

Weather Risk Insurance

Valeria D'Amato

Università degli Studi di Salerno



Seminario CNA

19 Novembre 2020



MOTIVATION

I *cambiamenti climatici* comportano rischi fisici, cioè rischi di danni materiali, alle strutture e agli individui colpiti da *eventi naturali avversi*: questi possono essere *eventi meteorologici estremi*, come tornado, uragani, alluvioni, ondate di calore e di freddo, incendi e siccità, o *eventi non estremi*, come scarsità d'acqua, perdita di produttività dei suoli, variazioni delle temperature medie.

INTERESSE CONVERGENTE del settore pubblico e privato a gestire il rischio di EVENTI METEOROLOGICI AVVERSI

MERCATO ASSICURATIVO: attore protagonista

WEATHER INSURANCE: condizioni

SOSTENIBILITA' WEATHER INSURANCE

(Charpentier, 2008)

□ Actuarial Insurability

- Gli eventi estremi accadono casualmente
- La massima Perdita possibile dovrebbe essere ragionevolmente confrontata con la solvibilità della Compagnia
- La Perdita deve essere identificabile e quantificabile
- Le perdite dovrebbero essere incorrelate in modo che i rischi possano essere messi in pool

WEATHER INSURANCE: condizioni

SOSTENIBILITA' WEATHER INSURANCE

(Charpentier, 2008)

□ Economic Insurability

- Le conseguenze derivanti da asimmetrie informative dovrebbero essere limitate (moral hazard, adverse selection, charity hazard)
- La disponibilità dei consumatori a pagare per una polizza dovrebbe eccedere il premio per il quale gli assicuratori sono disponibili ad accettare di trasferire il rischio

WEATHER INSURANCE: condizioni

SOSTENIBILITA' WEATHER INSURANCE

(Charpentier, 2008)

Actuarial Insurability

implica la valutazione del rischio in termini monetari

Economic Insurability

consente la determinazione di un fair price che risulti in un mercato in equilibrio tra domanda ed offerta

WEATHER INSURANCE: mercato assicurativo

CARATTERISTICHE WEATHER INSURANCE MARKET

□ Adverse selection

Le analisi statistiche mostrano che gli assicurati possiedono più elevate livelli di esposizione (eventi metereologici avversi) e più alti danni in termini finanziari rispetto al caso della popolazione non assicurata

WEATHER INSURANCE: mercato assicurativo

CARATTERISTICHE WEATHER INSURANCE MARKET

☐Moral hazard

Si verifica dopo la stipula del contratto e contraddistingue le azioni intraprese dall'assicurato che portano a modificare la probabilità del rischio originariamente stimata dall'impresa assicurativa o l'entità del risarcimento - tal caso si riscontra nel comportamento di un agente assicurato che, ottenuta l'assicurazione, riduce la prudenza che avrebbe avuto nel caso in cui non fosse stato assicurato rendendo così l'evento assicurato più probabile e il risarcimento più elevato.

WEATHER INSURANCE: mercato assicurativo

CARATTERISTICHE WEATHER INSURANCE MARKET

☐ Charity hazard in WI market

La presenza di charity hazard è spiegata come causa della bassa penetrazione di assicurazioni contro eventi meteorologici avversi:

‘charity hazard’, cioè la tendenza a non assicurarsi contro eventi meteorologici avversi, poichè si ritiene che verranno appostati aiuti e/o sovvenzioni dallo Stato, dalle municipalità, programmi di emergenza o anche amici o famiglia.

In altre parole ci sarà una COMPENSAZIONE POST-DISASTRO, che induce il charity hazard

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi

PRINCIPALI PRODOTTI WI

1) Indemnity-Based Insurance

- *Damage-based indemnity insurance*
- *Yield-based insurance*

2) Index-Based Insurance

- *Area yield index insurance*
- *Weather Index Insurance*

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi

PRINCIPALI PRODOTTI WI

1) Indemnity-Based Insurance

- *Damage-based indemnity insurance*

A seguito del danno è riconosciuta una percentuale di una somma prestabilita assicurata. Generalmente la somma assicurata è basata sui costi di produzione o sui compensi attesi.

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi

PRINCIPALI PRODOTTI WI

1) Indemnity-Based Insurance

➤ *Yield-based insurance*

Il rendimento assicurato è una percentuale del rendimento medio storico dell'assicurato.

Tipicamente si tratta di una percentuale che oscilla tra il 50% ed il 70% della media dei rendimenti storici

Se $r_{realizzato}^* < r_{assicurato}$ allora

$INDENNITA' = r_{assicurato}^* - r_{realizzato}^*$ (NOZIONALE)

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi

PRINCIPALI PRODOTTI WI

2) Index-Based Insurance

➤ *Area yield index insurance*

Il rendimento assicurato è una percentuale del rendimento medio storico di una regione.

L'indennità è pagata indipendentemente dal rendimento effettivo del policyholder,

Se $r_{realizzato}^$ per area $<$ $r_{assicurato}$ allora*

INDENNITA' = $r_{assicurato}^$ per area $- r_{realizzato}^*$ (NOZIONALE)*

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi

PRINCIPALI PRODOTTI WI

2) Index-Based Insurance

➤ *Weather Index Insurance*

*L'indennità è basata sulle realizzazioni di uno specifico parametro - **INDICE BIOCLIMATICO** - misurato su di un periodo di tempo prespecificato, rilevato ad una data stazione metereologica. L'assicurazione è strutturata come protezione contro realizzazioni dell'indice che sono «troppo alte» o «troppo basse» da causare perdite attese.*

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi

PRINCIPALI PRODOTTI WI

2) Index-Based Insurance

➤ *Weather Index Insurance*

Se $I_{realizzato}^* < \text{Soglia}$ ovvero se $I_{realizzato}^* > \text{Soglia}$
allora

INDENNITA' = Punti indice* (NOZIONALE)

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi a confronto – WORLD BANK

<i>Weather Insurance Indemnity Products</i>	<i>Benefits</i>	<i>Criticità</i>
<i>Damage-based indemnity insurance</i>	<ul style="list-style-type: none"> Polizze semplici Loss assessment trasparente Adverse selection e moral hazard possono essere controllate 	<ul style="list-style-type: none"> Loss assessment viene condotto presso l'assicurato □ Non adatta a rischi complessi
<i>Yield-based insurance</i>	<ul style="list-style-type: none"> Prodotto "universal" Adattamenti tecnici per differenti coltivazioni limitati Reddito garantito Facili da veicolare presso i potenziali assicurati 	<ul style="list-style-type: none"> Loss assessment viene condotto presso l'assicurato □ Adverse selection Moral hazard Complesso l'accertamento della serie storica dei rendimenti dell'assicurato Costi amministrativi alti Non adatta a piccole imprese □

WEATHER INSURANCE: prodotti assicurativi a confronto – WORLD BANK

<i>Weather Insurance Index-based Products</i>	<i>Benefits</i>	<i>Criticità</i>
<i>Area yield index insurance</i>	<ul style="list-style-type: none"> Assenza di adverse selection, moral hazard bassi costi amministrativi Adatta a rischi gravanti su collettività Enrollment delle imprese è semplice cattura tutte le cause di perdite su rendimenti 	<ul style="list-style-type: none"> Serie storica dei rendimenti non sempre disponibile o affidabile a livello di aree Presenza di Basis risk
<i>Weather Index Insurance</i>	<ul style="list-style-type: none"> Assenza di adverse selection, moral hazard Adatta a rischi gravanti su collettività Trasparente - basata su Meteorological Service Data Facile da riassicurare 	<ul style="list-style-type: none"> Presenza di Basis risk significativo Setting up dei parametri tecnici dell'indice è complesso Necessità di buoni dati metereologici ed agronomici Difficoltà di correlazione diretta tra il danno ed il dato metereologico

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' Weather Index Insurance - WII

1. COSTRUZIONE di INDICATORI BIOCLIMATICI AFFIDABILI;
2. MODELING della DIPENDENZA tra YIELDS E WEATHER DATA
3. BASIS RISK - mitigazione

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' Weather Index Insurance - WII

1. COSTRUZIONE di INDICATORI BIOCLIMATICI AFFIDABILI

a) *affidabilità ex ante:*

dati satellitari

b) *affidabilità per costruzione:*

flessibilità- indice artificiale adattato (AI)

c) *affidabilità ex post:*

Validazione registra risultati promettenti

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - basis risk

basis risk in WII

Inaccurata compensazione delle perdite rispetto all'effettiva perdita in termini reddituali

Può essere classificato in 3 componenti (Dalhaus et al. 2018):

- 1. Basis risk geografico o spaziale**
- 2. Basis risk di design**
- 3. Temporal Basis Risk**

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - basis risk

basis risk in WII

Inaccurata compensazione delle perdite rispetto all'effettiva perdita in termini reddituali

Può essere classificato in 3 componenti (Dalhaus et al. 2018):

1. Basis risk geografico o spaziale

se l'indice misurato presenta una distanza spaziale dal luogo di produzione

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - basis risk

basis risk in WII

Inaccurata compensazione delle perdite rispetto all'effettiva perdita in termini reddituali

Può essere classificato in 3 componenti (Dalhaus et al. 2018):

2. Basis risk di design

se l'indice prescelto è un inadeguato predittore delle perdite sui rendimenti

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - basis risk

basis risk in WII

Inaccurata compensazione delle perdite rispetto all'effettiva perdita in termini reddituali

Può essere classificato in 3 componenti (Dalhaus et al. 2018):

3. Temporal Basis Risk

dipende dalla scelta imperfetta dell'arco temporale di misurazione dell'indice

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - STRUTTURA DIPENDENZA

Per modellare la dipendenza tra due variabili aleatorie si può utilizzare la copula, che consiste nella stima di una distribuzione multivariata che definisce la struttura di dipendenza tra le due distribuzioni marginali, uniformemente distribuite nell'intervallo $[0,1]$.

Il metodo delle copule trova il suo fondamento nel teorema di Sklar, secondo il quale dimostra che tutte le distribuzioni multivariate siano copule e, viceversa, come sia possibile usare le copule insieme alle distribuzioni marginali per determinare la distribuzione congiunta.

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - STRUTTURA DIPENDENZA

Siano $F_1(x_1), \dots, F_n(x_n)$ le distribuzioni marginali di n variabili casuali $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$:

Si definisce C una copula il cui dominio contiene F_1, \dots, F_n :

$$C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))$$

Ovvero C è una funzione di distribuzione congiunta le cui distribuzioni marginali sono $F_1(x_1), \dots, F_n(x_n)$.

Viceversa, sia H è una funzione di distribuzione congiunta con marginali $F_1(x_1), \dots, F_n(x_n)$ allora un'unica copula C , definita su F_1, \dots, F_n tale per cui:

$$H(\mathbf{x}) = C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))$$

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - STRUTTURA DIPENDENZA

Per individuare le copule si fa riferimento agli indici di associazione tra variabili casuali continue. In particolare:

- Coefficiente di correlazione di Pearson: $\rho_P = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(x)var(Y)}}$
- Coefficiente tau di Kendall: $\tau = \left(\frac{S}{0.5(n(n-1))} \right)$
- Coefficiente rho di Spearman: $\rho_S = 1 - \left(\frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \right)$

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - STRUTTURA DIPENDENZA

Per stimare una copula si utilizza il metodo della massima verosimiglianza. Dal momento che non è sempre possibile ricorrere alle teorie asintotiche si fa riferimento a un metodo definito Inference for the margins così definito. Data la funzione di densità congiunta:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n)) * \prod_{j=1}^n f_j(x_j)$$

La funzione di log-verosimiglianza è

$$l(\theta) = \sum_{t=1}^T \ln c(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n)) + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \ln f_j(x_j)$$

WEATHER INSURANCE: principali criticità

PRINCIPALI CRITICITA' WII - STRUTTURA DIPENDENZA

Dalla funzione di logverosimiglianza

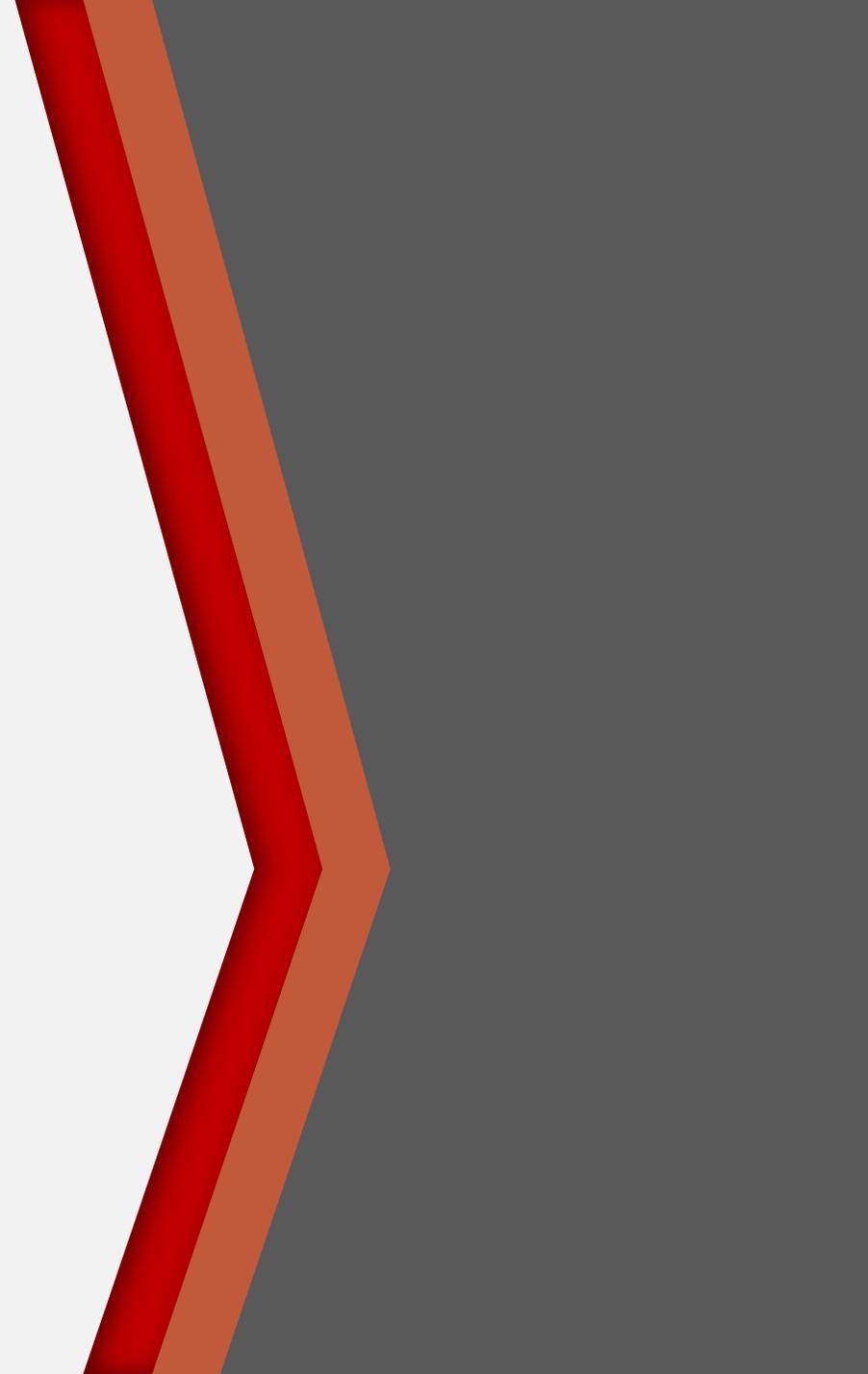
$$l(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{t=1}^T \ln c(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n)) + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \ln f_j(x_j)$$

Si ottengono le seguenti stime di massima verosimiglianza dei parametri:

$$\hat{\theta}_1 = \text{ArgMax}_{\theta_1} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \ln f_i(y_{ji}; \theta_1)$$

$$\hat{\theta}_2 = \text{ArgMax}_{\theta_2} \sum_{t=1}^T \ln c(F_1(y_{1t}), \dots, F_n(y_{nt}); \theta_2, \hat{\theta}_1)$$

Data Pre-Processing e analisi



PRE-PROCESSING DATA

Lo scopo del lavoro è costruire un **INDICE ADATTATO FLESSIBILE** utilizzando dati satellitari per valutare il rischio climatico in agricoltura. Seguendo Biffis e Chavez (2017) e Salgueiro (2019), utilizziamo una **random forest (AI)** per definire il rischio climatico del raccolto di mais in Italia

PRE-PROCESSING DATA

- Download dati del satellite metereologico e creare un dataframe contenente informazioni su giorni, latitudine e longitudine e le variabili di interesse;
- Download dati del satellite del suolo e creare un dataframe sulla latitudine e longitudine di interesse e sulle caratteristiche del suolo;
- Fusione di database metereologici e pedologici per selezionare solo i dati relativi alla terraferma
- Download dei dati sul ciclo colturale e creazione di un dataframe sulle date di semina, raccolta e semina sulle varietà di colture;

PRE-PROCESSING DATA

- Creare variabili categoriali sulla fase del ciclo colturale e una serie di indicatori relativi a un periodo definito dell'anno relativi al ciclo colturale
- Creare variabili categoriali sul rischio di superamento della temperatura e sul rischio di deficit di precipitazioni
- Metodologia: random forest (AI) per calcolare il periodo dell'anno più rischioso per ogni "pixel" di dati.

DATA SOURCES

Per costruire il database utilizzato per stimare l'indice di rischio bioclimatico, utilizziamo diversi database diversi:

- Il database NASA-MERRA 2;
- Il database del suolo mondiale armonizzato;
- Il set di dati del calendario delle colture dell'Università del Wisconsin.

DATA SOURCES: NASA MERRA-2 database

L'analisi retrospettiva dell'era moderna per la ricerca e le applicazioni - versione 2 (MERRA-2) - è un set di dati aperto che fornisce una rielaborazione coerente delle osservazioni meteorologiche giornaliere o intraday a partire dal 1980.

Il rielaborazione dei dati consiste nell'utilizzo di modelli previsionali per combinare differenti osservazioni in modo fisicamente coerente. I prodotti finali sono una serie di set di dati relativi a un'ampia gamma di variabili, comprese quelle scarsamente osservate o non direttamente osservate, raggruppate per un argomento specifico, come la qualità dell'aria, la pressione atmosferica, le precipitazioni e così via.

DATA SOURCES: NASA MERRA-2 database

Step 1. Dataset download:

I set di dati NASA MERRA-2 sono disponibili in formato NetCDF. Per costruire l'indice bioclimatico utilizziamo come variabili meteorologiche la temperatura dell'aria e il livello delle precipitazioni dal 01/01/1980 al 30/08/2020, per un **totale di 14'854 set di dati.**

Il server NASA dedicato consente di creare un collegamento per scaricare i file uno per uno. Per questo motivo è necessario automatizzare il download dei dati dal server. I programmatori della NASA rendono disponibile un codice utile per i principali linguaggi di programmazione dell'analisi dei dati per questo passaggio.

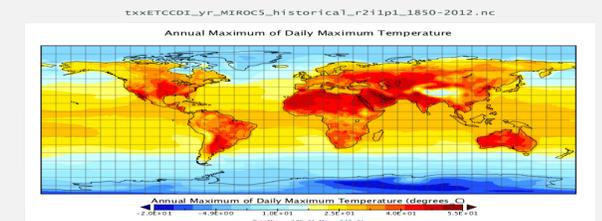
DATA SOURCES: NASA MERRA-2 database

Step 2. Read NetCDF data:

Una volta scaricati i file NetCDF, dobbiamo creare le unità per matrice di variabili. Il set di dati iniziale viene visualizzato nell'ambiente R come un elenco contenente le informazioni generali dei file.

Anche in questo caso la necessità è quella di processare in automatico tutti i file NetCDF, effettuando i seguenti passaggi:

- 1- Selezione di latitudine e longitudine di interesse per ogni variabile. Ogni coppia di latitudine e longitudine è l'unità statistica o pixel;
- 2- Memorizzare variabili e attributi della variabile di interesse;
- 3- Convertire il testo contenente dati in un oggetto data



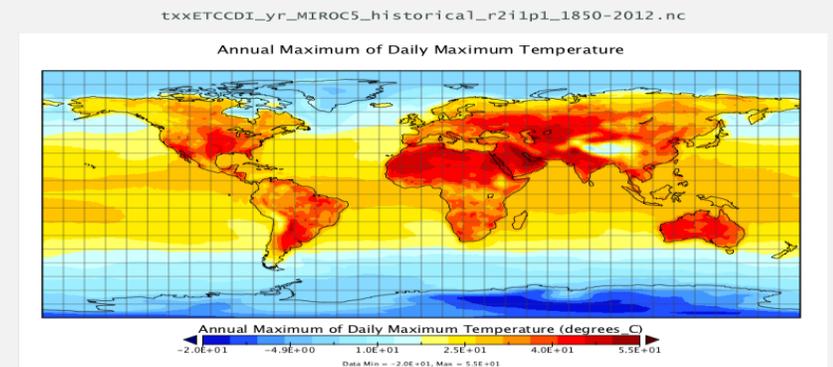
DATA SOURCES: NASA MERRA-2 database

Step 2. Read NetCDF data:

Una volta scaricati i file NetCDF, dobbiamo creare le unità per matrice di variabili. Il set di dati iniziale viene visualizzato nell'ambiente R come un elenco contenente le informazioni generali dei file.

Anche in questo caso la necessità è quella di processare in automatico tutti i file NetCDF, effettuando i seguenti passaggi:

- 4- Impostare i nomi delle dimensioni e i valori della tua matrice sui valori di latitudine e longitudine appropriati;
- 5- Associare le righe di ogni variabile per data;
- 6- Unire le variabili in un dataframe univoco.



DATA SOURCES: Harmonized World Soil Database

L'Harmonized World Soil Database (HWSD) è un database predisposto dalla FAO in collaborazione con IIASA, ISRIC-World Soil Information, l'istituto di scienza del suolo, l'Accademia cinese delle scienze (ISSCAS) e il Centro comune di ricerca della Commissione europea (JRC) .

Il database è il risultato dell'armonizzazione di diverse fonti di dati relative alle caratteristiche del suolo satellite, come il carbonio organico, il pH, la capacità di stoccaggio dell'acqua, la profondità del suolo e viene aggiornato ogni anno.

DATA SOURCES: Harmonized World Soil Database

Step 1. Dataset download:

HWSD è disponibile in formato raster. Per caricare i dati nell'ambiente R, utilizziamo una libreria specifica, rhwsd, che crea una connessione SQL al database ed estrae i valori per latitudine e longitudine selezionate specifiche.

Poiché siamo interessati ai dati italiani, facciamo riferimento alle coordinate utilizzate per scaricare i dati MERRA-2.

DATA SOURCES: Harmonized World Soil Database

Step 2. Join MERRA-2 e HWSD data:

Il set di dati iniziale viene visualizzato nell'ambiente R come un elenco nidificato di coordinate e variabili. Quindi, è necessario innestare i dati per creare le unità per matrici di variabili.

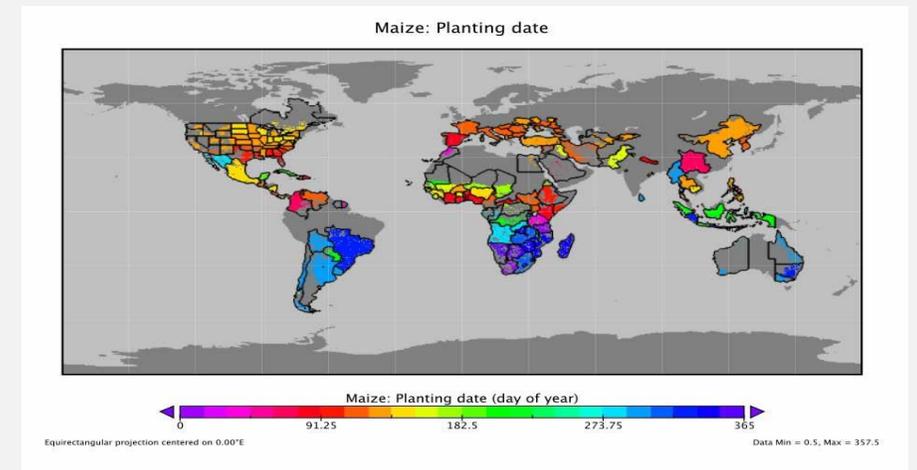
Il passaggio successivo è un'unione interna dei set di dati MERRA-2 e HWSD e la selezione dell'osservazione non vuota nella variabile ID del suolo. In questo modo vengono selezionati solo i pixel della terraferma.

DATA SOURCES: Crop Calendar Dataset

Il Crop Calendar Dataset (CCD) contiene i dati relativi alla semina e alla raccolta di 19 colture, insieme alle relative statistiche climatiche, ottenute digitalizzando e georeferenziando le osservazioni esistenti provenienti da diverse fonti.

I dati disponibili sono:

- Mappe nei formati NetCDF e ArcINFO ASCII;
- Dati grezzi in formato csv.



Per raggiungere i nostri obiettivi di ricerca, il formato dei dati grezzi è adeguato.

DATA SOURCES: Crop Calendar Dataset

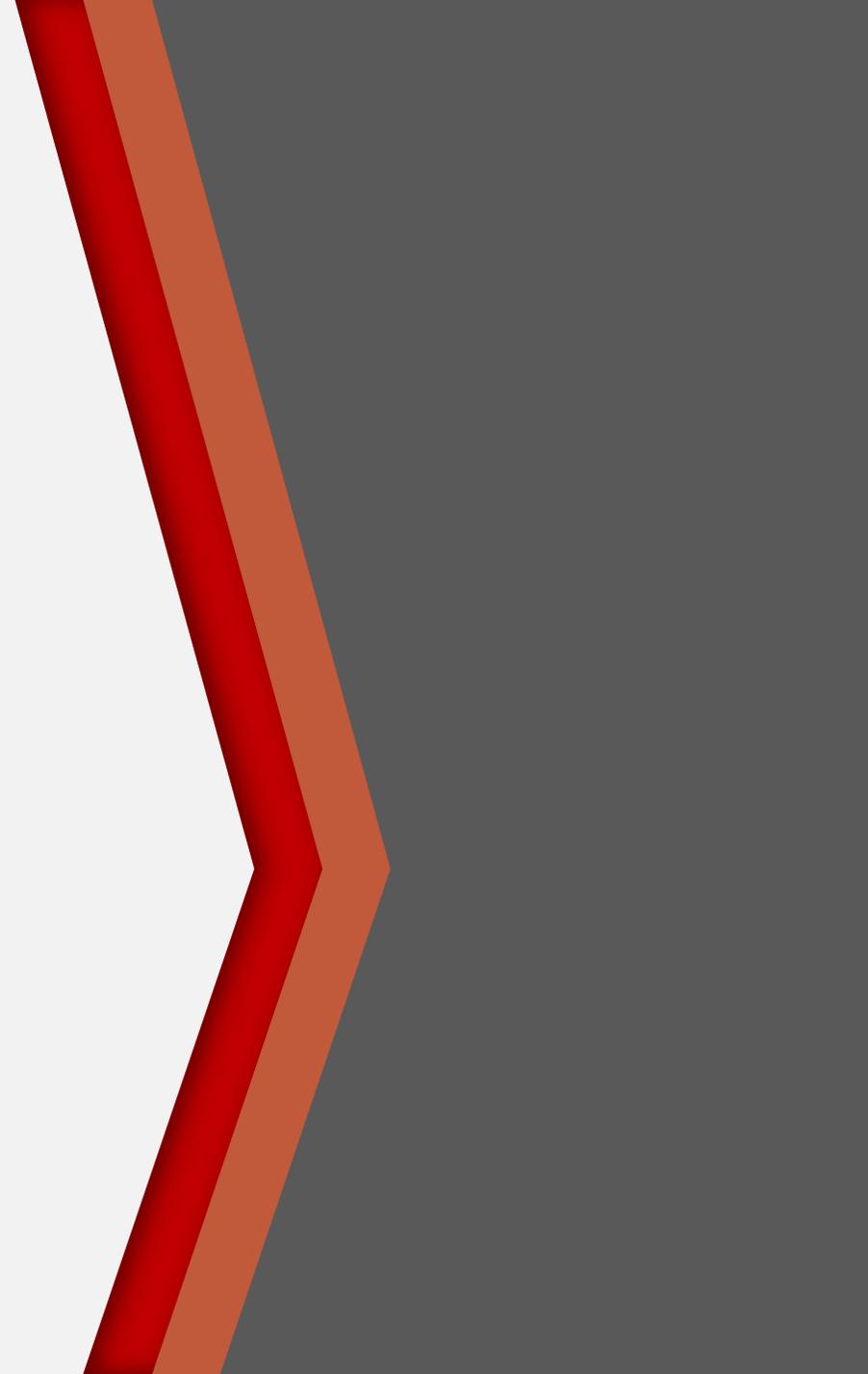
Creare indicatori di tempo:

Il CCD contiene dati per paesi di tutto il mondo. Quindi, il primo passo è selezionare i dati del raccolto italiano.

Il passo successivo è creare una variabile categoriale per ogni coltura indicando la fase del suo ciclo di vita (“l’impianto”, “la crescita” o “la raccolta”), associata alle date.

Infine, le variabili di fase del raccolto vengono unite al database MERRA + HWSD.

Creazione di un
weather risk index
attraverso random forest (AI)



RANDOM FOREST

L'indice di rischio meteorologico si ottiene utilizzando un *random forest*.

random forest è un algoritmo di apprendimento supervisionato.

Il termine "foresta" indica un insieme di alberi decisionali, solitamente addestrati con il metodo "insaccamento". Questa tecnica di analisi si basa sull'idea che la combinazione di modelli di apprendimento migliora l'accuratezza e la stabilità del risultato.

random forest può essere utilizzato sia per la classificazione, che per gli alberi di regressione.

WEATHER RISK INDEX

Per calcolare l'indice di rischio meteorologico, utilizziamo i seguenti indicatori:

- Il numero di giorni con una temperatura massima superiore a 30° C, calcolato e aggregato in 12 diversi periodi del ciclo di vita del mais;
- Il numero di giorni con una temperatura minima inferiore a 8° C, calcolato e aggregato in 12 diversi periodi del ciclo di vita del mais;
- La quantità di precipitazioni aggregate al di sotto della media climatologica per gli stessi 12 periodi diversi.

WEATHER RISK INDEX

I periodi di tempo sono ottenuti utilizzando i giorni del ciclo di vita del mais e suddividendolo in intervalli con dimensioni quasi simili. Secondo CCD, in Italia, il ciclo di vita del mais è di 216 giorni.

- La prima divisione crea sei periodi di circa 30-50 giorni (ogni periodo è la metà di ogni fase);
- La seconda suddivisione crea quattro periodi di circa 50-60 giorni ("impianto", "crescita precoce", "crescita tardiva" e "raccolto");
- La terza divisione crea due periodi di circa 100-120 giorni.

WEATHER RISK INDEX

Inoltre, per rappresentare il random forest in un modo più semplice da interpretare, elaboriamo i dati come segue:

- Le variabili di temperatura vengono convertite da gradi Kelvin a gradi Celsius;
- La variabile Ora senza pioggia viene convertita da secondi a ore;
- La variabile di precipitazione viene convertita da litri a millilitri.

WEATHER RISK INDEX calcolato per ITALIA

La seguente tabella riporta la matrice di confusione del random forest. In questo caso, permette di osservare il numero di unità statistiche (giorno per pixel) correttamente classificato in base alla classificazione data nel training set.

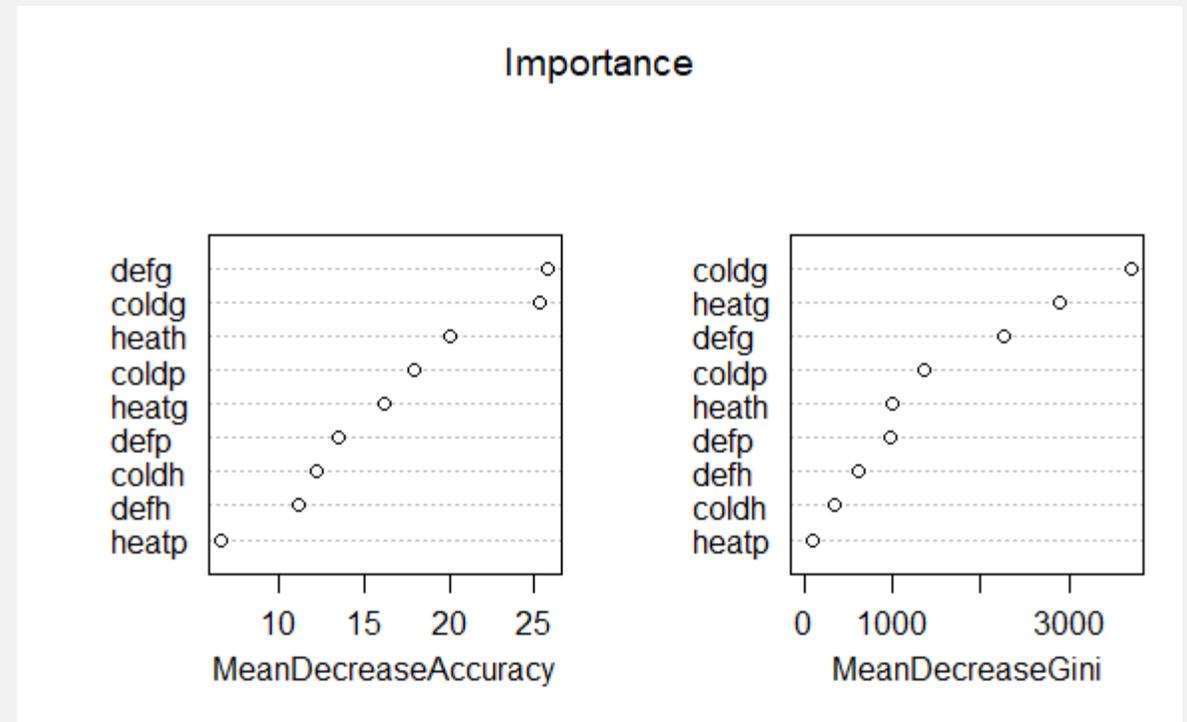
	no_risk	cold	heat	prec	error
no_risk	58700	3337	295	126622	0.69
cold	3507	5039	0	34981	0.88
heat	6888	0	473	46791	0.99
prec	45948	2485	224	148950	0.25

In alcuni casi la selezione non è molto accurata. Ciò può dipendere da vari motivi. Il primo può essere che la dimensione del training set è piccola, un altro possibile motivo, invece, è che non ci sono eventi avversi estremi tali da determinare una selezione accurata dei casi. Un altro motivo può essere la concomitanza di più di un evento avverso.

WEATHER RISK INDEX calcolato per ITALIA

Il seguente grafico riporta l'importanza dei fattori rispetto a due criteri l'accuratezza di previsione e l'indice di Gini. Più è alta l'accuratezza o il Gini, maggiore è il contributo dato dalla variabile a costruire l'albero di decisione.

Come si osserva, rispetto all'accuratezza, le variabili più importanti sono deficit di piogge e il freddo durante la crescita, mentre per il Gini sono il freddo e il caldo durante la fase di crescita.



CONTRATTO WII per EVENTI ESTREMI

$$\text{INDENNITA}' = I_t^I * a * P$$

I_t^I = funzione di payoff

a = terreno in ettari

P prezzo forward unitario della coltivazione

Wai indice adattato artificiale

T soglia

$$I_t^I = \begin{cases} Wai - T & \text{se } Wai \geq T \\ K - r_{p,p+0.1t}^* & \text{if } q_p(W) \leq W \leq q_{p+0.1}(W) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_t^{II} = \begin{cases} K - r_{p,1t}^* & \text{if } W \geq q_p(W) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

CONTRATTO WII per EVENTI ESTREMI

$$\text{INDENNITA}' = I_t^I * a * P$$

I_t^I = *funzione di payoff*

a = *terreno in ettari*

P = *prezzo forward unitario della coltivazione*

W_{ai} = *indice adattato artificiale*

T = *soglia prestabilita in contratto*

$$I_t^I = \begin{cases} W_{ai} - T & \text{se } W_{ai} \geq T \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

CONTRATTO WII per EVENTI ESTREMI e NON ESTREMI

$$\text{INDENNITA}' = I_t^I * a * P$$

I_t^I = *funzione di payoff*

a = *terreno in ettari*

P = *prezzo forward unitario della coltivazione*

W_{ai} = *indice adattato artificiale*

T = *soglia*

$$I_t^I = \begin{cases} W_{ai} - T & \text{se } W_{ai} \geq T \\ W_{ai} - T & \text{se } T_1 \leq W_{ai} < T \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Reference

Biffis, E. and E. Chavez. 2017. Satellite Data and Machine Learning for Weather Risk Management and Food Security. *Risk Analysis*, 37(8): 1508-1521.

Bosilovich, M. G., R. Lucchesi, and M. Suarez. 2016. MERRA-2: File Specification. GMAO Office Note No. 9 (Version 1.1). Accessed 14 November 2020 http://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/office_notes

Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45:5-32.

Charpentier, A., 2008, Insurability of Climate Risks. *The Geneva Papers*, 33, 91-109

Dalhaus T., Musshoff O., Finger Robert, 2018, Phenology Information Contributes to Reduce Temporal Basis Risk in Agricultural Weather Index Insurance, *Scientific Reports Nature*

Nachtergaele, F., H. Velthuis, L. Verelst, N. Batjes, K. Dijkshoorn, V.W.P. Engelen, G. Fischer, A. Jones, L. Montanarella, M. Petri, S.vPrieler, X. Shi, E. Teixeira, D. Wiberg. 2009. The Harmonized World Soil Database Version 1.1. Technical Report <http://www.fao.org/3/aq361e/aq361e.pdf>

Rossiter, D.G. Technical note processing the Harmonized World Soil Database (Version 1.2) in R. GitHub. Accessed 14 November 2020 https://github.com/dlebauer/rhwsd/blob/master/R_HWSD.pdf

Sacks, W.J., D. Deryng, J.A. Foley, and N. Ramankutty. 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 607-620.

Salgueiro, A. M. 2019. Weather index-based insurance as a meteorological risk management alternative in viticulture. *Wine Economics and Policy*, 8(2): 114-126.

Camera di Commercio Grafici dei prezzi medi mensili all'ingrosso dei cereali sul mercato di Bologna. Ultima visita 18 novembre <https://www.bo.camcom.gov.it/it/borsa-merci/grafici-dei-prezzi-medi-mensili-allingrosso-dei-cereali-sul-mercato-di-bologna>

ISTAT Stima delle Superfici e Produzioni delle Coltivazioni Agrarie. Ultima visita 18 novembre <https://gino.istat.it/sag/front/>