Climate Change AI

Progettare nella pratica il vostro progetto di IA per il clima

Dott.ssa Dina Machuve
7 agosto 2026

Programma

1. Valutare l’idoneità dell’IA e la maturità tecnologica
2. Pipeline di dati e percorsi di implementazione
3. Valutazione d’impatto e metriche
4. Stakeholder, potere e sostenibilità

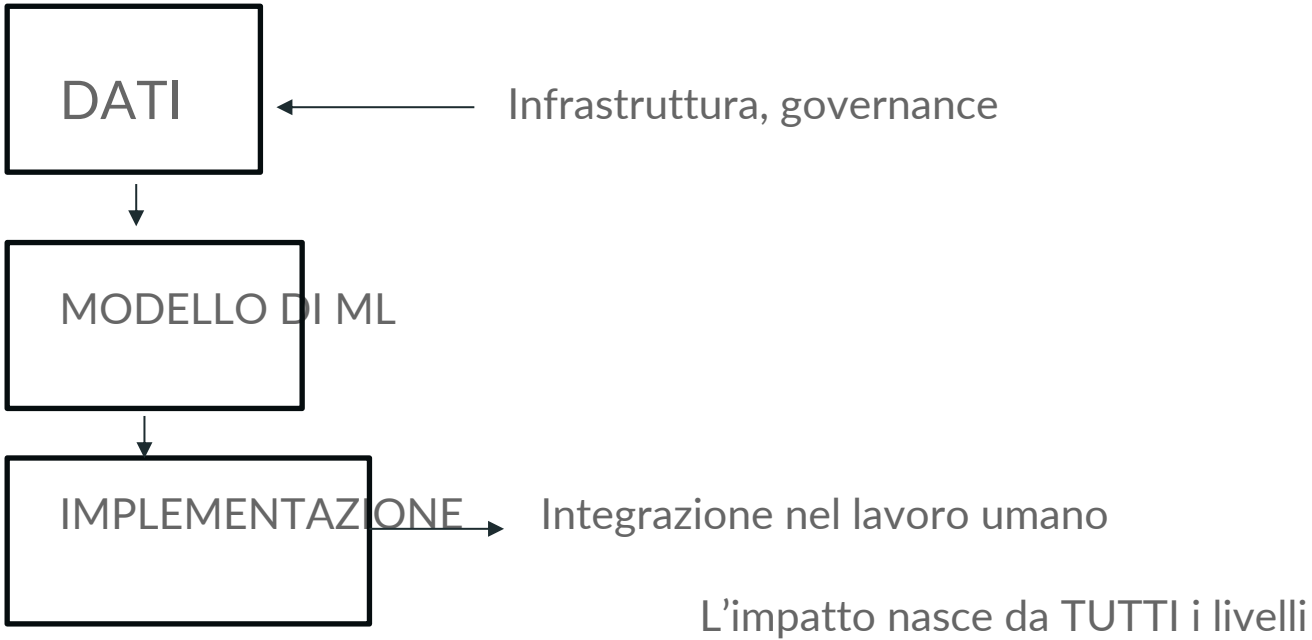
Rompighiaccio

- Indicate sfide climatiche in cui secondo voi l’IA potrebbe aiutare

partici.fi/32112222

Concetti chiave

- Il machine learning è solo una componente



L’impatto nasce da TUTTI i livelli

Valutare l’idoneità dell’IA e la maturità tecnologica

L’IA è lo strumento giusto?

- Domande prima di scegliere l’IA:
  - Disponiamo di dati di qualità sufficienti?
  - I vincoli operativi sono compatibili con flussi di lavoro basati sull’IA?
  - Gli stakeholder accetteranno raccomandazioni algoritmiche?
  - Metodi più semplici potrebbero ottenere risultati comparabili?

L’IA è lo strumento giusto?

- Quando l’IA aggiunge valore:
  - Schemi complessi, alta dimensionalità
  - Esigenze di scala, accelerazione oltre i ritmi umani
  - Inferenza in tempo reale necessaria

- Quando bastano soluzioni più semplici
  - Decisioni semplici basate su regole
  - Dati limitati
  - Posta in gioco alta senza spiegabilità

Livelli di maturità tecnologica nel contesto climatico

- Che cosa è implementabile ora e che cosa richiede ulteriore innovazione
- Rischio di promettere capacità che ancora non esistono
- Bilanciare ambizione e fattibilità

Livelli di maturità tecnologica nel contesto climatico

FATTIBILE ORA

- Monitoraggio satellitare della deforestazione
- Previsione della domanda di energia
- Stima degli stock di carbonio
- Modellazione regionale delle rese agricole
- Automazione degli inventari delle emissioni

Livelli di maturità tecnologica

RICHIEDE INNOVAZIONE

- Previsione microclimatica iperlocale
- Agenti di bilanciamento delle rinnovabili su scala di rete
- Spegnimento degli incendi completamente autonomo
- Diagnostica di precisione della salute del suolo
- Ottimizzazioni intersettoriali a cascata

Scegliere un approccio di IA

Tipo di compito	Metodi	Compromessi
Regressione/previsione	Random forest, XGBoost	Velocità vs interpretabilità
Classificazione (binaria/multiclasse)	Regressione logistica, CNN	Accuratezza vs complessità
Analisi spaziale	GAN, autoencoder	Risoluzione vs calcolo
Rilevamento di anomalie	VAE	Sensibilità vs falsi positivi
Apprendimento per rinforzo	PPO, DQN	Flessibilità vs stabilità dell'addestramento

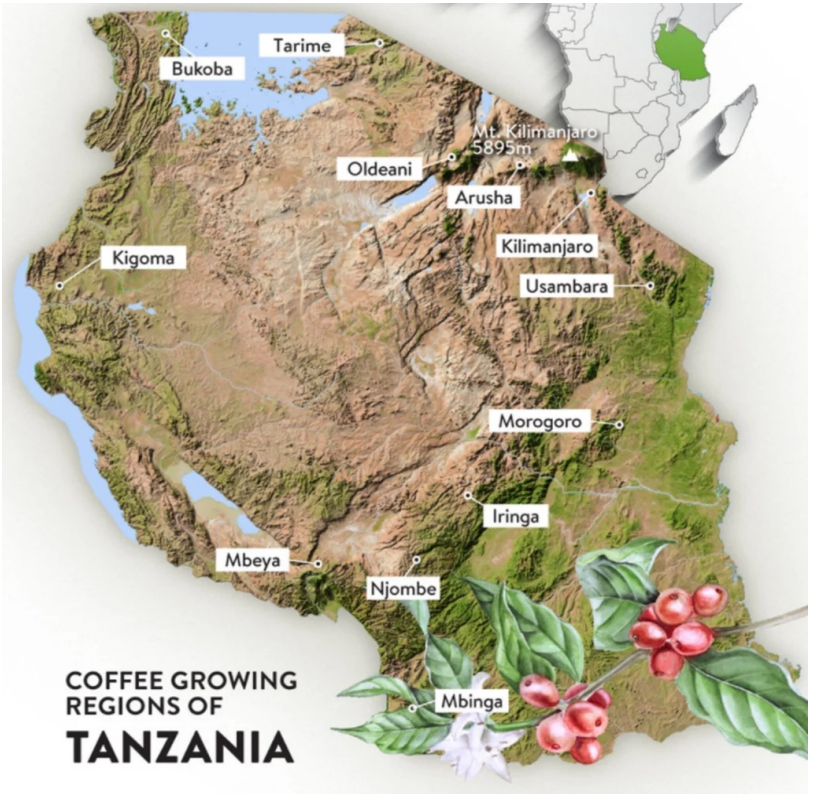
Scegliere un approccio di IA

Checklist:

- Competenze disponibili nel team
- Requisiti di latenza
- Frequenza di aggiornamento del modello
- Budget hardware/software
- Requisiti normativi/di conformità

Caso di studio – la coltivazione del caffè in Tanzania

- 4° produttore dell'Africa
- 150.000 tonnellate l'anno
- Ricavi da 100 a 135 mln $ l'anno
- Prodotto da 450.000 piccole aziende familiari
- Agricoltori organizzati in cooperative di commercializzazione agricola



TCB (2021), Tanzanian Coffee Industry Development Strategy 2020-2025, *Tanzania Coffee Board. https://shorturl.at/yNHMZ*

- Mercati di esportazione del caffè tanzaniano
- Paesi UE 40%
    - Germania, Belgio, Italia, Svezia e Polonia
- Altri mercati 60%
    - USA
    - Giappone, Corea del Sud, Cina, India



EU Commission (2023), Regulation (EU) 2023/1115 on deforestation-free products. https://shorturl.at/ETo3z

- 90% delle esportazioni di caffè
  - Prodotto da piccoli agricoltori
  - Nessuna informazione di tracciabilità
  - Georeferenziazione degli agricoltori al 70% in due regioni
  - Registro centrale pubblico dei coltivatori di caffè
- 10% esportazione diretta
  - Grandi tenute
  - Informazioni di tracciabilità disponibili



TCB (2021), Tanzanian Coffee Industry Development Strategy 2020-2025, *Tanzania Coffee Board*

- Registro centrale degli agricoltori
  - Costoso per lo Stato
  - La georeferenziazione delle aziende è un'attività continua
  - Aggiornamento delle informazioni (aziende e agricoltori)
  - Sostenibilità della piattaforma poco chiara
- Rischio di perdere il mercato UE
- Evidenze dall'Etiopia: i coltivatori sono passati ad altre colture



Sorokin, S. (2024), How are EUDR requirements implemented in companies' supply networks? *The case of Ethiopian Coffee sourcing*, *IIIEE Master Thesis*, Lund University.

Checkpoint 1

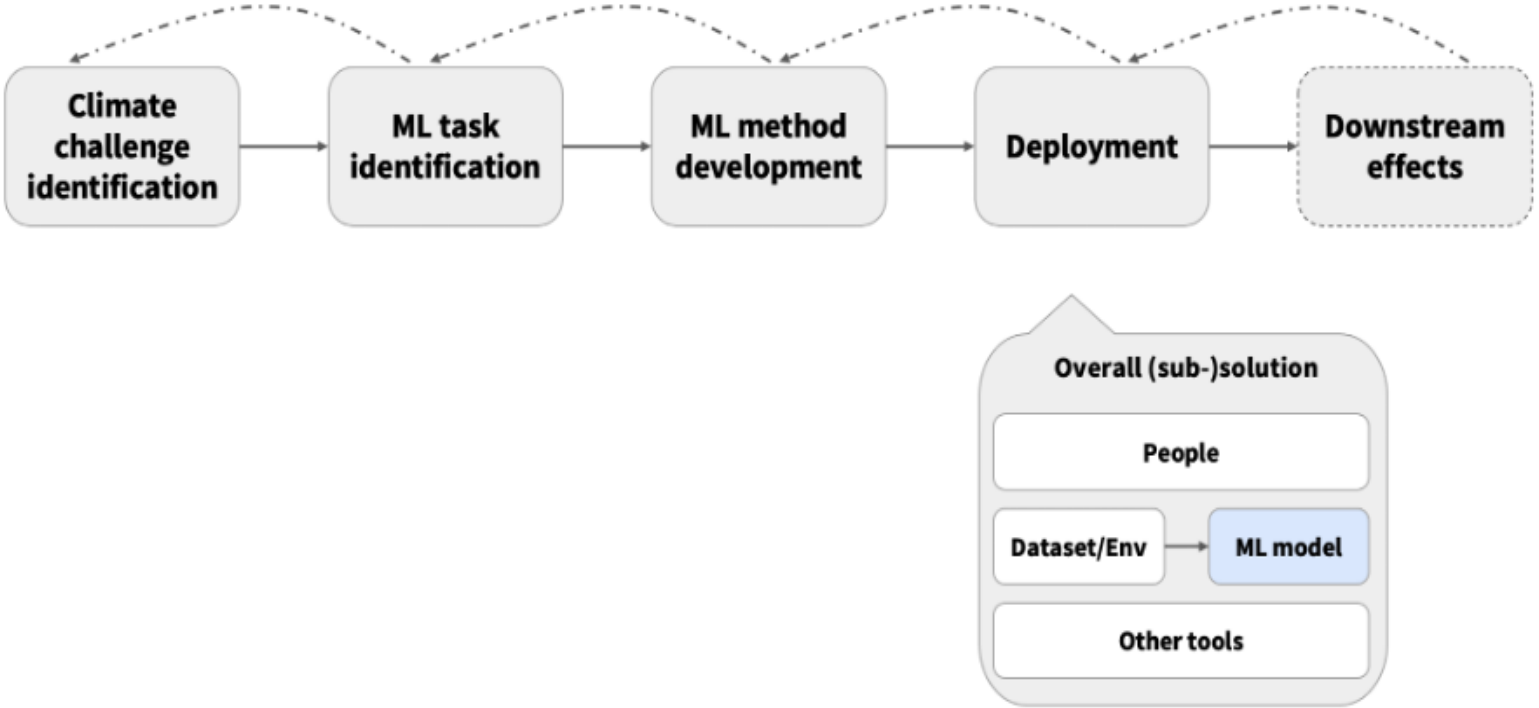
- Valutate le soluzioni di IA proposte ai coltivatori di caffè.
    - Selezionate i casi d’uso «adatti all’IA»

partici.fi/32112222



Pipeline di dati e percorsi di implementazione

Lifecycle of an ML-for-climate project



1. Fasi della pipeline di implementazione: la sfida climatica

Identificazione della sfida climatica

- Definizione del problema e analisi dei bisogni degli stakeholder

Integrazione del caso di studio: coltivatori di caffè

- **Sistema attuale**: registro nazionale dei coltivatori di caffè per la conformità all'EUDR (tracciabilità)
- **Lacuna**: la sola registrazione non aiuta gli agricoltori ad adattarsi ai cambiamenti climatici
- Piccoli agricoltori: il gruppo più vulnerabile ai cambiamenti climatici.
- Sfida per gli agricoltori: mancanza di informazioni per percepire i cambiamenti climatici e rispondervi.

Mbwambo, S. et al (2021), Climate Change Perceptions by Smallholder Coffee Farmers in Northern and Southern Highlands of Tanzania, *Climate*; 9, 90. https://doi.org/10.3390/cli9060090

2. Fasi della pipeline di implementazione: opportunità per l'IA

Definizione del compito di ML

- Tradurre il problema in previsione/classificazione/controllo ottimo formale

Problema	**Approccio tradizionale**	**Soluzione di IA**	**Valore aggiunto**
Valutazione del rischio climatico	Medie storiche	Previsione meteo con ML	Previsioni a livello di azienda
Verifica della deforestazione	Visite sul campo manuali	Satellite + computer vision	Monitoraggio in tempo reale
Previsione delle rese	Esperienza degli esperti	Modelli ensemble	Tempistica precisa

3. Fasi della pipeline di implementazione: modellazione

Sviluppo del metodo di ML

- Addestramento, validazione e cicli di iterazione del modello
- Disponibilità vs adeguatezza dei dati (qualità > quantità)
- Feature engineering per i dati climatici (temporali, spaziali, ambientali)
- Quadro di scelta del modello: compromesso interpretabilità vs accuratezza
- Sfide di validazione nei contesti climatici (ambienti non stazionari)

3. Fasi della pipeline di implementazione: modellazione

Sviluppo di modelli di ML per i coltivatori di caffè

- Computer vision: rilevamento della deforestazione (ChangeNet / U-Net)
- Serie temporali: previsione delle rese (LSTM / Prophet)
- Classificazione: punteggio di rischio di malattie (random forest / XGBoost)
- Raccomandazione: finestre di raccolta ottimali (ottimizzazione con RL)

4. Fasi della pipeline di implementazione: implementazione

Implementazione

- Produzione completa con infrastruttura e supporto

Output per i coltivatori di caffè (ideale)

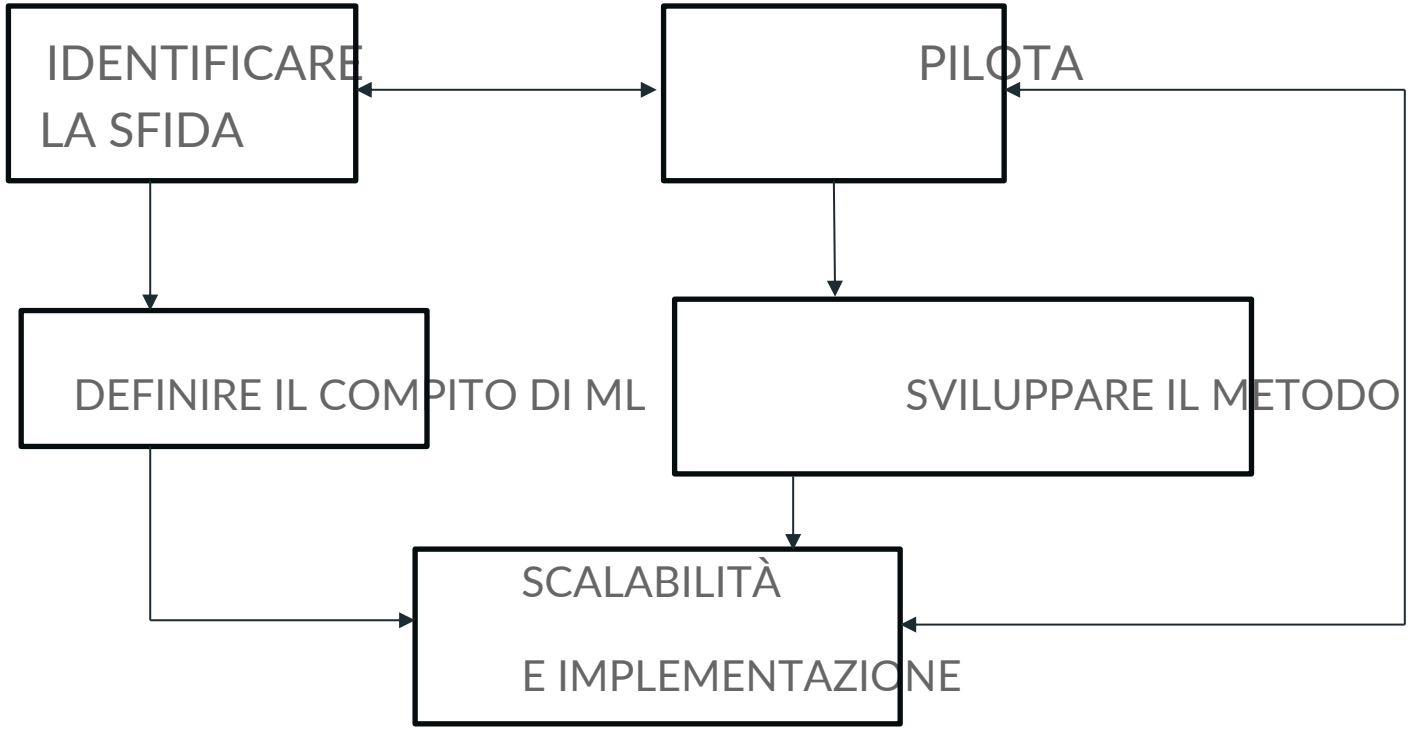
- Report di conformità EUDR (automatizzati)
- Allerte di rischio climatico (SMS/USSD)
- Raccomandazioni di consulenza (lingua locale)
- Idoneità ai crediti di carbonio

Fasi della pipeline di implementazione: sintesi

1. Identificazione della sfida climatica -> definizione del problema e analisi dei bisogni degli stakeholder
2. Definizione del compito di ML -> tradurre il problema in previsione/classificazione/controllo ottimo formale
3. Sviluppo del metodo -> addestramento, validazione e cicli di iterazione del modello
4. Pilota/test -> diffusione limitata che misura usabilità e primi segnali
5. Scalabilità/implementazione -> produzione completa con infrastruttura e supporto
6. Monitoraggio/manutenzione -> monitoraggio delle prestazioni, correzione della deriva, aggiornamenti

Ciclo di retroazione

- Ogni freccia è un’occasione per scoprire prima un disallineamento



Cicli di retroazione tra le fasi

- L’iterazione è necessaria: il processo non è lineare
- Le prime implementazioni orientano il perfezionamento del modello
- I dati sulle prestazioni reali rimettono in discussione le ipotesi iniziali

Il ML come una componente tra le altre

- Dipendenze infrastrutturali (connettività, hardware)
- Requisiti di human-in-the-loop
- Integrazione con i flussi di lavoro e i sistemi decisionali esistenti

Checkpoint 2

- Guidate un progetto di IA per il clima che prevede il rischio di incendi boschivi con immagini satellitari e dati meteo. Il vostro team sta progettando il percorso di implementazione.

Domanda:

- Quale affermazione riflette MEGLIO una progettazione solida della pipeline per questo progetto?

partici.fi/32112222



Valutazione d’impatto e metriche

Dall’impatto alle metriche

Processo:

- Definire prima il risultato desiderato,
- Individuare proxy misurabili
- Validare la catena causale

Indicatori facili ≠ indicatori significativi

Dall’impatto alle metriche

Risultato desiderato	**Indicatori**
Riduzione delle emissioni di gas serra	Consumo di carburante ↓, uso di kWh ↓
Miglioramento della resilienza di adattamento	Gravità delle perdite di raccolto ↓, successo delle evacuazioni ↑
Efficacia della conservazione	Stabilità delle popolazioni di specie ↑
Miglioramento dell’equità	Partecipazione delle famiglie marginalizzate ↑

Che cosa si può e non si può misurare

- Misure dirette vs proxy
- Variabili latenti che richiedono inferenza
- Ritardi tra intervento ed effetti osservabili

Limiti della misurazione

Misurato direttamente	**Richiede inferenza / modellazione**
Consumo di elettricità dalla rete	Efficienza degli elettrodomestici
Indici di vegetazione satellitari	Biodiversità sotto la chioma
Volumi di merci esportate	Distribuzione del reddito degli agricoltori
Sensori di occupazione degli edifici	Comfort percepito dagli occupanti
Conteggi del traffico	Esposizione dei pendolari all'inquinamento atmosferico

Le variabili non misurate accumulano bias nel tempo se non vengono affrontate esplicitamente

Metriche di breve vs lungo periodo

Dimensione	Breve periodo	Lungo periodo
Esempi	Tasso di adozione, accuratezza del modello	Riduzione delle emissioni, miglioramenti della resilienza
Frequenza di misurazione	Continua/settimanale	Annuale/biennale
Difficoltà di attribuzione	Bassa-media	Alta
Leve di intervento	Design del prodotto, UX	Politiche, investimenti infrastrutturali

Checkpoint 3

- Il vostro team lavora a un progetto di IA per il clima che usa immagini satellitari per rilevare la deforestazione illegale in aree protette di foresta pluviale. Sta progettando il quadro di valutazione d'impatto per finanziatori e stakeholder.

Domanda:
Quale quadro di metriche coglie MEGLIO l'impatto climatico reale evitando le comuni trappole di misurazione?

partici.fi/32112222

Stakeholder, potere e sostenibilità

Mappatura degli stakeholder

Categoria	Caratteristiche	Esigenze di coinvolgimento
Decisori	Regolatori, finanziatori, decisori politici	Consultazioni formali, report di trasparenza
Utenti	Operatori, lavoratori in prima linea, comunità	Workshop di co-progettazione, formazione
Parti interessate	Comunità colpite indirettamente	Meccanismi di responsabilità, canali di reclamo
Oppositori	Gruppi che subiscono perdite concentrate	Misure di mitigazione, ripartizione alternativa dei benefici

Esercizio di consapevolezza del potere: chi ha voce oggi? Chi non è rappresentato?

La scala della partecipazione dei cittadini di Arnstein

Gradini dell'empowerment

- LIVELLO 3: PARTECIPAZIONE DI FACCIATA
    - Consultazione (opinioni richieste, recepimento non garantito)
    - Rabbonimento (ruoli consultivi minori, influenza limitata)
    - Informazione (comunicazione unidirezionale, riscontro facoltativo)
- LIVELLO 2: TRASFERIMENTO DI POTERE
    - Partenariato (responsabilità di governance condivise e negoziate)
    - Potere delegato (la comunità ha potere di veto/approvazione)
    - Controllo dei cittadini (l'autonomia locale domina le decisioni)

Consapevolezza delle dinamiche di potere

DOMANDE DI CONTROLLO

- A chi appartiene la sovranità sui dati grezzi?
- Chi accede in modo indipendente ai pesi del modello addestrato?
- Chi controlla la fornitura dell'infrastruttura di calcolo?
- Chi decide la roadmap delle funzionalità prioritarie?

Dinamiche di potere

DISTRIBUZIONE DEI BENEFICI

- Dove si concentrano esattamente i principali guadagni economici?
- Occupazione creata internamente o esternamente?
- Trasferimento di conoscenze che favorisca l'autosufficienza locale?

RIPARTIZIONE DEI COSTI:

- Chi sostiene principalmente i costi di connettività?
- Gli obblighi di manutenzione sono assegnati in modo adeguato?
- I rischi sono condivisi in modo proporzionato e responsabile?

Guida al punteggio: maggioranza di sì = allineamento equo con tendenza positiva

Quadro di sostenibilità

- Sostenibilità economica oltre il finanziamento pilota
- Titolarità istituzionale e capacità di manutenzione
- Adesione della comunità e sviluppo di competenze locali
- Strategie di uscita che preservino il valore

Caso di studio approfondito

Coltivatori di caffè

- **Sfida**: il nuovo regolamento UE sulla deforestazione (EUDR) richiede filiere del caffè tracciabili.
- **Infrastruttura attuale**: registro centrale nazionale in fase di sviluppo che registra gli agricoltori, georeferenzia le aziende e conserva dati a livello di azienda accessibili ai fornitori prima dell'esportazione.
- **Stakeholder**: piccoli agricoltori, cooperative, ente del caffè (regolatore e organismo di certificazione), istituto nazionale di ricerca sul caffè, esportatori, importatori UE.

Prodotti di dati climatici basati sull'IA proposti agli agricoltori

Descrizione del prodotto	Problema affrontato	Aspetti di implementazione
Modello di previsione delle rese	Pianificazione in condizioni di incertezza, tempistica di vendita	Richiede dati storici sulle rese e integrazione di immagini satellitari
Allerta precoce gelate/malattie	Prevenzione delle perdite	Sistema di allerta mobile; serve validazione sul campo
Consulente per la finestra di raccolta ottimale	Qualità costante, massimizzazione del prezzo	Analisi dei regimi meteo + modellazione della maturazione delle drupe
Stimatore del sequestro di carbonio	Potenziale idoneità ai crediti di carbonio	Modellazione del suolo, monitoraggio agroforestale
Dashboard di previsione dei prezzi	Maggiore potere contrattuale	Aggregazione di informazioni di mercato; rischio di asimmetria informativa

Domande critiche

1. **Governance dei dati:** a chi appartengono i dati di geolocalizzazione e di produzione degli agricoltori? Potrebbe diventare uno sfruttamento se l'accesso dei fornitori avesse la priorità sulla privacy e sui benefici degli agricoltori?
2. **Equità:** gli agricoltori dotati di tecnologia otterranno vantaggi competitivi mentre i produttori marginalizzati perdono posizioni di mercato?
3. **Dipendenza dalle infrastrutture:** divario di connettività: gli strumenti pensati per funzionare offline possono evitare l'esclusione?
4. **Rafforzamento delle capacità:** la registrazione fornisce agli agricoltori informazioni utilizzabili o si limita a estrarre dati a fini di conformità?
5. **Meccanismi di redistribuzione del potere:** piattaforme di analisi di proprietà delle cooperative contro sistemi centralizzati controllati dallo Stato o dagli acquirenti.

Progettazione partecipativa

- Gli agricoltori come co-sviluppatori, non solo come fonti di dati
- Creare cicli di retroazione in cui gli output del modello migliorano visibilmente le decisioni degli agricoltori.
- La conformità normativa non deve mettere in ombra i risultati di sviluppo.

Letture

CEIMIA. (2025). State of AI in climate action in Sub-Saharan Africa. International Center of Expertise in Montreal on Artificial Intelligence. https://shorturl.at/STDyd

Mienye, I. D., Sun, Y., & Ileberi, E. (2024). Artificial intelligence and sustainable development in Africa: A comprehensive review. *Machine Learning with Applications*, *18*, 100591. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100591

Nhemachena, C., et al. (2024). Using artificial intelligence in support of climate change adaptation Africa: Potentials and risks. Humanities and Social Sciences Communications, 11(4223). https://doi.org/10.1057/s41599-024-04223-7

UNFCCC & UNIDO (2025). Artificial Intelligence for Climate Action: Advancing Mitigation and Adaptation in Developing Countries. TEC Technical Paper. https://shorturl.at/flofg



Grazie