Servizio di consulenza idrogeologica relativa al progetto "Empowerment femminile e sostegno all'ambiente e salute in Kenya (AID12835/01/1)"

REPORT DI ATTIVITA'

A cura di Niccolò Giordano, Giancarlo Ceccanti, Simone Gorelli

febbraio-settembre 2025

Il progetto in oggetto ha previsto la realizzazione di un percorso metodologico integrato volto a supportare l'individuazione delle aree più idonee per la ricerca e lo sfruttamento di risorse idriche sotterranee. L'approccio adottato si è basato sull'utilizzo di dati geospaziali, successivamente elaborati in ambiente GIS, e sulla definizione di un modello di analisi multicriteriale (MCDA) finalizzato alla produzione di carte tematiche.

L'obiettivo principale è stato quello di fornire uno strumento tecnico a supporto delle indagini di campo, attraverso la costruzione di un sistema informativo territoriale capace di sintetizzare dati geologici, geomorfologici e ambientali in mappe di idoneità per la ricerca dell'acqua.

L'attività, tutt'ora in corso, si è svolta in tre fasi:

1. Gennaio- aprile 2025. Raccolta delle immagini satellitari disponibili online, volta all'analisi del potenziale acquifero dell'area di progetto (circa 800 kmq), e primi incontri online con i partner per la definizione del cronogramma dettagliato e per le richieste di accesso ai database della Contea di Laikipia. Raccolta di dati cartografici e satellitari ;
2. Marzo-giugno 2025: Produzione cartografica tematica e sintetica dell'area di riferimento, con analisi geospazionale delle risorse idriche;
3. Giugno- in corso: Con la missione di maggio-giugno 2025, volta alla verifica dei dati cartografici e all'avvio dell'analisi socio-idrogeologica presso le comunità beneficiarie, è stata avviata la raccolta dati direttamente in situ.

Introduzione idrogeologica

Un acquifero può essere rappresentato come quell'insieme di rocce o di terreni in grado non solo di contenere l'acqua ma anche di farla transitare al loro interno in quantità significative per un possibile sfruttamento.

Dovendo quindi caratterizzare dal punto di vista idrogeologico una formazione geologica, il requisito principale da valutare è rappresentato dalla sua permeabilità. Si parla di porosità e permeabilità di tipo primario o interstiziale se gli spazi vuoti (i pori) che si trovano fra i vari elementi litoidi che la compongono hanno avuto origine con il formarsi stesso della roccia come nel caso dei terreni sciolti quali i limi, le sabbie o le ghiaie. Se gli spazi si formano invece a causa della fratturazione della roccia si parla di porosità e di permeabilità secondaria.

La classificazione granulometrica determina direttamente questa caratteristica: le dimensioni dei vuoti condizionano dunque il moto dei fluidi nel sottosuolo e la permeabilità varia per questo anche in rapporto al livello di fratturazione della roccia.

Di seguito si riporta una tabella che mostra il grado di variazione del coefficiente di permeabilità K in funzione delle dimensioni dei granuli (da Castany, 1985); la permeabilità è rappresentata dal coefficiente K (cm/sec) che è stata definita come la quantità d'acqua che, sotto l'azione di un gradiente unitario e alla temperatura di 20°, attraversa una sezione unitaria del terreno nell'unità di tempo.

$K_{(m/s)}$		10^{1} 1 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} 10^{-10} 10^{-11}				
GRANULOMETRIA	omogenea	Ghiaia	Sabbia	Sabbia molto fine	Silt	Argilla
	varia	Ghiaia grossa e media	Ghiaia e sabbia	Sabbia e argilla — Limi		
GRADI DI PERMEABILITA		ELEVATA		BASSA		NULLA
TIPI DI FORMAZIONI		PERMEABILI		SEMI-PERMEABILI		IMPER.

limiti convenzionali

La permeabilità di un acquifero di solito è superiore a 1*10-5 m/s. Una formazione geologica con una permeabilità inferiore a 1*10-9 m/s viene considerata impermeabile (acquicludo) perché anche quando è satura d'acqua non ne consente comunque il movimento; una formazione che permette all'acqua di transitare con velocità molto basse viene considerata un acquifero semipermeabile (acquitardo).

Il primo acquifero che si trova sotto la superficie del terreno viene chiamato a falda libera (acquifero freatico) perché la quota del livello dell'acqua (livello piezometrico) ha la possibilità di sollevarsi o abbassarsi liberamente; più in profondità se un acquifero è delimitato da due formazioni geologiche impermeabili, la falda - sottoposta a pressioni di tipo geostatico – viene definita di tipo artesiano.

In riferimento all'area di studio, l'interesse verrà rivolto principalmente alla ricerca di acquiferi profondi di natura artesiana o semiartesiana che possono assicurare le migliori potenzialità sia a livello qualitativo che quantitativo dal momento che i loro circuiti di alimentazione si sviluppano secondo percorsi e modalità articolati e complessi nell'ambito molto esteso del bacino idrogeologico di riferimento.

Di seguito si elencano e descrivono le sotto-attività realizzate:

1. **Ricerca e acquisizione dei dati georiferiti utile all'indagine**

Ricerca, raccolta e realizzazione dei dati georiferiti e immagini satellitari di diversa natura (geologici, geomorfologici e idrologici) con particolare riferimento a:

- strutture geologiche e litologie;
- tassi di ricarica della falda;
- rugosità superficiale e caratteristiche morfologiche;
- confini dei bacini idrografici, principali corsi d'acqua e localizzazione dei centri abitati.

2. **Standardizzazione dei dati raccolti**

I *dataset* acquisiti presentavano differenti scale, formati e sistemi di riferimento. Si è quindi proceduto a:

- uniformare i sistemi di coordinate in un unico sistema georeferenziato;
- normalizzare le unità di misura e le classi di attributi;
- definire criteri omogenei di classificazione.

3. **Costruzione del geodatabase relazionale**

È stato implementato un *geodatabase* relazionale contenente i *layer* tematici fondamentali (geologia, ricarica idrica, rugosità, bacini, idrografia, ecc..). Tale struttura ha permesso di organizzare le informazioni in maniera integrata, favorendo analisi spaziali multilivello.

4. **Elaborazione dei dati mediante software GIS**

Le elaborazioni dei dati mediante software GIS (QGIS) hanno incluso:

- analisi vettoriali e *raster* per l'estrazione di indici geospaziali;
- creazione di mappe di densità e distribuzione delle strutture idrogeologiche;
- *overlay* tematici per correlare geologia, ricarica e morfologia superficiale.

5. **Costruzione del modello di analisi multicriteriale**

È stato sviluppato un modello di analisi multicriteriale (MCDA) in ambiente GIS.

I criteri considerati includevano:

- permeabilità e litologia (geologia),

- capacità di ricarica naturale,
- morfologia e rugosità del terreno,
- prossimità ai bacini idrografici e ai corsi d'acqua.

A ciascun criterio è stato attribuito un peso, calibrato in funzione della rilevanza idrogeologica. L'integrazione è stata realizzata attraverso operazioni *raster* di combinazione lineare ponderata.

Il modello multicriteriale ha permesso di individuare zone a maggiore probabilità di presenza di falde idriche sfruttabili. Le aree sono state classificate in base a un indice di idoneità: da bassa a molto alta.

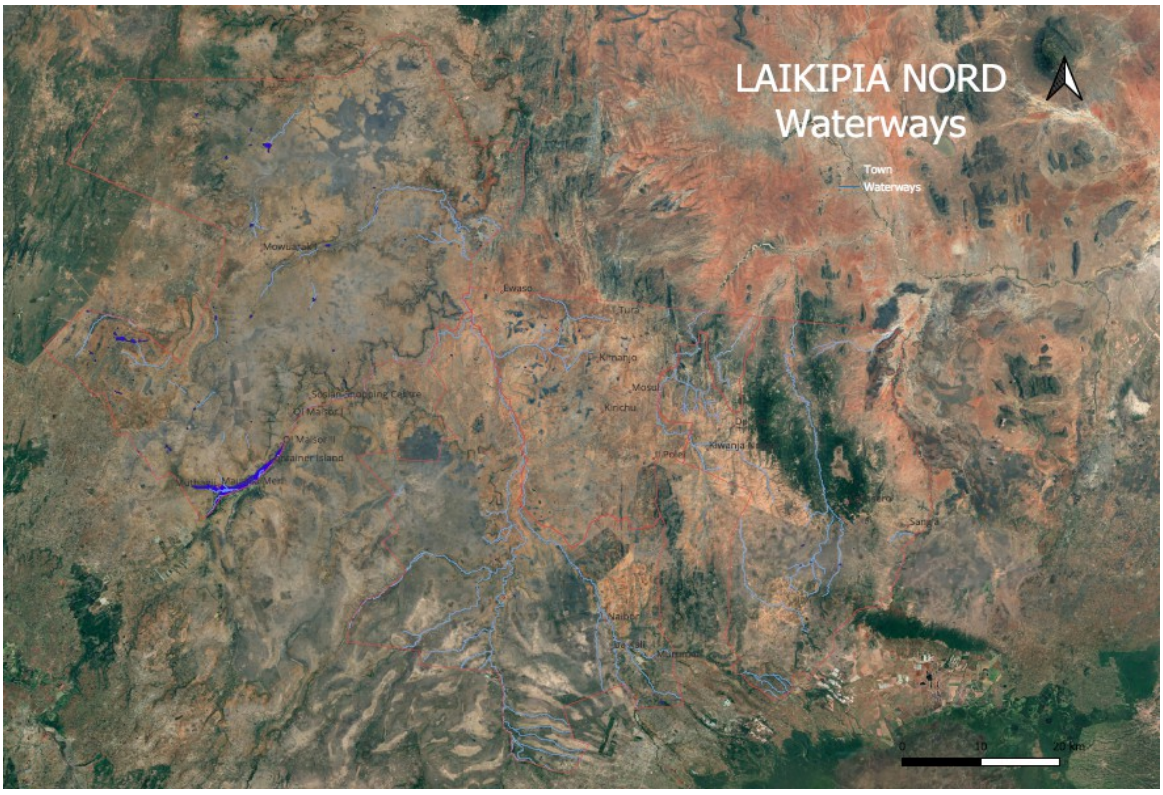
6. Produzione di carte tematiche:

- **Carta delle vie d'acqua**: mostra il territorio di Laikipia Nord, dove sono evidenziati i principali corsi d'acqua che attraversano la regione.

All'interno della mappa sono indicati anche i centri abitati, come Rumuruti, Dol Dol, Kimanju ed Ewaso, distribuiti lungo le valli e in prossimità delle principali vie fluviali.

Lo sfondo satellitare permette di cogliere la complessità del territorio, distinguendo chiaramente le aree più verdi, dalle distese più aride e rossastre.

Infine, la scala metrica e il simbolo del nord geografico aiutano a orientarsi e a comprendere le distanze reali, rendendo la mappa non solo descrittiva, ma anche funzionale per lo studio sul campo e la pianificazione del territorio.



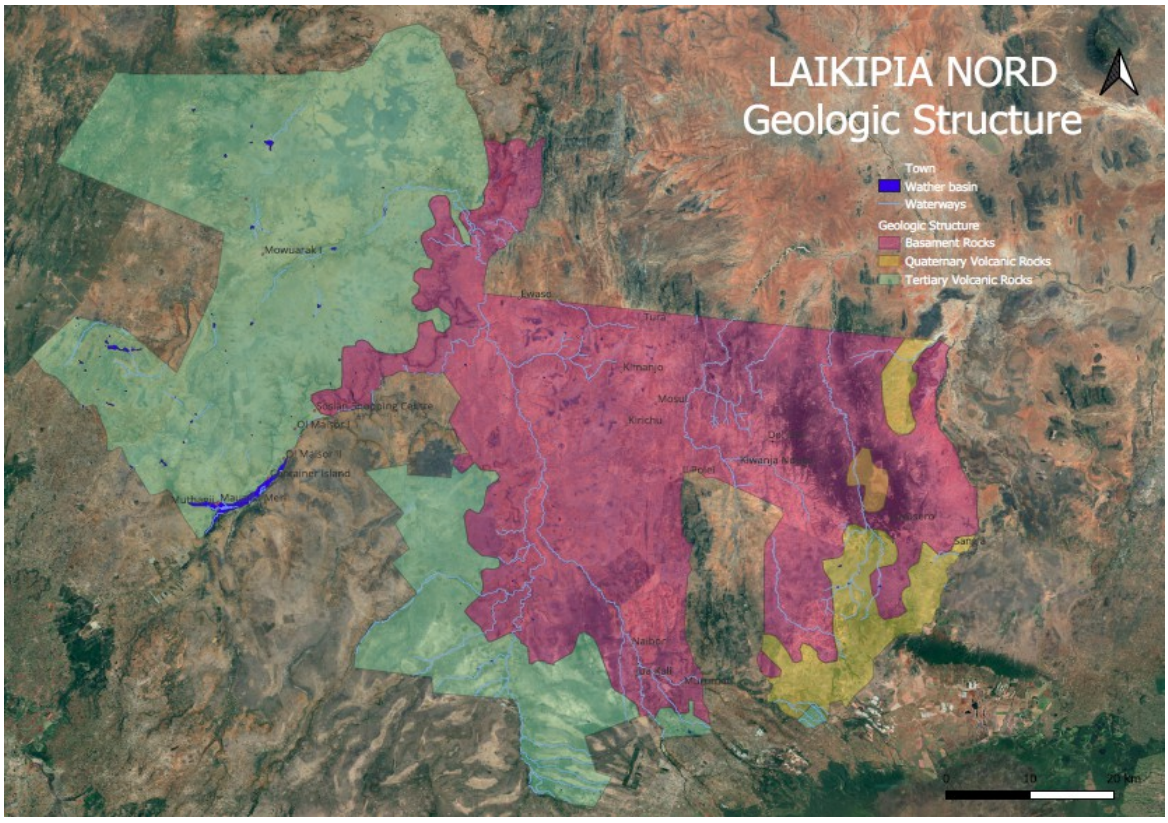
- **Carta delle strutture geologiche**: questa mappa rappresenta la struttura geologica del Laikipia Nord, sovrapposta a un'immagine satellitare che evidenzia la morfologia del territorio.

Le aree sono colorate per distinguere le principali formazioni geologiche: in verde le rocce di basamento, in viola le rocce vulcaniche quaternarie e in giallo le rocce vulcaniche terziarie.

È rappresentata anche la fitta rete di corsi d'acqua (in blu), per evidenziare la relazione tra geologia e idrografia locale.

Sono inoltre segnalati i centri abitati principali, come Ewaso, Kimanjo, Kirichu e Rumuruti, che si distribuiscono in prossimità delle valli e delle zone idriche.

Grazie alla combinazione di dati geologici e geografici, questa mappa consente di comprendere la distribuzione delle formazioni rocciose, e le dinamiche idriche e insediative legate alla loro distribuzione.



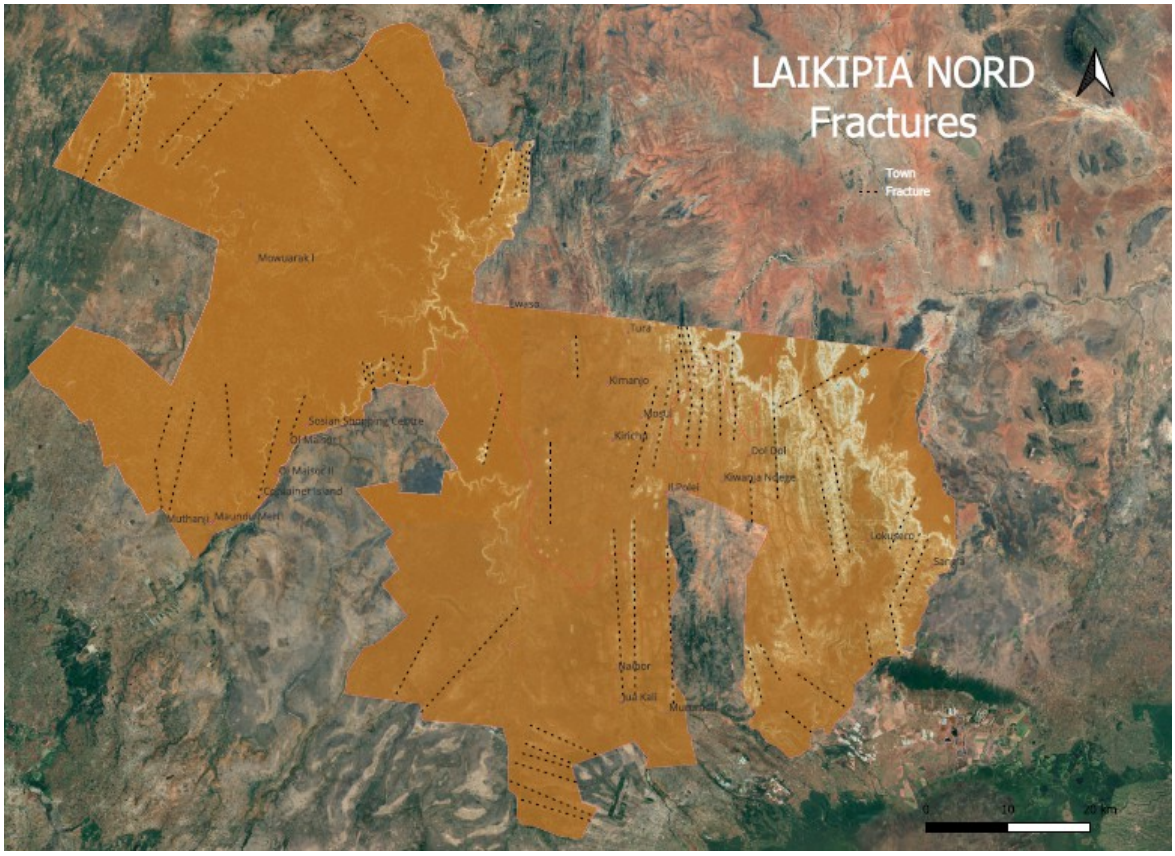
- **Carta delle fratture:** questa mappa rappresenta la distribuzione delle principali fratture geologiche nel territorio del Laikipia Nord indicate da linee tratteggiate nere, distribuite in modo irregolare ma ricorrente in tutta la regione.

Le linee rappresentano le spaccature naturali del sottosuolo, che possono influenzare la circolazione dell'acqua, la stabilità del terreno e l'infiltrazione nelle falde.

La mappa evidenzia una maggiore concentrazione di fratture in alcune aree centrali e orientali del territorio, come nei pressi di Dol Dol, Il Polei e Lokusero, mentre altre zone, come il settore nord-occidentale, presentano una densità inferiore.

Sono riportati anche i nomi dei principali centri abitati, distribuiti all'interno dell'area di studio, utili per localizzare le fratture rispetto agli insediamenti umani.

La presente carta è utile per comprendere la struttura geologica del territorio e per identificare le aree potenzialmente più favorevoli alla ricarica delle acque sotterranee, poiché le fratture possono facilitare l'infiltrazione.

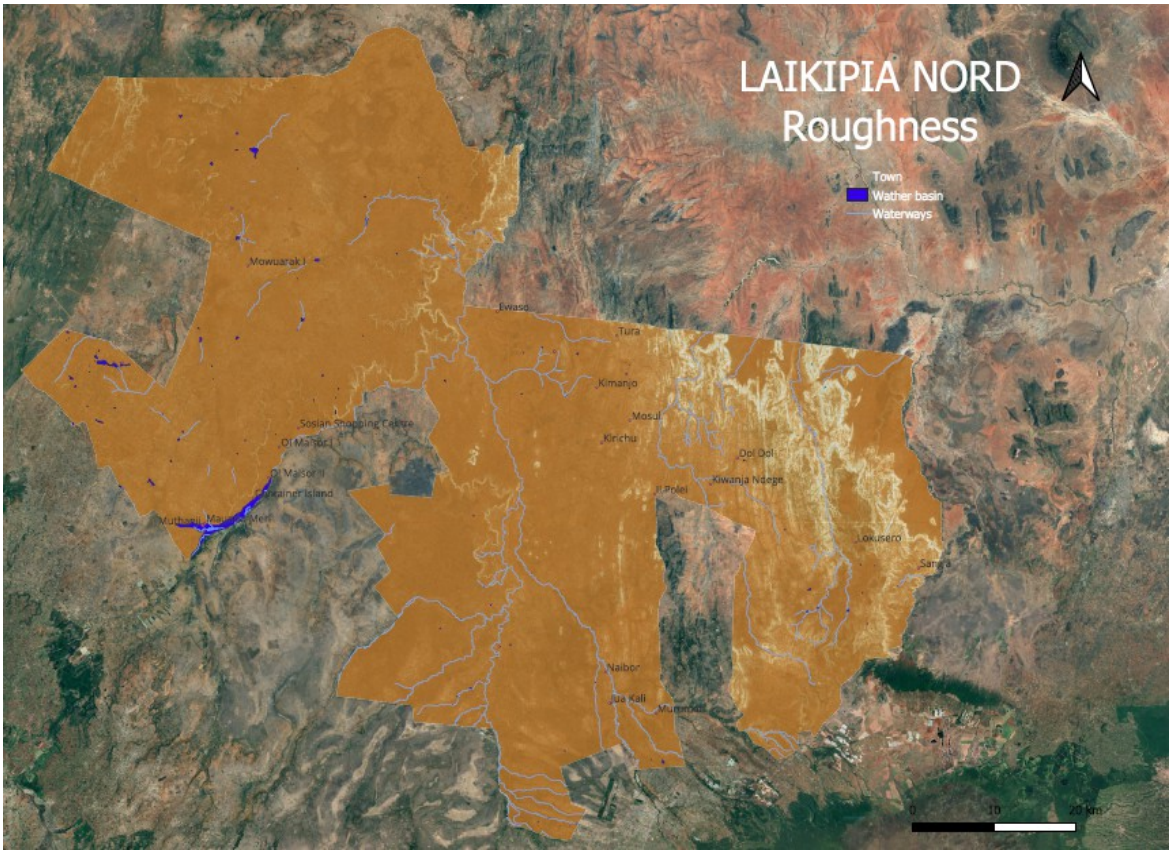


- **Carta della rugosità superficiale**: rappresenta le variazioni morfologiche e la complessità del terreno, parametro utile per comprendere i processi di infiltrazione e deflusso.

La mappa mostra la distribuzione della rugosità del suolo nel territorio del Laikipia Nord.

La rugosità del suolo è un indicatore della variabilità morfologica del terreno che può influenzare significativamente il deflusso delle acque, l'infiltrazione e l'erosione.

La mappa fornisce una analisi del contesto che aiuta ad interpretare le zone con maggiore rugosità, e quindi in cui il terreno è più inciso, frammentato o presenta pendenze significative, permettendo di evidenziare le zone dove è più probabile che si verifichino processi erosivi**,** deflusso superficiale intenso, o potenziali problemi di accessibilità.

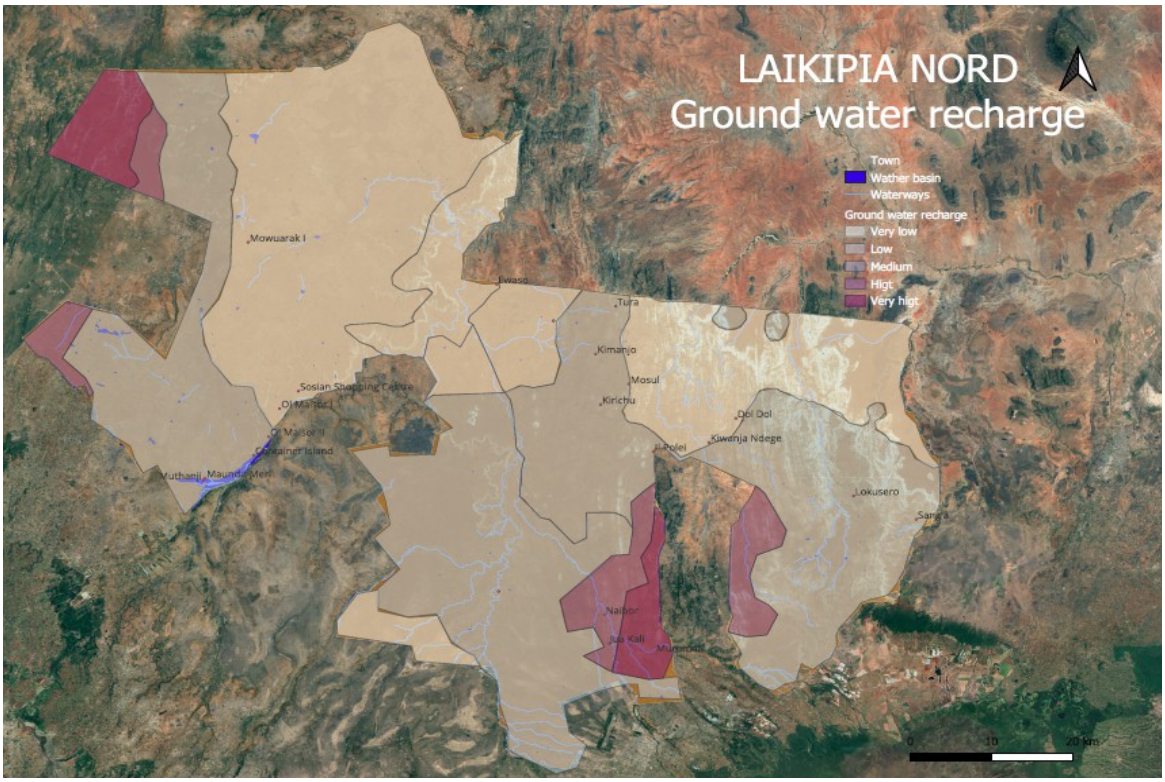


- **Carta della ricarica delle acque sotterranee**: questa mappa rappresenta la capacità di ricarica delle acque sotterranee nel Laikipia Nord.

Le aree sono classificate in cinque livelli con diverse tonalità di colore che vanno dal molto basso (beige chiaro) al molto alto (viola scuro), indicando le zone dove le falde acquifere hanno maggiore o minore possibilità di rigenerarsi.

La maggior parte del territorio mostra valori bassi o molto bassi, segno di scarsa capacità di accumulo, mentre le aree più favorevoli alla ricarica si concentrano in porzioni localizzate del nord-ovest, sud e sud-est.

Sono visibili i principali corsi d'acqua, che restano elementi chiave per l'infiltrazione e la ricarica delle falde.



- **Carta della disponibilità di acqua sotterranea (risultato dell'analisi multicriteriale):** questa mappa rappresenta il risultato finale di un'analisi multicriteriale geografica effettuata sul territorio del Laikipia Nord, con l'obiettivo di individuare le aree con la massima probabilità di disponibilità di acque sotterranee.

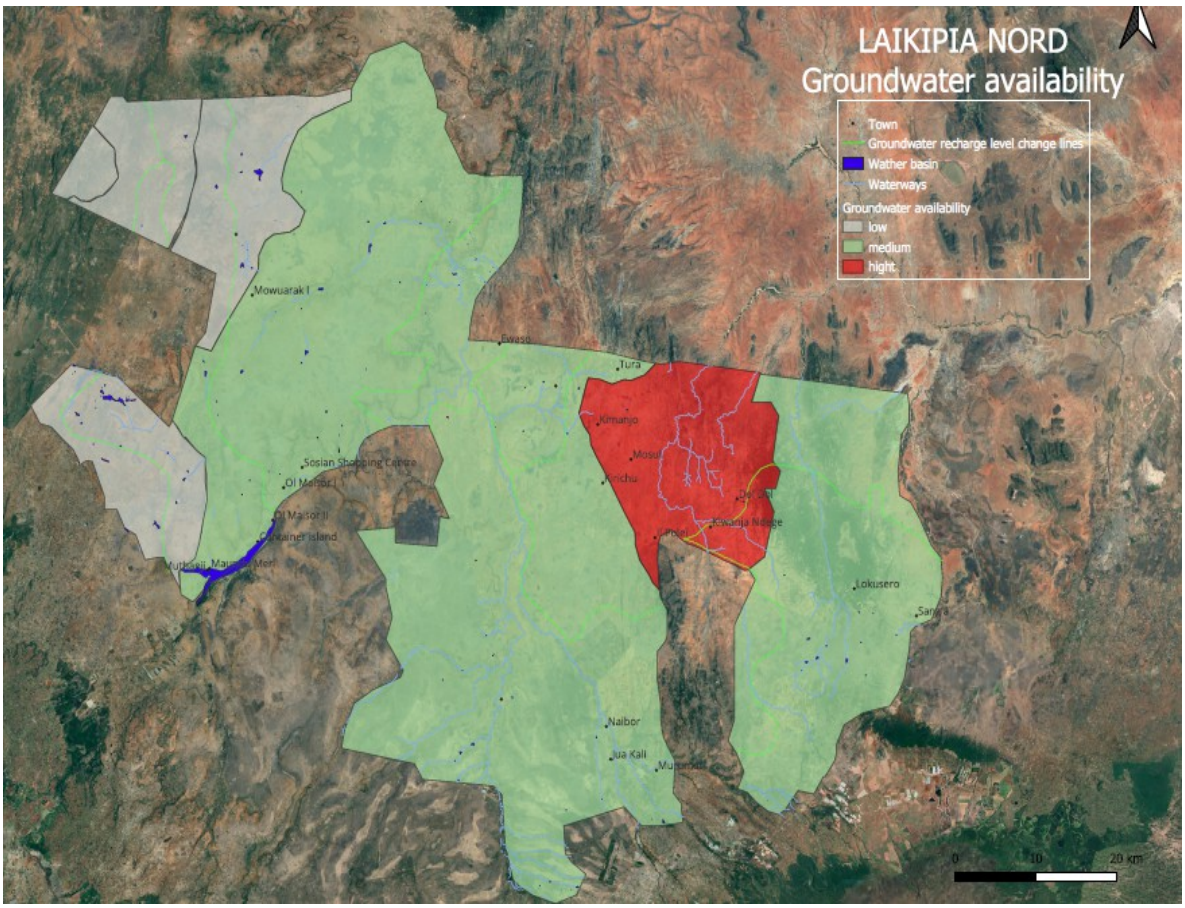
L'analisi integra diversi strati tematici sopra descritti per generare una valutazione sintetica del potenziale idrico sotterraneo in tutta l'area.

Il territorio è suddiviso in tre classi principali, visualizzate mediante una scala cromatica:

- Rosso: alta disponibilità di acque sotterranee. Queste aree, localizzate principalmente nella porzione centrale e nord-orientale (attorno a Dol Dol, Kimanjo, Kirichu e Il Polei), rappresentano i punti più favorevoli per l'accesso alle risorse idriche sotterranee. Qui la combinazione di fratture geologiche, pendenze adeguate, buona ricarica e vicinanza a corsi d'acqua suggerisce condizioni ottimali per la raccolta e l'infiltrazione dell'acqua.
- Verde: disponibilità media. Gran parte del territorio rientra in questa categoria, con caratteristiche intermedie che suggeriscono un potenziale idrico moderato. La maggior parte dei villaggi, come Lokusero, Naibor, Sosian e Ewasa, si trovano in queste aree.
- Grigio chiaro: bassa disponibilità. Le zone marginali del territorio, specialmente a nord-ovest e sud-ovest, mostrano una capacità limitata di accumulo delle acque sotterranee, probabilmente a causa di bassa fratturazione, scarsa ricarica e morfologia sfavorevole.

La carta include anche:

- Linee di cambiamento del livello di ricarica (in rosa), che segnalano le transizioni tra zone a diversa capacità di ricarica.
- Bacini idrografici (in blu intenso) e corsi d'acqua (in azzurro chiaro), elementi essenziali per l'infiltrazione e la distribuzione delle acque sotterranee.
- Centri abitati etichettati in nero, utili per contestualizzare la disponibilità idrica rispetto agli insediamenti umani.



L’integrazione di dati geospaziali in un modello di analisi multicriteriale ha consentito di produrre mappe tematiche di elevata utilità per l’indagine idrogeologica sul campo.

Le carte ottenute rappresentano strumenti fondamentali per pianificare le campagne di ricerca ed eventuale perforazione, riducendo i costi e aumentando l’efficacia degli interventi. Esse offrono un quadro conoscitivo di base che potrà essere ulteriormente raffinato con indagini dirette (sondaggi e misure piezometriche).

7. Missione sul campo

La missione ha avuto luogo nei giorni 30 maggio – 03 giugno 2025 ed è stata svolta da Giancarlo Ceccanti e Niccolò Giordano di Acquifera Aps, Giulia Gianelli e Lavinia Talenti di Ipsia e Joseph Lentunyoi del partner locale Laikipia Permaculture Center LPC, con il supporto logistico di Ipsia e LPC.

L'obiettivo della missione è stato triplice:

1. Realizzare un sopralluogo nell'area di progetto e verificare i dati di cartografia di cui sopra;
2. Conoscere i partner locali, le comunità di riferimento e i beneficiari, per identificare le principali problematiche idriche e impostare la raccolta dati tecnica e socio-idrogeologica;
3. Confrontarsi direttamente con gli enti locali (Contea di Laikipia) per definire una strategia comune di raccolta dati e definizione delle priorità di analisi idrica sociale.

Viene riportata di seguito una sintesi del programma di missione:

Giorno 1: 31 maggio. Incontri con i beneficiari (*women self-help groups*) e Visite di campo a Ilpolei, Musul, Ilmotiok e Tura.

Giorno 2: Visite di campo a Ewaso (orti permaculturali e *sand dams* costruita da LPCT)

Giorno 3: Ritorno a Kariunga

Giorno 4: Incontri con Mr. Mworia, Direttore del Water Department e Rappresentante WARMA (Water Resources Managemente Authority)

Giorno 5: Incontro con la Waziri Leah Njeri (Water e Environment della Contea di Laikipia)

A seguito del sopralluogo, degli incontri con le/i rappresentanti delle comunità locali, beneficarie del progetto, e delle valutazioni tecniche effettuate a posteriori, le problematiche idro-sociologiche rilevate sono riferite, come di consueto, alla *water governance*, *public ownership, resource management* e *water access* (riferita alle infrastrutture di estrazione, accumulo e distribuzione idrica). Tali criticità si aggiungono ovviamente a quelle ambientali derivanti dagli effetti dei cambiamenti climatici e desertificazione, aumentando sensibilmente la vulnerabilità idrica della sfera socioeconomica locale.

In sintesi:

- Molti dei pozzi profondi visitati sono malfunzionanti o non funzionanti, in particolare il pozzo di Ilpolei, quello di Ilmotiok e quello del gruppo di donne Chui Mamas a Ewaso;

- Si rileva un sottodimensionamento delle cisterne (watertank) in pvc;
- I sistemi fotovoltaici di alimentazione dei pozzi sono spesso sovradimensionati, il che può portare a un sovraccarico del sistema di accumulo (parco batterie) o può suggerire che siano state installate pompe molto potenti. A tal proposito è stato richiesto alla Contea di fornire i dati tecnici dei pozzi, compresi i dati relativi alla potenza di picco delle pompe, per poter effettuare valutazione esaustiva circa il loro dimensionamento rispetto al potenziale dell'acquifero. Ciò viene di norma effettuato per scongiurare eventuali – e frequenti- sovradimensionamenti della pompa, che comporta numerosi rischi di funzionamento per la stessa;
- Il pozzo manuale realizzato nella sand dam di Ewaso non è funzionante, ragione per cui la popolazione ha scavato un pozzo superficiale nella sabbia per poter attingere all'acqua direttamente con le taniche;
- Sono state rilevate perdite direttamente dal sistema di distribuzione idrica;
- Non è stata percepita (probabilmente per il tempo di permanenza insufficiente) una chiara metodologia di gestione della risorsa idrica da parte delle comunità locali.

A queste considerazioni tecniche si aggiungono quelle derivanti dagli incontri istituzionali con la Ministra di Acqua e Ambiente della Contea e con il direttore del WD:

A fronte della piena disponibilità dimostrata dalla Contea alla condivisione dei database idrogeologici (piezometria, ubicazione dei pozzi, etc) sulla pratica è stata riscontrata una propensione alla protezione dei dati, laddove effettivamente presenti, e sono state condivise, ad oggi, informazioni disomogenee.

8. Predisposizione del censimento socio-idrogeologico

Con l'obiettivo di raccogliere e sistematizzare quante più informazioni possibili, sia tecniche che idro-sociologiche, e di omogeneizzare i dati relativi ai pozzi profondi (es. coordinate dei pozzi, livello piezometrico, portata del pozzo, profondità di emungimento, dimensionamento delle cisterne, ecc) Acquifera ha predisposto due griglie, che una volta completate forniranno ai partner di progetto e agli stake holder istituzionali l'ossatura intorno alla quale pianificare strategie di sicurezza idrica a medio e lungo periodo, rendendo più efficace l'impatto socio-ambientale, catalizzando le spese su interventi mirati e mitigando i rischi.

Tali documenti, condivisi con Ipsia e LPC, sono i seguenti:

- Borehole Technical Informations (BTI), dove viene chiesto alla Contea di riportare i seguenti dati: nome del pozzo, coordinate, ubicazione, altitudine, profondità di pompaggio, profondità totale del pozzo, tipo di pompa, portata, qualità dell'acqua, volume di stoccaggio, alcune informazioni di funzionamento e data di ultimo controllo.
- Socio-hydrogeological Survey (SHS), che contiene i dati relativi a ubicazione, dati tecnici di base, informazioni quantitative sui Water Management Committees (WMC) e le criticità legate a ogni singola struttura idrica.