	
UTILE/PERDITA	-543,50	€/ha	
LUGLIO	Proseguimento senza perdita di resa (d ≤ 4 giorni, h < 1,3 m)		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	3411,00	€/ha
	COSTI	2535,05	€/ha
	UTILE/PERDITA	875,95	€/ha
	Proseguimento con perdita di resa del 25% (d = 5 giorni, h < 1,3 m)		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	2670,75	€/ha
	COSTI	2516,54	€/ha
	UTILE/PERDITA	154,21	€/ha
	Abbandono (d ≥ 8 giorni, h qualsiasi oppure d ≥ 1 giorni, h ≥ 1,3 m)		
		Valore	Unità di misura
RICAVO	450,00	€/ha	
COSTI	1048,50	€/ha	
UTILE/PERDITA	-598,50	€/ha	
SETTEMBRE	Proseguimento senza perdita di resa (d qualsiasi, h < 1,3 m oppure d ≤ 8 giorni, h ≥ 1,3 m)		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	3411,00	€/ha
	COSTI	2035,05	€/ha
	UTILE/PERDITA	1375,95	€/ha
	Proseguimento con perdita di resa del 25% (d = 9 giorni, h ≥ 1,3 m)		
		Valore	Unità di misura
	RICAVO	2670,75	€/ha
	COSTI	1998,04	€/ha
	UTILE/PERDITA	672,71	€/ha
Abbandono (d ≥ 12 giorni, h ≥ 1,3 m)			
	Valore	Unità di misura	
RICAVO	450,00	€/ha	
COSTI	1103,50	€/ha	
UTILE/PERDITA	-653,50	€/ha	

Tabella 4.25 - Bilancio economico per i diversi scenari di pericolosità nel caso di minima lavorazione.

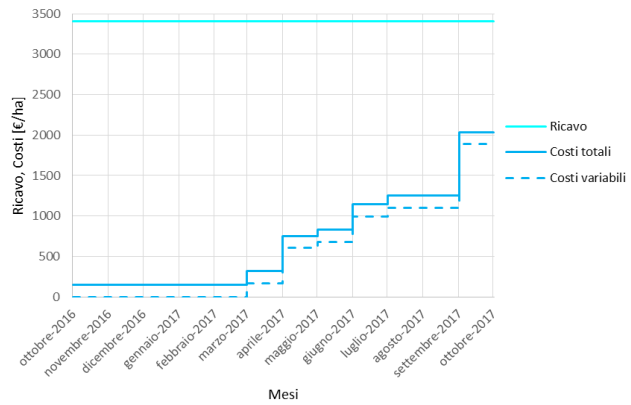
Lavorazione tradizionale del terreno

Minima lavorazione del terreno

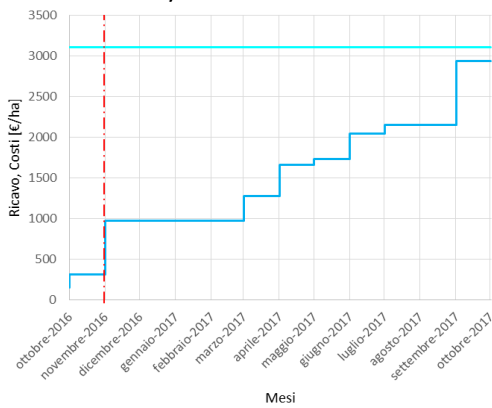
a) CONDIZIONI NORMALI



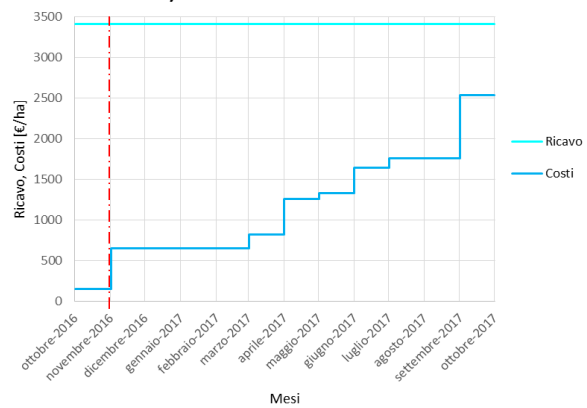
a) CONDIZIONI NORMALI



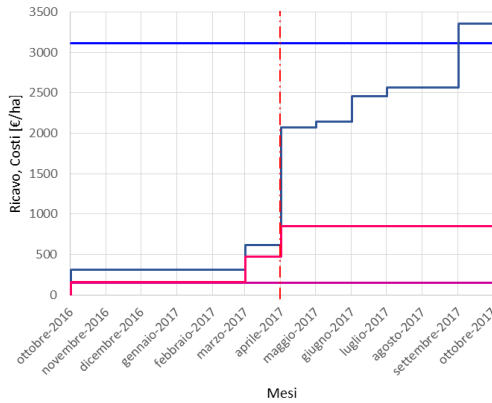
b) ALLUVIONE A NOVEMBRE



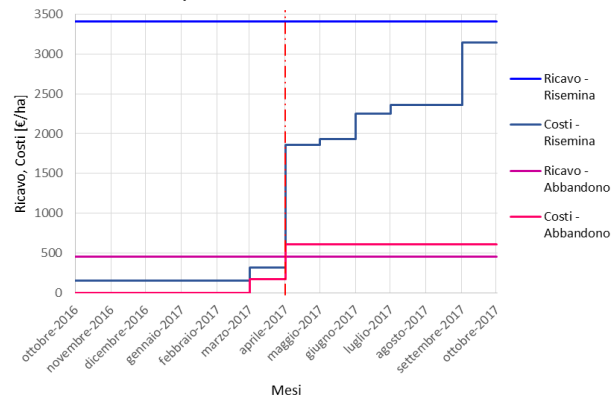
b) ALLUVIONE A NOVEMBRE



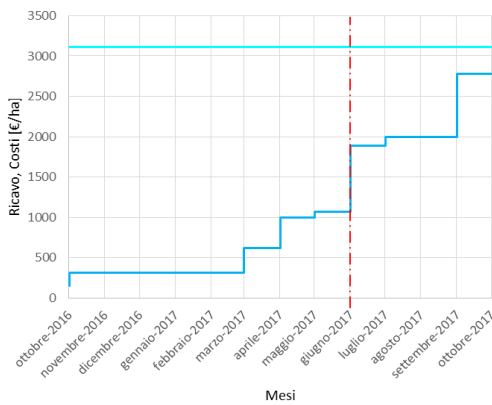
c) ALLUVIONE AD APRILE



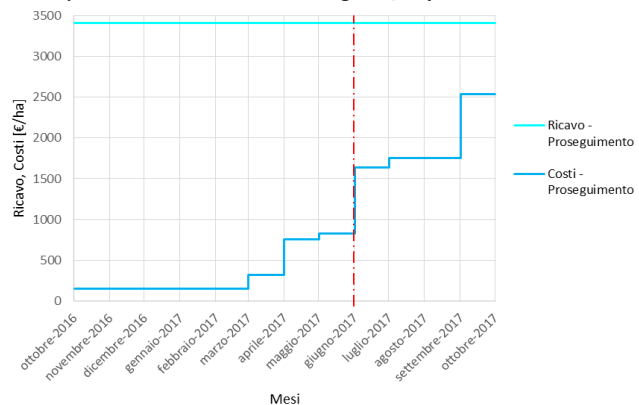
c) ALLUVIONE AD APRILE



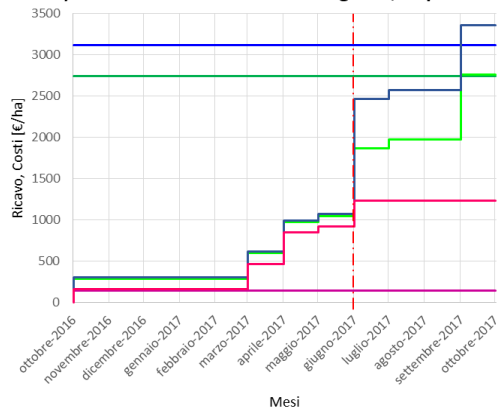
d) ALLUVIONE A GIUGNO: $d \leq 4$ giorni, h qualsiasi



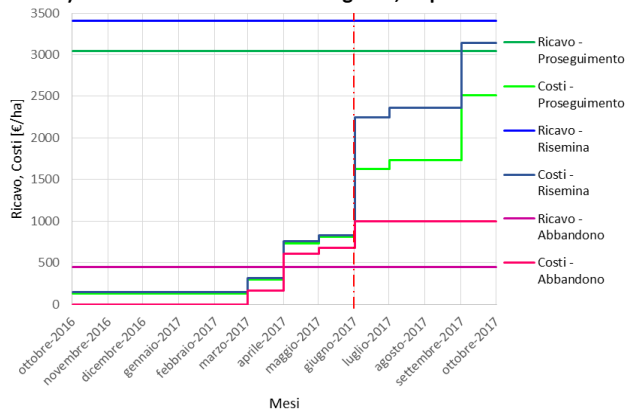
d) ALLUVIONE A GIUGNO: $d \leq 4$ giorni, h qualsiasi



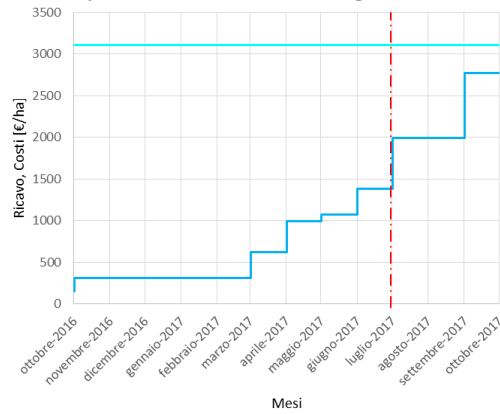
e) ALLUVIONE A GIUGNO: d = 5 giorni, h qualsiasi



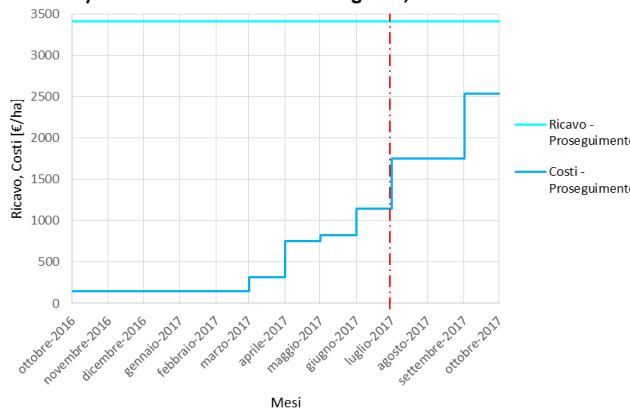
e) ALLUVIONE A GIUGNO: d = 5 giorni, h qualsiasi



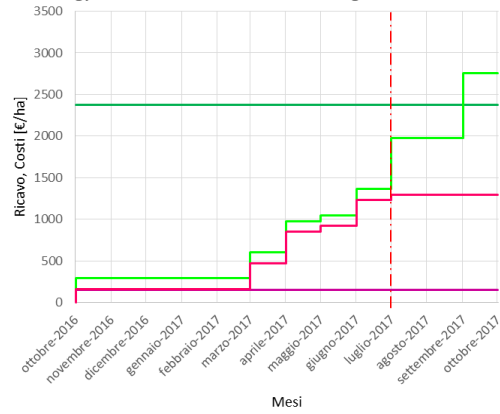
f) ALLUVIONE A LUGLIO: d ≤ 4 giorni, h < 1.3 m



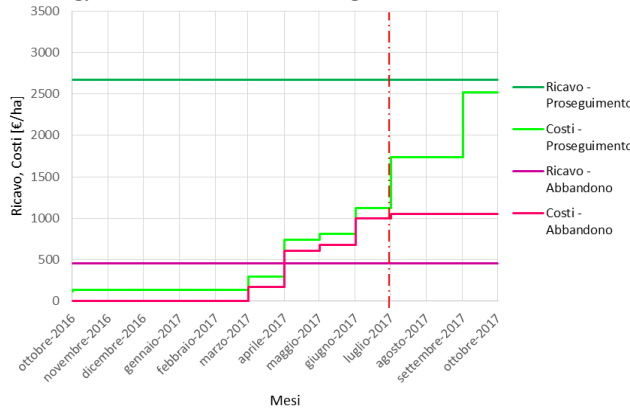
f) ALLUVIONE A LUGLIO: d ≤ 4 giorni, h < 1.3 m



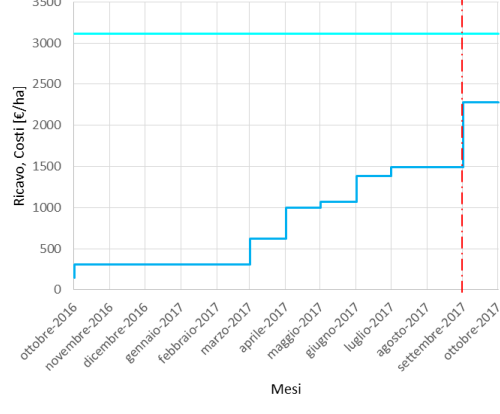
g) ALLUVIONE A LUGLIO: d = 5 giorni, h < 1.3 m



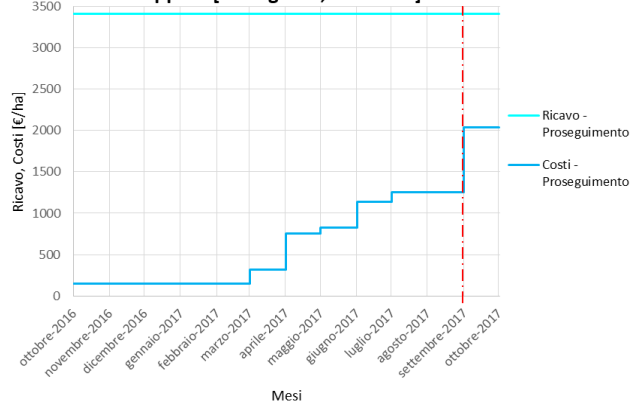
g) ALLUVIONE A LUGLIO: d = 5 giorni, h < 1.3 m



h) ALLUVIONE A SETTEMBRE: [d qualsiasi, h < 1.3 m] oppure [d ≤ 8 giorni, h ≥ 1.3 m]



h) ALLUVIONE A SETTEMBRE: [d qualsiasi, h < 1.3 m] oppure [d ≤ 8 giorni, h ≥ 1.3 m]



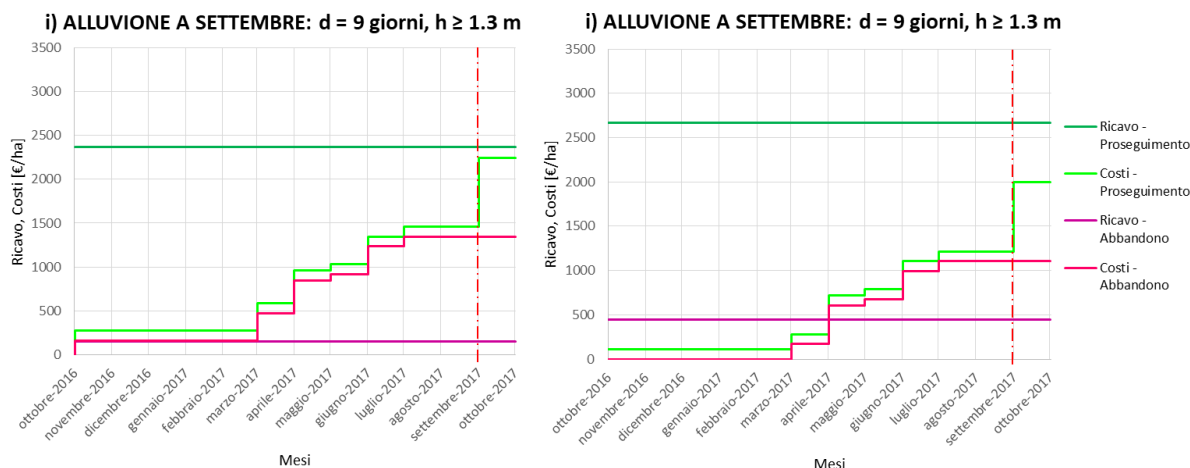


Figura 4.18 - Curve ricavi e costi per condizioni normali e per diversi scenari di alluvione, nel caso di lavorazione tradizionale (grafici a sinistra) e in quello di minima lavorazione (grafici a destra).

Per avere un quadro più chiaro sull'utile dell'azienda maidicola per tutti gli scenari di pericolosità ipotizzati, sono stati costruiti gli istogrammi delle Figure 4.19 e 4.20.

Tali grafici mostrano i profitti o le perdite relativi ai diversi scenari di alluvione, rispettivamente, per la lavorazione tradizionale e quella minima. Si è scelto di distinguere le varie situazioni possibili in base al mese di occorrenza dell'evento e in funzione della strategia di proseguimento dell'itinerario culturale (abbandono, risemina, proseguimento con/senza perdita di resa).

In entrambi i casi, è evidente come l'abbandono della coltura inondata sia la situazione peggiore che si possa verificare e come le perdite conseguenti aumentino nel corso dell'itinerario culturale, a causa dell'incremento progressivo dei costi di produzione sostenuti fino al momento dell'eventuale alluvione. Lo scenario peggiore in assoluto è quello dell'abbandono a settembre appena prima della raccolta. In ogni caso, le perdite subite con la minima lavorazioni sono molto più contenute. Mentre, se la risemina è la strategia scelta per continuare la produzione del mais, le due tecniche preparatorie del terreno danno risultati opposti. Infatti, il bilancio risultante ha circa lo stesso valore, attorno ai 250 €/ha, ma risulta negativo nel caso di lavorazione tradizionale e positivo in quello di minima lavorazione. Infine, nel caso di proseguimento della coltivazione alluvionata, si ha quasi sempre un profitto positivo con entrambe le tecniche, ma sicuramente quello realizzato con la minima lavorazione è di gran lunga superiore. Il massimo profitto, ossia quello che si otterrebbe in assenza di fenomeni alluvionali, si realizza soltanto nel caso di proseguimento del mais inondata senza alcuna perdita di resa nel mese di settembre. Ciò è dovuto al fatto che, in questa fase conclusiva del

ciclo produttivo, non sono richiesti i lavori aggiuntivi per il ripristino del suolo e, di conseguenza, i costi rimangono invariati rispetto alle condizioni normali di coltivazione del mais.

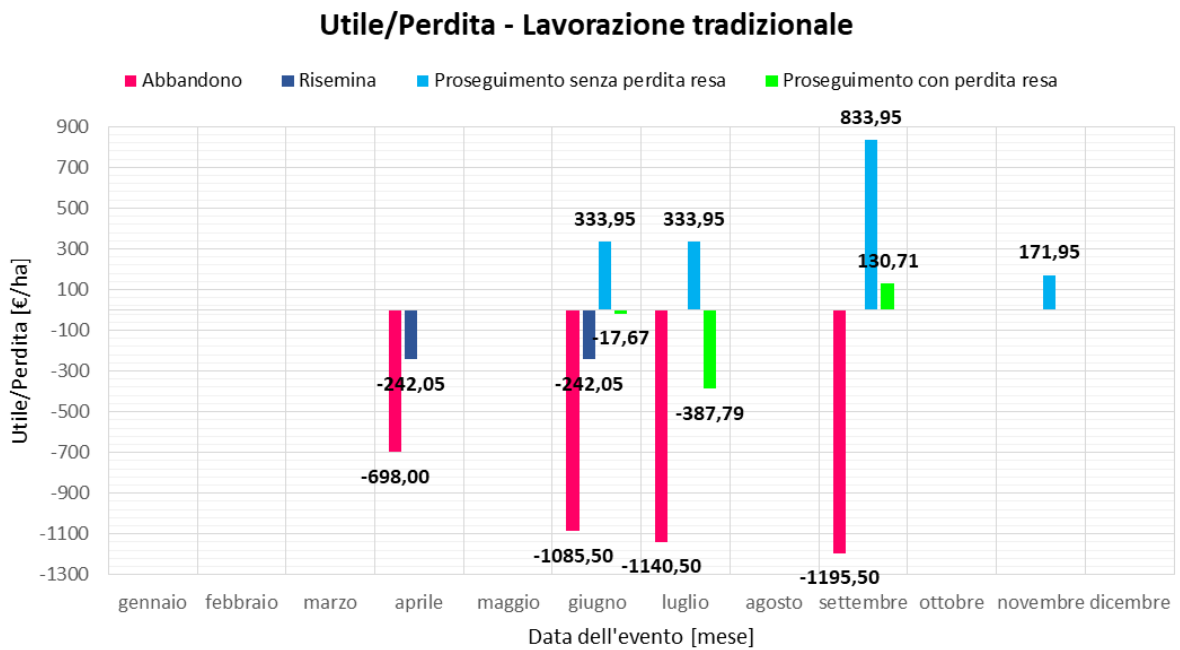


Figura 4.19 - Utile dell'impresa agricola, che adotta la lavorazione tradizionale del terreno, per diversi scenari di pericolosità.

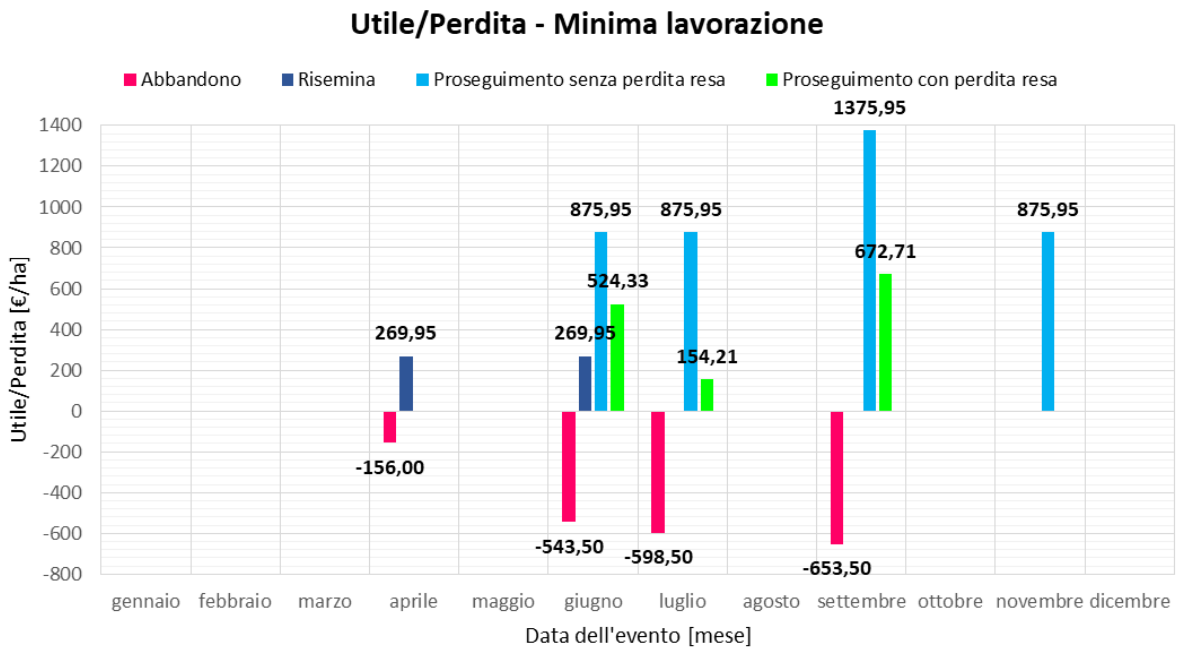


Figura 4.20 - Utile dell'impresa agricola, che adotta la minima lavorazione del terreno, per diversi scenari di pericolosità.

Per esplicitare la perdita di guadagno conseguente ai diversi scenari alluvionali, è stato calcolato il danno economico in percentuale $D_{\%}$ come:

$$D_{\%} = \frac{U_o - U_i}{U_o} \cdot 100$$

dove U_o rappresenta l'utile in condizioni ottimali, mentre U_i è l'utile (o la perdita se $U_i < 0$) corrispondente allo scenario di pericolosità i -esimo. Tale danno è stato rappresentato graficamente tramite istogrammi nelle Figure 4.21 e 4.22, distinguendo come sempre tra le due tecniche possibili. I casi in cui il danno economico subito supera il 100% stanno ad indicare che, al mancato guadagno, si somma la perdita dovuta all'eccedenza delle uscite finanziarie sostenute a fronte delle entrate conseguite (costi > ricavi). Si ribadisce il fatto che la minima lavorazione sia la soluzione migliore da adottare. Infatti, anche in caso di alluvione, consente di guadagnare sempre, tranne nella situazione estrema in cui si sia costretti ad abbandonare la produzione. Viceversa, con la lavorazione tradizionale si è sempre in perdita, in caso di alluvione, eccetto per il caso di proseguimento della coltura inondata senza perdite di resa della pianta.

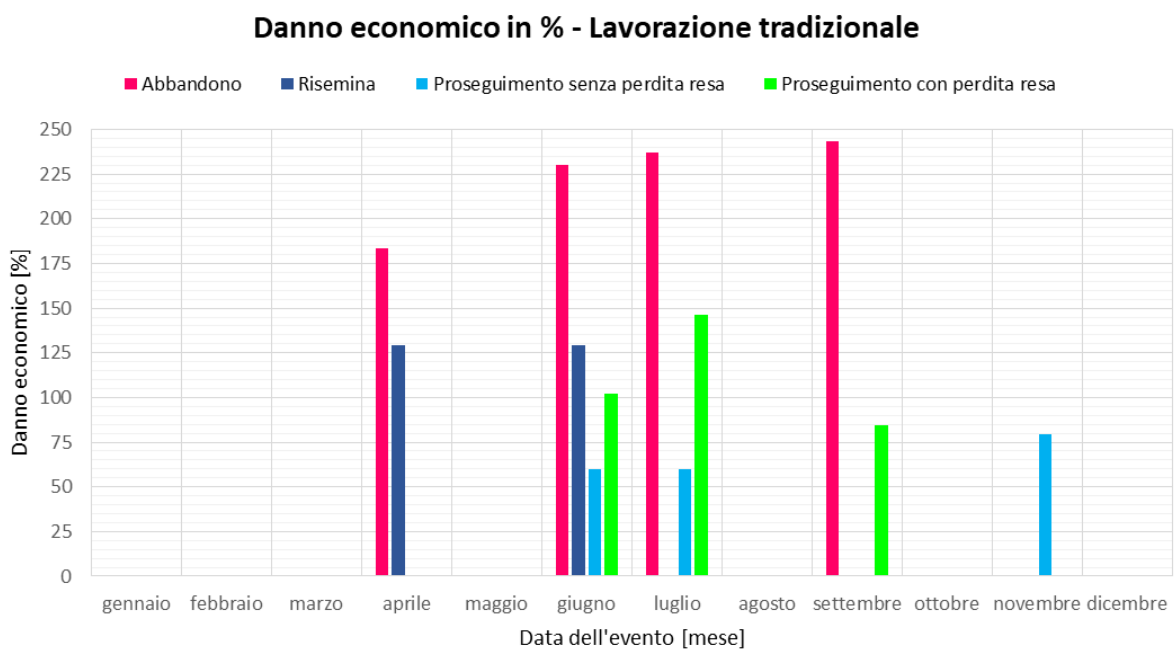


Figura 4.21 – Danno economico in % dell'impresa agricola, che adotta la lavorazione tradizionale del terreno, per diversi scenari di pericolosità.

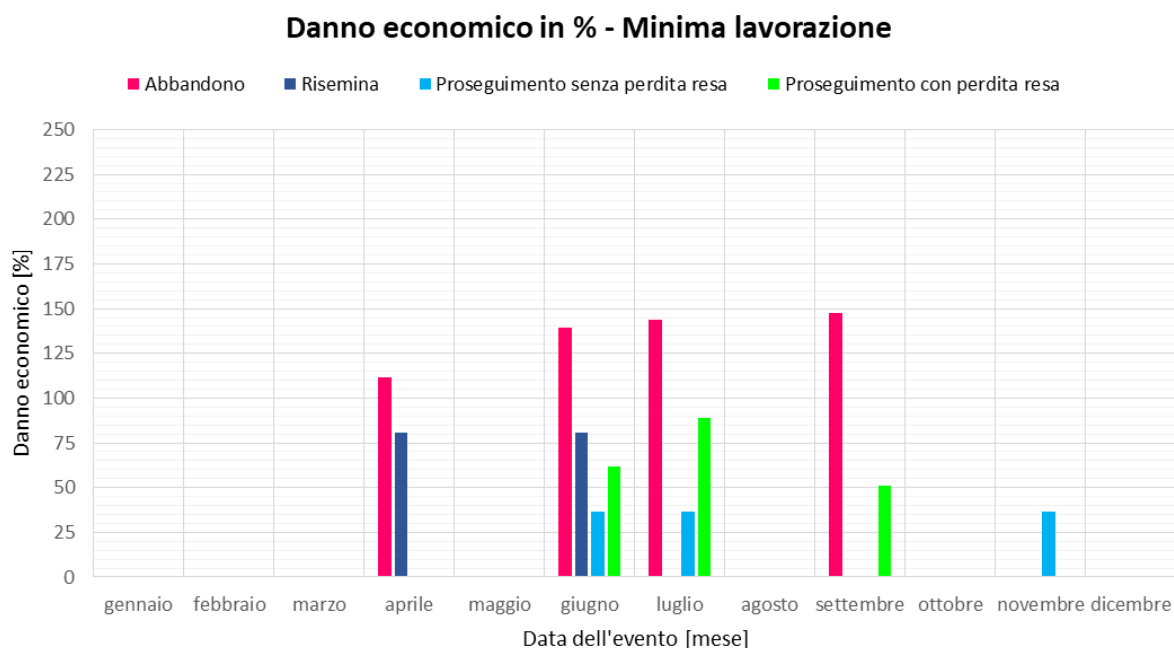


Figura 4.22 – Danno economico in % dell'impresa agricola, che adotta la minima lavorazione del terreno, per diversi scenari di pericolosità.

Per concludere, si è cercato di ricostruire le tipiche curve di vulnerabilità, che esprimono il danno in funzione dei parametri di pericolosità dell'evento (Figura 4.23). Si è deciso dunque di rappresentare il danno economico (%) in funzione dell'altezza idrica per diverse durate di inondazione, per ciascun mese di occorrenza dell'evento. Le diverse durate corrispondono alle differenti strategie di proseguimento dell'itinerario colturale (cfr. Agenais et al. (2013)); solamente per il mese di aprile, in cui la durata non ha alcuna influenza sulle perdite, si fa la distinzione in termini di strategia (abbandono/risemina). L'effetto della durata inizia a farsi sentire nella fase di crescita della coltura (giugno), mentre l'altezza dell'acqua entra in gioco solamente nello stadio di fioritura (luglio), per via dell'eventuale contatto e conseguente danneggiamento delle spighe, poste a circa 130 cm di altezza dal suolo. Tali curve confermano i vantaggi economici derivabili dall'impiego della minima lavorazione.

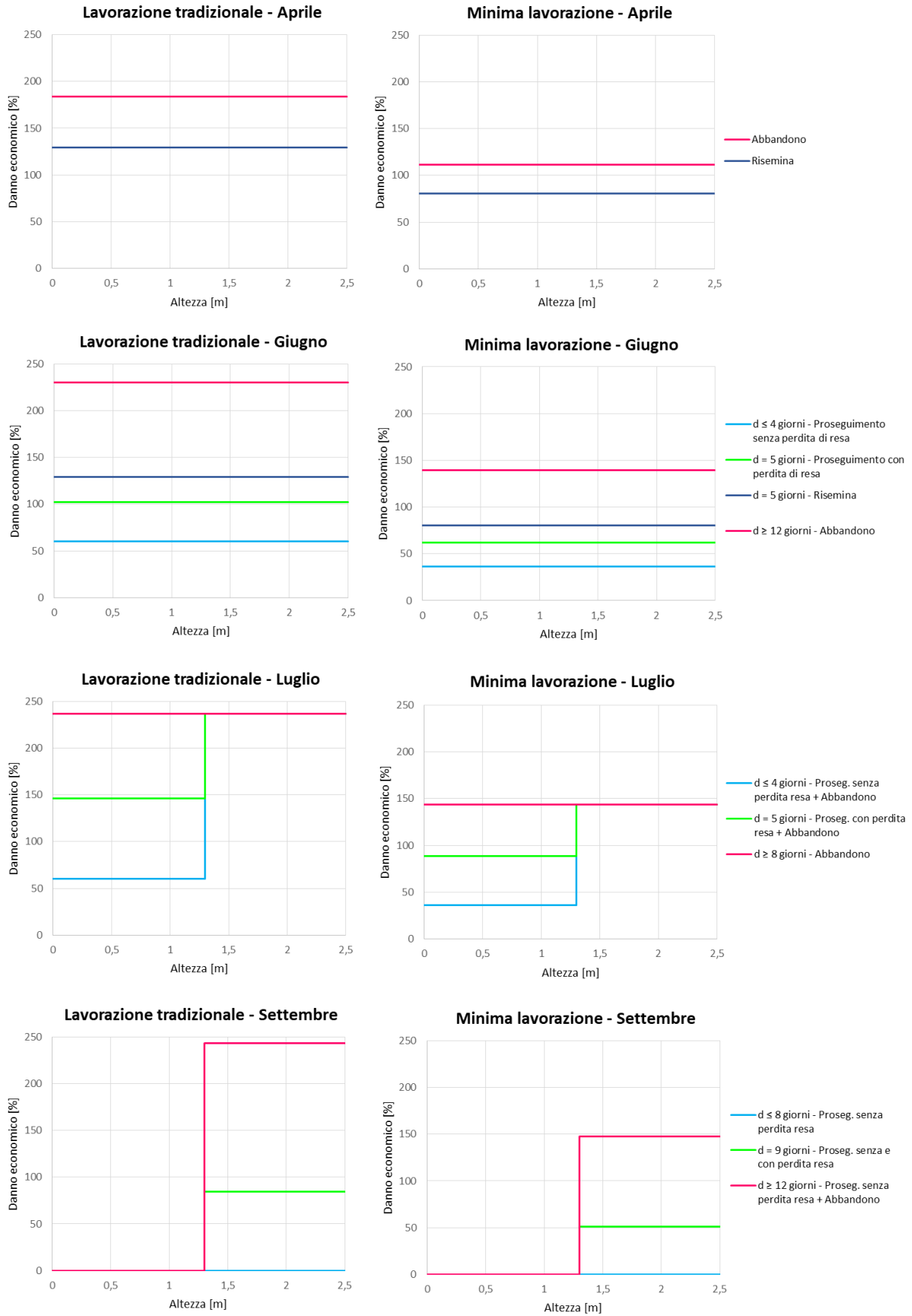


Figura 4.23 - Curve di danno in funzione dei parametri di pericolosità (altezza, durata, mese).

5 Conclusioni

A valle di questo lavoro di tesi, si evince che la valutazione dei danni alluvionali per il settore agricolo sia ad oggi una pratica poco diffusa e alquanto complessa. Tuttavia, la derivazione di modelli per la valutazione del danno alluvionale nelle zone agricole, seppur mediamente inferiore a quello sulle aree urbane, risulta ormai indispensabile per rispondere alle richieste e alle politiche di gestione e mitigazione del rischio, definite a livello comunitario dalla Direttiva Alluvioni: elaborazione delle mappe del rischio, analisi costi-benefici per valutare l'efficienza e la priorità delle misure di mitigazione, in particolare per i progetti che includono il ripristino di aree golenali/piane alluvionali o la realizzazione dei bacini di laminazione.

I metodi esistenti in letteratura si basano su approcci piuttosto semplificati e forniscono stime approssimative del danno atteso. Innanzitutto, la maggior parte dei modelli si focalizza quasi esclusivamente sui danni tangibili diretti alle coltivazioni, tralasciando le altre componenti costituenti l'azienda agricola (suolo, bestiame, macchine, materiali immagazzinati, fabbricati agricoli, ecc.). Tuttavia, per avere una stima esaustiva del danno totale, sarebbe opportuno valutare tutte le categorie e tenere conto anche dei potenziali impatti indotti sull'attività dell'azienda.

Il problema è che, anche concentrandosi unicamente sulle colture agricole, la stima dei relativi danni si basa su ipotesi semplificative. La prima criticità è legata al fatto che il danno atteso viene tipicamente calcolato in funzione di soli due o tre parametri di pericolosità. Se però un modello di questo tipo deve fornire supporto a un progetto di mitigazione del rischio alluvioni, come ad esempio quello di ripristino di una pianura alluvionale destinata all'agricoltura, i parametri di pericolosità di cui tener conto sono numerosi e molto variabili: probabilità di occorrenza dell'evento, stagionalità, altezza d'acqua, durata di allagamento, velocità della corrente, trasporto di sedimenti, contaminazione.

Sicuramente, una delle ragioni principali di tali semplificazioni è la carenza di dati ex-post relativi ai danni all'agricoltura; in assenza di tali dati, l'unica soluzione possibile consiste nella derivazione di un modello esperto. Nel presente lavoro di tesi sono state poste le basi per avanzare in questa direzione. Certamente questo tipo di approccio presuppone un notevole impegno futuro, poiché richiede la raccolta e la condivisione delle conoscenze di agronomi e agrari, nonché la partecipazione degli agricoltori direttamente interessati, in modo tale da arrivare a definire un quadro conoscitivo completo, omogeneo e possibilmente adattabile a diversi contesti territoriali.

Difatti, un altro aspetto critico emerso da questo studio, è costituito proprio dalla difficoltà nel trasferire i modelli esistenti da una nazione/regione ad un'altra. Dal momento che non esistono delle linee guida di riferimento a livello internazionale e, il più delle volte neppure alla scala nazionale, gli autori dei diversi studi hanno sviluppato i propri modelli basandosi su ipotesi e considerazioni molto soggettive, tra l'altro non sempre dichiarate esplicitamente. L'analisi di sensitività effettuata nella presente tesi ha infatti messo in luce le differenze tra i diversi modelli esaminati, dovute a differenti ipotesi di base. Alcuni stimano la perdita economica legata alle colture, mentre altri valutano la vulnerabilità della pianta e quindi la componente fisica del danno. Per queste ragioni si è arrivati alla decisione finale di derivare un nuovo modello di tipo sintetico, traendo vantaggio dalle informazioni ricavate dallo studio della bibliografia. L'obiettivo è stato quello di realizzare un modello che consentisse di associare la valutazione economica a quella fisica, in modo da stimare l'effettivo danno subito dall'azienda. L'associazione delle due componenti di danno risulta essere la questione più complicata, perché bisogna cercare di capire come tradurre in termini economici i danni fisici alle colture, unitamente a quelli al terreno; cioè capire come l'eventuale riduzione della resa della pianta e/o della qualità del prodotto raccolto possano incidere sulla produzione lorda vendibile finale. Inoltre, la valutazione economica della perdita richiede la conoscenza dell'esatta distribuzione dei costi di produzione nel corso dell'annata agraria. Il modello analitico sviluppato per il mais ha evidenziato la difficoltà nel ricostruire l'itinerario agronomico specifico per ogni tipologia colturale, mostrando quindi la necessità di avere l'aiuto di un esperto. La difficoltà risiede soprattutto nel fatto che, per una stessa specie colturale, esistono diverse tecniche di coltivazione, che dipendono dalle scelte di ciascun agricoltore. Per esempio, nel modello sviluppato in questo studio si è distinto tra la preparazione tradizionale del terreno e la minima lavorazione, considerando per entrambe dei costi medi; in realtà i costi possono variare molto a seconda del tipo di macchine impiegate dall'agricoltore.

La stima del danno al settore agricolo è dunque un problema da analizzare alla scala locale perché fortemente dipendente dalle caratteristiche climatiche e agronomiche dell'area considerata e, inoltre, dalle pratiche colturali adottate da ogni azienda.

Sulla base delle considerazioni esposte si possono trarre alcune raccomandazioni per le ricerche future in tale ambito.

In primo luogo, si sottolinea l'importanza della raccolta ex-post dei dati relativi alle variabili di pericolosità dell'evento e ai conseguenti danni per il settore agricolo, indispensabili sia per lo

sviluppo di curve di danno empiriche sia per la validazione dei modelli teorici “expert-based”. A tal fine, può essere utile lo scambio di conoscenze e informazioni tra i diversi Paesi.

Per facilitare tale scambio e la trasferibilità delle curve di danno sviluppate per diverse aree geografiche, occorre utilizzare una scala temporale basata sugli stadi vegetativi della pianta al posto della scala mensile, attualmente impiegata nella maggior parte degli studi esistenti. In questo modo è possibile adattare le funzioni di danno a regioni caratterizzate da climi e quindi calendari agricoli differenti.

Si ribadisce l’esigenza di realizzare modelli atti alla stima dei danni ad ogni componente dell’azienda, e non soltanto alle coltivazioni in atto (e per le diverse colture possibili, anche tenendo conto delle rotazioni colturali). I danni sui fabbricati e sulle piante perenni potrebbero, infatti, rappresentare una porzione significativa del danno atteso complessivo. Bisogna considerare inoltre che, mentre il danno alle colture è legato alla stagionalità dell’evento alluvionale, le altre componenti sono potenzialmente a rischio in ogni momento dell’anno.

Infine, le semplificazioni adottate circa i parametri di pericolosità, andrebbero verificate con opportune analisi di sensitività per arrivare a determinare i parametri più importanti nella stima del danno atteso. L’analisi qui svolta ha messo in risalto il ruolo primario della stagionalità e della durata di inondazione nella valutazione degli impatti sulle colture; mentre l’altezza d’acqua, che è il parametro principale per la stima dei danni sugli edifici, sembra qui avere un’influenza minore. La velocità della corrente non è stata considerata, nell’ipotesi di un’alluvione fluviale in territorio pianeggiante (Lodigiano). Ma nel caso di fenomeni “flash flood”, ormai sempre più frequenti, l’effetto della velocità della piena sull’entità dei danni non può essere sicuramente trascurato. La stessa analisi deve essere eseguita per definire i parametri di pericolosità da considerare nella stima dei danni alle altre categorie di esposizione (suolo, bestiame, macchine agricole, ecc.).

Bibliografia

Agenais A.-L., Grelot F., Brémond P., Erdlenbruch K. (2013) *Groupe de travail national ACB inondation. Dommages des inondations au secteur agricole. Guide méthodologique et fonctions nationales*. IRSTEA, UMR G-EAU « Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages ».

Agri Lodi, Notiziario mensile prodotto dal Settore Agricoltura della Provincia di Lodi (2005) *Notiziario del mese di agosto 2005*.

Araneo F., Berti D., Fiorentino R., Miscione F., Porfidia B., and Rovinelli W. *Sopralluoghi nel territorio compreso tra il Lambro lodigiano e l'Adda a seguito della esondazione del novembre 2002*.

ARPA Lombardia (2003) *Rapporto sullo stato dell'ambiente, in Lombardia 2003*.

ARPA Toscana (2016) *La salvaguardia e il ripristino delle pianure alluvionali*. ARPATnews (n. 063 – 30/03/2016).

Autorità di Bacino del Fiume Po (2003) *Rapporto sulla piena del novembre 2002 in Lombardia – Fiumi Lambro e Adda sottolacuale*. 2^a Versione, Parma, aprile 2003.

Brémond P., Grelot F., and Agenais A.-L. (2013) *Review Article: Economic evaluation of flood damage to agriculture – review and analysis of existing methods*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 2493–2512, 2013.

CCIAA di Lodi, Provincia di Lodi e Parco Tecnologico Padano (2012). *Indagine sugli aspetti strutturali e sulle dinamiche produttive del comparto agroalimentare in provincia di Lodi*.

Cellerino R. (2004) *L'Italia delle alluvioni. Un'analisi economica*. Ed. Franco Angeli.

Citeau J.-M. (2003) *A New Flood Control Concept in the Oise Catchment Area: Definition and Assessment of Flood Compatible Agricultural Activities*. FIG Working Week. Paris, France. April 13-17, 2003.

CRED and UNISDR (2016) *The human cost of weather related disasters 1995-2015*.

Decreto Legislativo del 23 febbraio 2010, n. 49 - *Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni.*

Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency Mitigation Division Washington, D.C. (FEMA) *Flood model _ Hazus-MH _ Technical Manual.* <https://www.fema.gov/plan/prevent/hazus>

Dottori F., Figueiredo R., Martina M.L.V., Molinari D., and Scorzini A. R. (2016) *INSYDE: a synthetic, probabilistic flood damage model based on explicit cost analysis.* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 2577–2591, 2016.

Dutta D., Herath S., Musiak K. (2003) *A mathematical model for flood loss estimation.* Journal of Hydrology 277 (2003) 24–49.

Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (ERSAF), Regione Lombardia (2004) *Suoli e paesaggi della provincia di Lodi.*

European Environment Agency (2017) *Green Infrastructure and Flood Management, Promoting cost-efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions.* EEA Report n. 14/2017.

Förster S., Kuhlmann B., Lindenschmidt K.-E., and Bronstert A. (2008) *Assessing flood risk for a rural detention area.* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 311–322, 2008.

Giunta Regione Lombardia (2003) *Deliberazione n. VII/12001 del 7 febbraio 2003.*

Giunta Regione Lombardia (2014) *Deliberazione n. X/1931 del 6 giugno 2014.*

Guzzetti F., Zoboli R., Salvati P., Bianchi C., Mazzanti M. (2013) *Quanto sono costate e quanto costano le calamità idrogeologiche in Italia?*

Hoes O. and Schuurmans W. (2006) *Flood standards or risk analyses for polder management in the Netherlands.* Wiley InterScience DOI: 10.1002/ird.249.

Hussain S.G. (1995). *Decision Support System for Assessing Rice Yield Loss from Annual Flooding in Bangladesh.* Dissertation. UMI Company, 1996.

Ispra (2015) *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Rapporto 2015*.

Klaus S., Kreibich H., Merz B., Kuhlmann B., Schröter K. (2016) *Large-scale, seasonal flood risk analysis for agricultural crops in Germany*. Environ Earth Sci (2016) 75:1289 DOI 10.1007/s12665-016-6096-1.

Kok M., Huizinga H.J., Vrouwenvelder, A.C.W.M., Barendregt A. (2004) *Standard Method 2004 Damage and Casualties Caused by Flooding*. Ministrie van Verkeer en Waterstaat. Road and Hydraulic Engineering Institute. The Netherlands.

Marotta N. e Zirilli O. (2015) *Disastri e catastrofi. Rischio, esposizione, vulnerabilità e resilienza*. Maggioli editore.

Mendoza M. T. (2015) *Flood risk models: from assumptions to reality. Challenges of adapting damage functions at the local scale: an application in the Valle d'Aosta, Italy*. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano 2015.

Merz B., Kreibich H., Schwarze R., and Thielen A. (2010) *Review article: Assessment of economic flood damage*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 1697–1724, 2010.

Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali (2017) *Decreto del 29 dicembre 2016, n. 0031908*.

Molinari D., Aronica G. T., Ballio F., Berni N., and Pandolfo C. (2012) *Le curve di danno quale strumento a supporto della Direttiva Alluvioni: criticità dei dati italiani*.

Peel M.C., Finlayson B.L., and McMahon T.A. (2007) *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 4, 439–473, 2007.

Pieri R. e Pretolani R. (2016) *Il Sistema Agro-alimentare della Lombardia. Rapporto 2017*. Ed. Franco Angeli.

Studio Paoletti Ingegneri Associati (2005, aggiornamento 2010) *Studio idrologico-idraulico del tratto di F. Adda inserito nel territorio comunale*. Relazione idrologica-idraulica.

Tassinari G. (1998) *Manuale dell'agronomo*. 5^a ed. Ed. Reda, 1998.

The European Parliament and the Council of the European Union (2007) *Directive on the assessment and management of flood risks (2007/60/EC)*. Official Journal of the European Union L 288/27.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1985) *AGDAM, Agricultural Flood Damage Analysis - User's Manual (Provisional)*. <http://www.hec.usace.army.mil/>

U.S. Department of Agriculture (USDA) (1994) *Major World Crop Areas and Climatic Profiles*. USDA. Agricultural Handbook n. 664.

Vozinaki A.-E. K., Karatzas G.P., Sibetheros I.A., and Varouchakis E.A. (2015) *An agricultural flash flood loss estimation methodology: the case study of the Koiliaris basin (Greece), February 2003 flood*. *Nat. Hazards* (2015) 79:899–920 DOI 10.1007/s11069-015-1882-8.

Sitografia

<http://www.agraria.org/>

<https://agricoltura.servizirl.it/>

<http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>

<https://www.siarl.regione.lombardia.it/>

Appendice

A.1 Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano

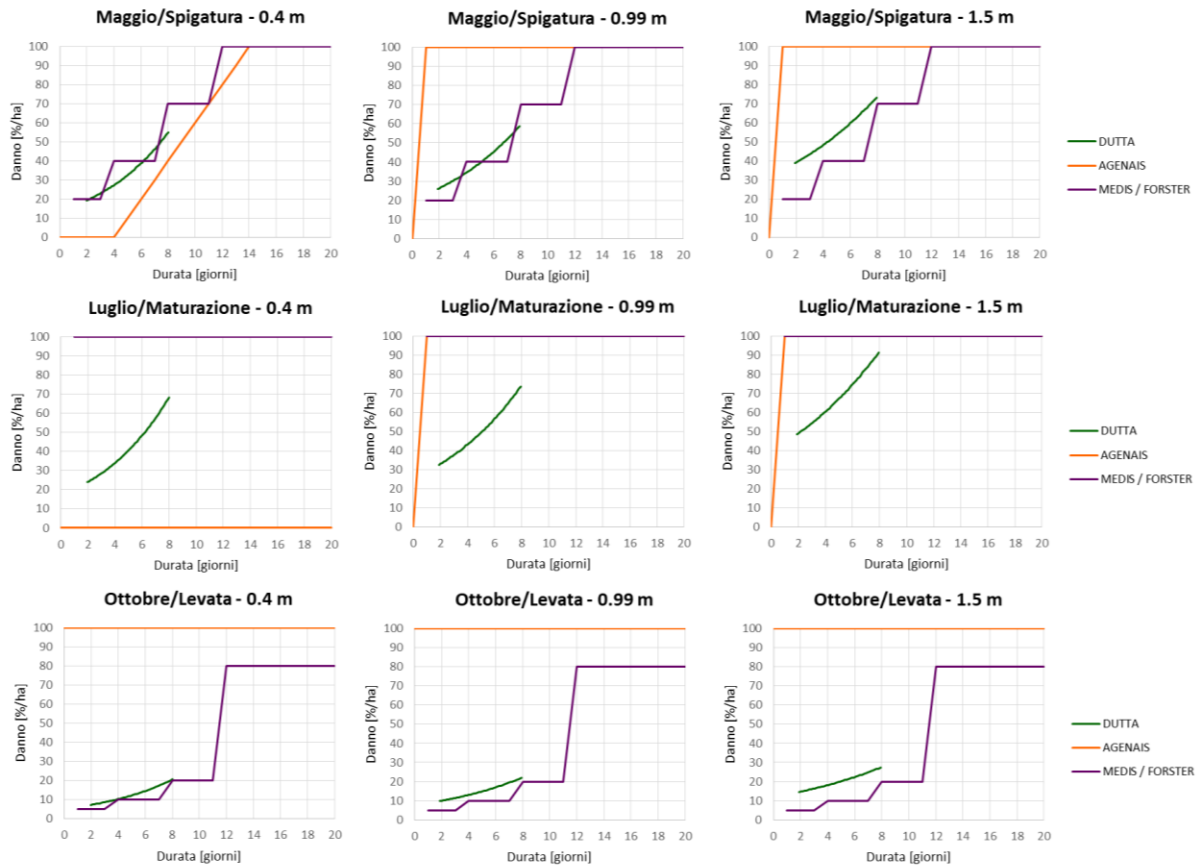


Figura 0.1 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano: variazione del danno in funzione della durata di inondazione per diverse combinazioni di altezza idrica e mese.

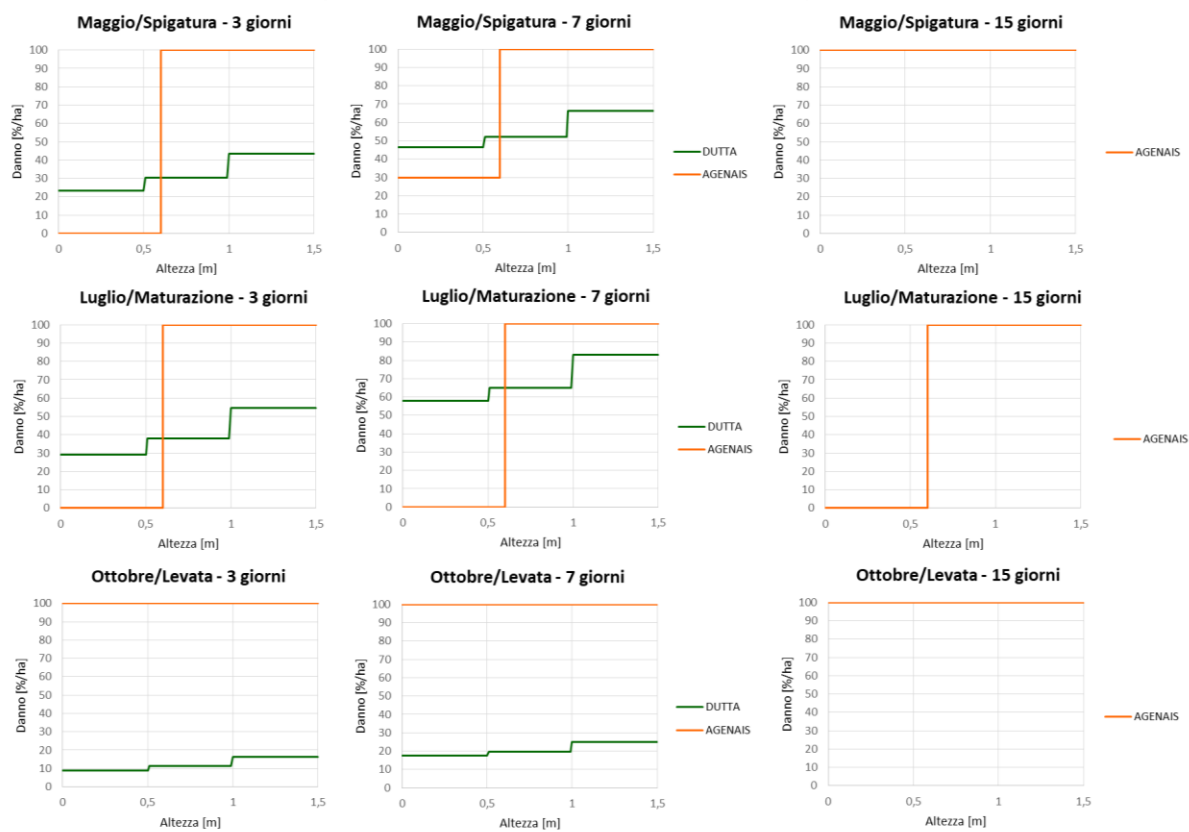


Figura 0.2 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano: variazione del danno in funzione dell'altezza di inondazione per diverse combinazioni di durata e mese.

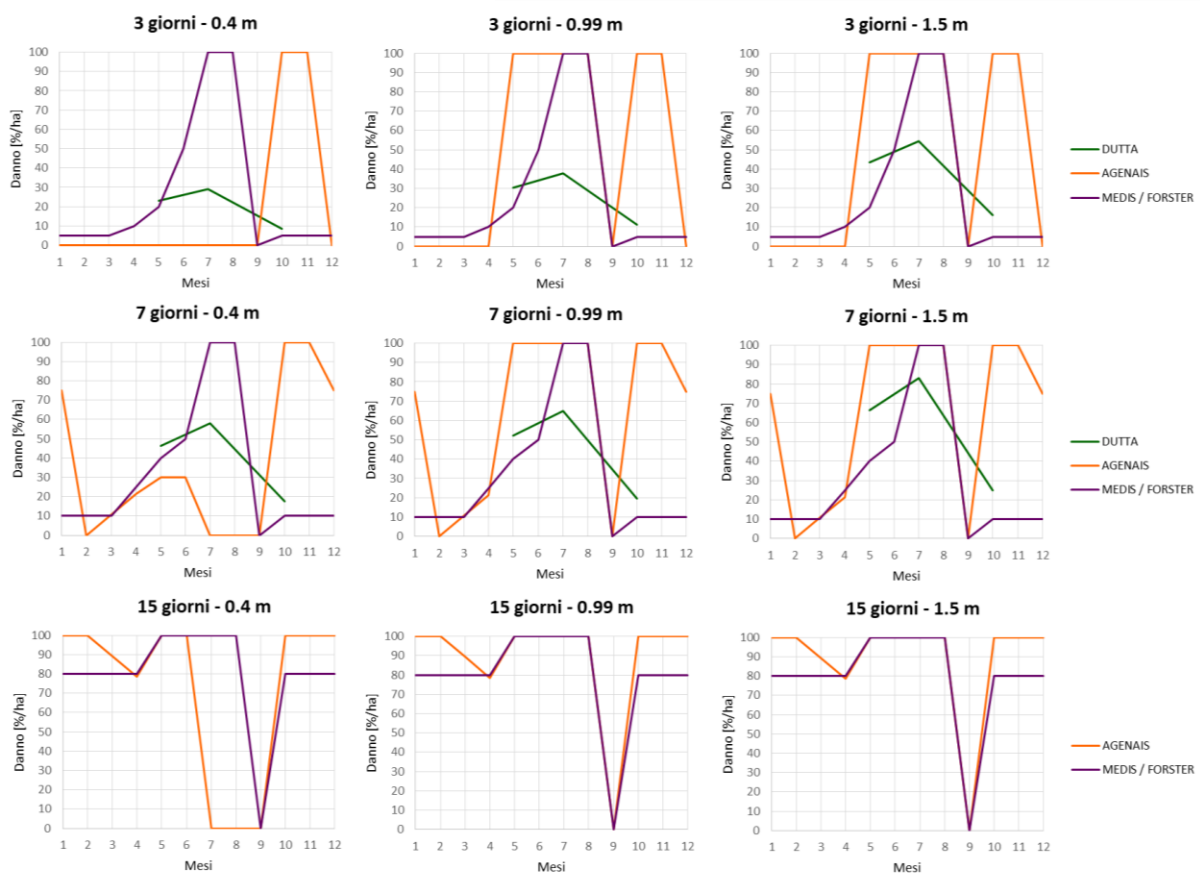


Figura 0.3 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di grano: variazione del danno in funzione del mese per diverse combinazioni di durata e altezza.

A.2 Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo

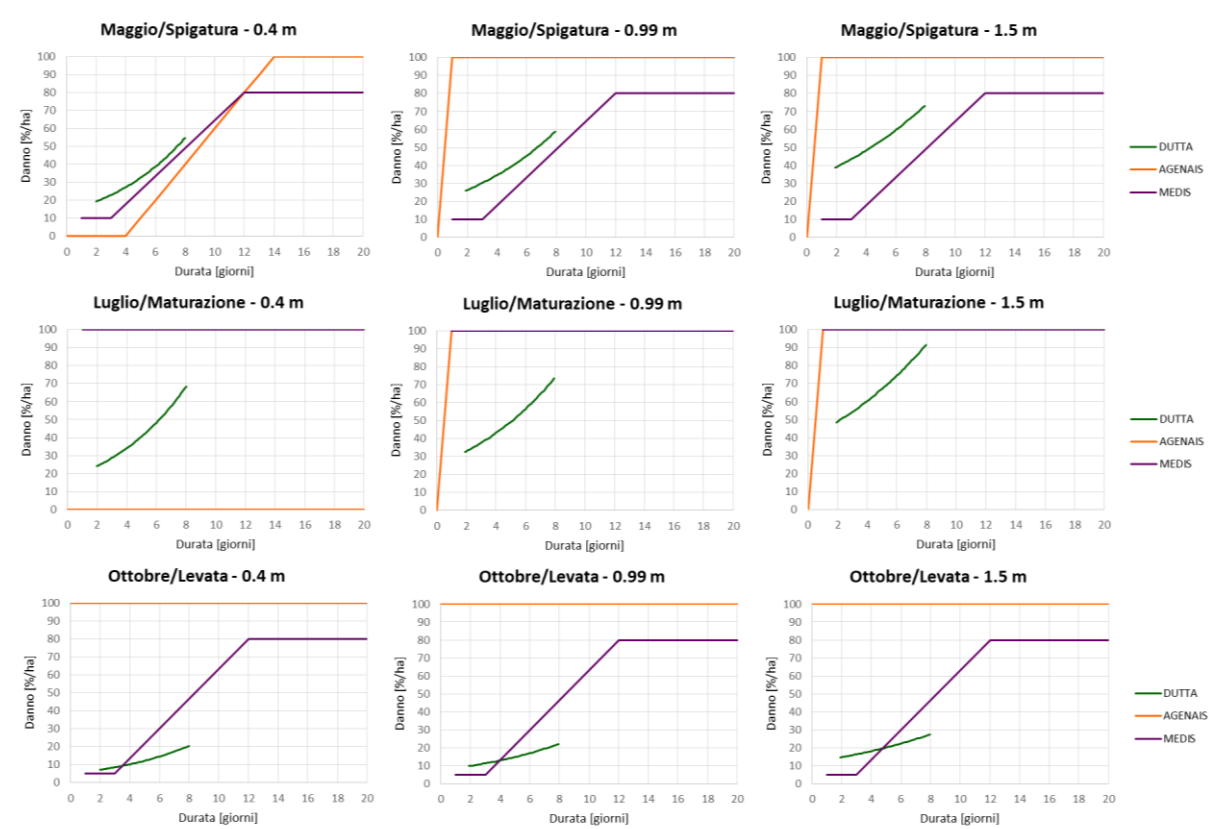


Figura 0.4 Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo: variazione del danno in funzione della durata di inondazione per diverse combinazioni di altezza idrica e mese.

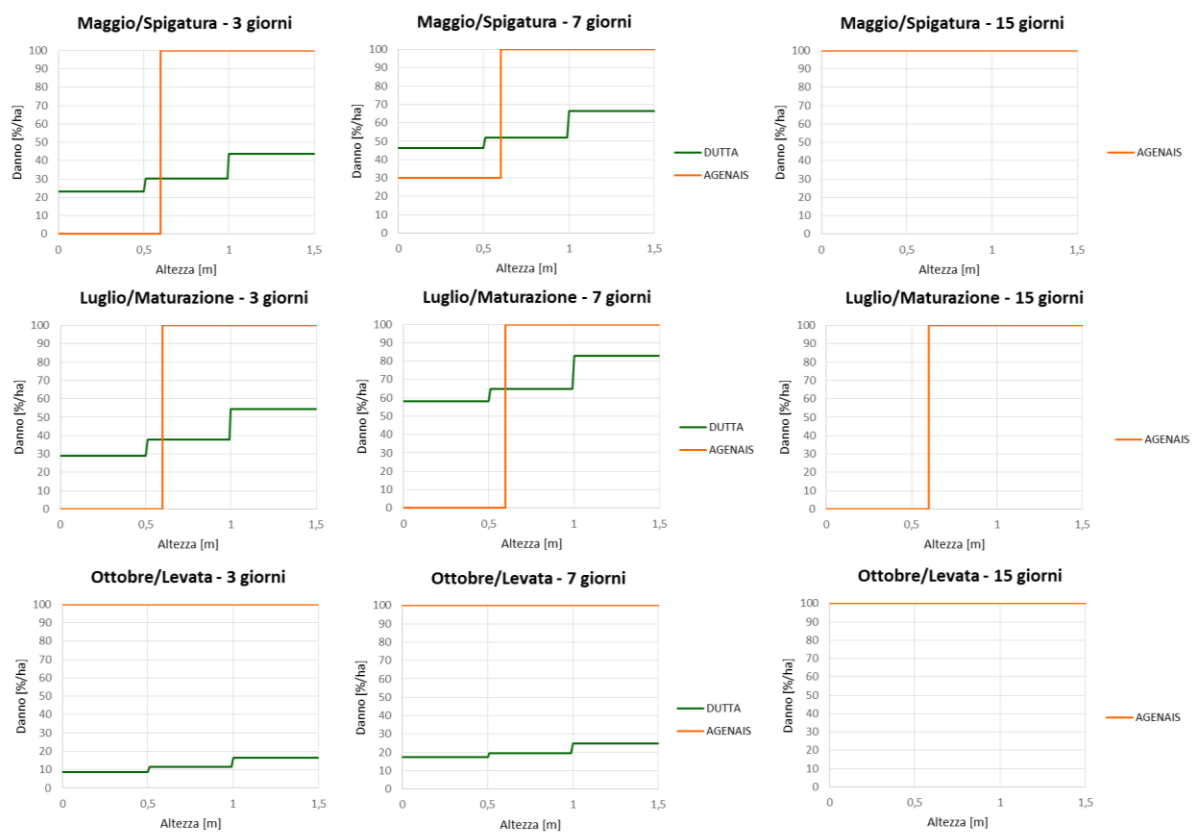


Figura 0.5 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo: variazione del danno in funzione dell'altezza di inondazione per diverse combinazioni di durata e mese.

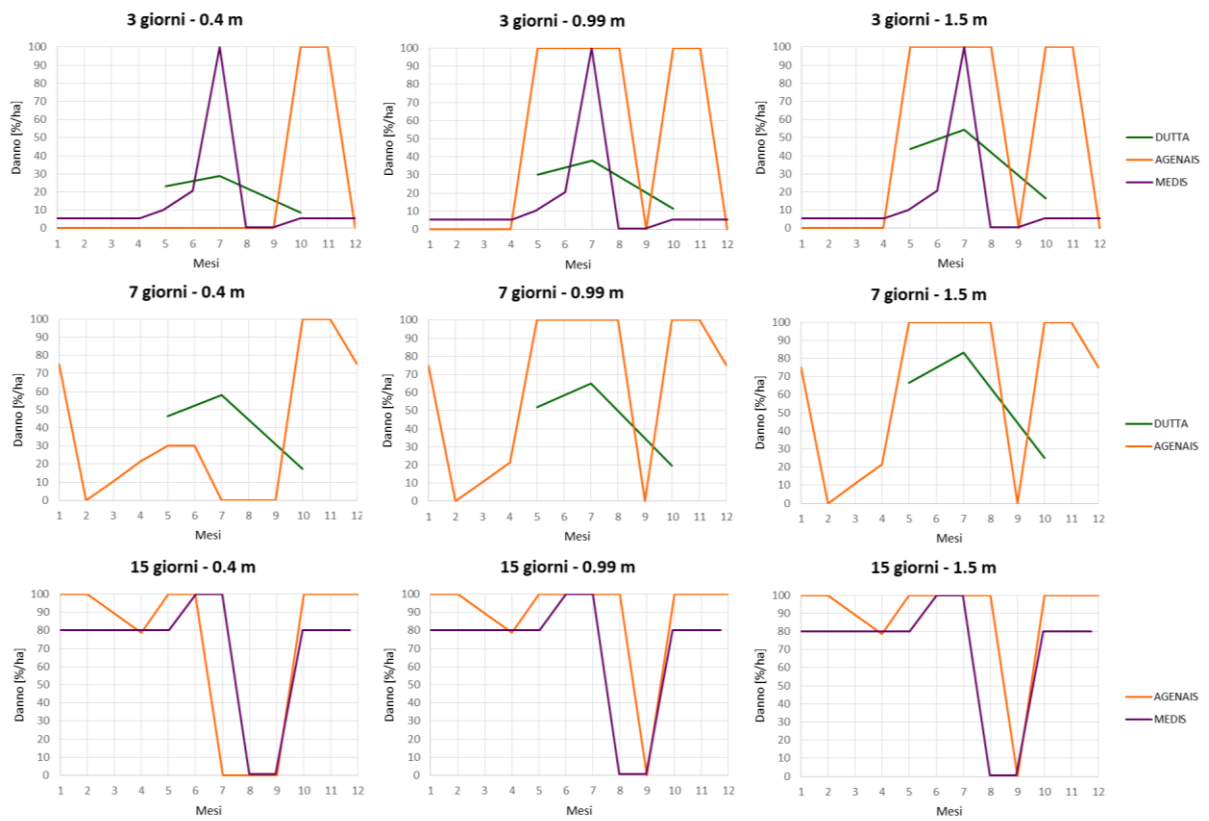


Figura 0.6 - Analisi di sensitività su una particella unitaria di orzo: variazione del danno in funzione del mese per diverse combinazioni di durata e altezza.

Ringraziamenti

In queste poche righe desidero ringraziare le persone che hanno contribuito al raggiungimento di questo importante traguardo.

Ringrazio innanzitutto la professoressa Daniela Molinari, relatrice di questa tesi, e la Dott. Anna Rita Scorzini, correlatrice, per la disponibilità e l'attenzione dimostratemi durante lo svolgimento dell'intero lavoro. Le ringrazio per avermi permesso di partecipare agli incontri con enti, quali Regione Lombardia e Coldiretti di Lodi, che hanno fornito il loro contributo tramite la concessione di dati e informazioni necessari per lo sviluppo del lavoro, e che per questo desidero, a loro volta, ringraziare. Ringrazio inoltre il professor Francesco Ballio per avermi offerto l'opportunità di partecipare a questo interessante progetto.

Un sentito ringraziamento va ai miei genitori, che con il loro lavoro e i loro sacrifici hanno consentito a me e mia sorella di vivere questa costruttiva esperienza di vita, che è l'università. Ringrazio mia sorella, fondamentale punto di riferimento e di sfogo in ogni momento e situazione.

Ci tengo a ringraziare i miei amici di sempre Giuliana, Elisa, Sara, Giulia, Diego e Fabio con cui ho condiviso esperienze, sogni e paure per tutti questi anni.

E ovviamente ringrazio i miei compagni di corso, soprattutto Beatrice, Elisabetta, Erica, Federica, Paola, Ilaria e Paolo, con cui ho vissuto momenti emozionanti ma anche esilaranti sia dentro che fuori le mura universitarie e con cui mi auguro di vivere altrettanti bei momenti negli anni a venire.