



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

**Corso di Laurea Magistrale  
in Rischio Ambientale e Protezione Civile**

**DETERIORAMENTO CLIMATICO E DESERTIFICAZIONE IN  
CASAMANCE (SENEGAL MERIDIONALE):  
EMERGENZE CLIMATICHE, CONTROLLO AMBIENTALE E  
GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE**

Tesi di Laurea Magistrale di:

Daniela Pirovano

Relatore Chiar.ma Prof.ssa:

Alessandra Negri

Correlatore Chiar.mo Prof:

Massimo Sarti

**Anno accademico 2018/2019**



# SOMMARIO

<b>SOMMARIO</b> .....	<b>1</b>
<b>ELENCO DELLE TABELLE</b> .....	<b>3</b>
<b>ELENCO DELLE FIGURE</b> .....	<b>4</b>
<b>ELENCO DEGLI ACRONIMI</b> .....	<b>7</b>
<b>RIASSUNTO</b> .....	<b>8</b>
<b>SCOPO E OBIETTIVI DELLA TESI</b> .....	<b>10</b>
<b>DESCRIZIONE DEL CONTESTO REGIONALE</b> .....	<b>11</b>
TOPOGRAFIA E IDROGRAFIA .....	11
CLIMA .....	13
SITUAZIONE POLITICO-AMMINISTRATIVA .....	16
<i>Analisi istituzionale, confini amministrativi</i> .....	16
CONTESTO SOCIOECONOMICO .....	19
<i>Etnie e struttura delle comunità locali</i> .....	19
<i>Demografia</i> .....	22
<b>STRATEGIE DI APPROCCIO ALLO STUDIO</b> .....	<b>27</b>
RASSEGNA DEI DATI TOPOGRAFICI, MORFOLOGICI E GEOLOGICI .....	27
<i>Depositi post-eocene</i> .....	28
<i>Evoluzione quaternaria recente</i> .....	30
ELEMENTI DI PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE DEI SUOLI .....	33
<i>Suoli grezzi d'erosione</i> .....	34
<i>Suoli poco evoluti su sabbia e argilla</i> .....	34
<i>Suoli poco evoluti su sabbia</i> .....	35
<i>Suoli ferruginosi tropicali</i> .....	35
<i>Suoli ferrallitici su sabbia-argilla</i> .....	35
<i>Suoli alomorfi su argilla</i> .....	36
<i>Suoli idromorfi su depositi marini</i> .....	36
<i>Suoli idromorfi a pseudogley su argilla</i> .....	36
<i>Suoli idromorfi a pseudogley su sabbia-argilla</i> .....	37
ANALISI DI USO DEL SUOLO .....	38
<i>Casamance continentale</i> .....	40
<i>Zone estuarine</i> .....	41
RASSEGNA DEI DATI CLIMATICI .....	44

<i>Analisi delle piogge</i> .....	44
<i>Analisi della temperatura</i> .....	53
<b>RASSEGNA ED ANALISI DEI DATI IDROLOGICI</b> .....	<b>56</b>
<i>La rete idrografica</i> .....	56
<i>Caratteristiche dei bacini idrografici</i> .....	59
<i>L'evoluzione stagionale della salinità del fiume Casamance</i> .....	60
<b>STIME QUALITATIVE DEGLI ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ E ANALISI DEL RISCHIO</b> .....	<b>64</b>
<i>Inondazioni</i> .....	64
<i>Incendi</i> .....	66
<i>Rischi connessi a conflitti e tensioni</i> .....	66
<i>Erosione costiera</i> .....	67
<i>Elementi di vulnerabilità</i> .....	70
<b>POSSIBILI SOLUZIONI AGLI EFFETTI DEL DETERIORAMENTO CLIMATICO</b> .....	<b>72</b>
<b>PROGETTAZIONE DI UNA RETE DI MONITORAGGIO IDRO-METERELOGICO</b> .....	<b>74</b>
<i>Finalità della rete</i> .....	74
<i>Principali fattori da considerare per la configurazione di una rete</i> .....	76
<i>Rete idrometrica</i> .....	77
<i>Sonde di salinità e pressione</i> .....	79
<i>Sonde multi-parametriche</i> .....	81
<i>Idrometri per livello idrometrico</i> .....	81
<i>Idrometri per velocità superficiale dell'acqua</i> .....	82
<i>Rete metereologica</i> .....	82
<i>Pluviometri</i> .....	82
<i>Stazioni metereologiche</i> .....	82
<i>Datalogger</i> .....	84
<b>GESTIONE DELLE ACQUE</b> .....	<b>85</b>
<b>INQUADRAMENTO DI DUE INTERVENTI</b> .....	<b>87</b>
<i>Valle di Bona</i> .....	87
<i>Valle di Seleki</i> .....	91
<b>DISCUSSIONE E CONCLUSIONI</b> .....	<b>94</b>
<b>DISCUSSIONE</b> .....	<b>94</b>
<i>Il problema climatico: temperatura e precipitazioni</i> .....	94
<i>L'idrologia del Fiume Casamance</i> .....	95
<i>La necessità di un sistema di monitoraggio idro-meteorologico</i> .....	95
<i>Il ripristino degli ambienti naturali a difesa delle coste e a mitigazione della salinizzazione: gli effetti benefici del mangrovieta</i> .....	96

<i>La conservazione della risorsa idrica: un passaggio obbligato negli interventi di mitigazione della salinizzazione</i> .....	101
<i>Mitigazione del rischio e resilienza delle comunità rurali</i> .....	101
CONCLUSIONI.....	103
<b>BIBLIOGRAFIA E OPERE CITATE</b> .....	<b>105</b>

## **ELENCO DELLE TABELLE**

<i>Tabella 1: Indici e caratteristiche climatiche delle stazioni di Kolda e Ziguinchor</i> .....	15
<i>Tabella 2: Dati statistici relativi al bacino idrografico del Casamance (modificato da Dacosta, 1989)</i> .....	58
<i>Tabella 3: Distretti della Casamance con alluvioni più persistenti (km<sup>2</sup> per distretto alluvionati)</i> __	66

## ELENCO DELLE FIGURE

<i>Figura 1: Localizzazione della regione Casamance.</i>	11
<i>Figura 2: Geomorfologia del bacino del Casamance. Si notino le piane mareali della zona costiera, le piane alluvionali attuali (giallo tenue) e il terrazzo costiero (verde) che forma un altopiano sopraelevato di qualche metro sul livello del medio mare</i>	12
<i>Figura 3: Sfumature climatiche in seno al dominio climatico senegalese di tipo “sud-sudaniano” (modificato da Sagna 2005)</i>	14
<i>Figura 4: Organizzazione spaziale della Casamance.</i>	17
<i>Figura 5: Dinamica di popolazione della Casamance, ricavati da la “Direction des Statistiques Démographiques et Sociales” del 2017.</i>	22
<i>Figura 6: Mappa delle densità demografica suddivisa per dipartimenti, realizzata in GIS tramite i dati raccolti dei censimenti.</i>	23
<i>Figura 7: Gruppo di uomini che ara il terreno con il kadiendo nella regione di Ziguinchor (foto di Olivier Epron Olivierkeita, 2009)</i>	25
<i>Figura 8: Rilievo topografico del Casamance, realizzato in GIS tramite i dati forniti dall’ Agence nationale de l’Aménagement du Territoire</i>	27
<i>Figura 9: Trasgressione marina post-mesozoica (modificata da Michel P. 1973)</i>	29
<i>Figura 10: Carta geologica schematica del Senegal, semplificata (modificata da Michel P. 1973)</i>	30
<i>Figura 11: Evoluzione del golfo di Casamance nell’ Olocene (modificata da Kalck Y. 1978)</i>	31
<i>Figura 12: Classificazione e distribuzione dei suoli nella regione della Casamance, secondo i dati acquisiti dal Database del Suolo e del Terreno per il Senegal e la Gambia (SENSOTER ver. 1.0).</i>	33
<i>Figura 13: Gli orizzonti A, B, e C rappresentano il profilo del suolo secondo la notazione elaborate da Vasily Dokuchaev (1846–1903), il padre della pedologia: A è l’orizzonte sommitale, composto di particelle minerali, sostanza organica, aria e acqua; B è l’orizzonte di regolite, materiale detritico eterogeneo che ricopre il substrato roccioso; C è l’orizzonte di saprolite, un tipo di regolite poco alterata. Sotto lo strato di saprolite c’è il substrato roccioso inalterato.</i>	34
<i>Figura 14: Carta di uso del suolo della regione Casamance realizzata da dati forniti dalla FAO nel 2008 nel “Senegal Land Cover Mapping”.</i>	39
<i>Figura 15: Una vista aerea del 1994 delle paludi di mangrovie e delle piane di marea della regione costiera degli estuari.</i>	41
<i>Figura 16: Cambiamenti della copertura del suolo tra il 1979 e il 1989 e tra il 1989 e il 2001 (modificato da Andrieu e Mering, 2009) e cambiamenti della copertura del suolo tra il 1999 e il 2015 (modificato da Andrieu J., 2018)</i>	43
<i>Figura 17: Mappa delle città scelte per l’analisi dei parametri climatici, realizzata in GIS tramite i dati forniti dall’Agence nationale de l’Aménagement du Territoire.</i>	45
<i>Figura 18: Inizio e fine della stagione delle piogge a Bignona (modificata da Tidiane Sané)</i>	52
<i>Figura 19: Inizio e fine della stagione delle piogge a Ziguinchor ((modificata da Tidiane Sané)</i>	53

<i>Figura 20: Rete idrografica della regione Casamance, realizzata in QGIS tramite shapefiles ricavati da l'Agence nationale de l'Aménagement du Territoire</i>	57
<i>Figura 21: Andamento della salinità nel Fiume Casamance durante la stagione arida, in funzione della distanza dalla foce (modificata da Tidiane Sané, 2008).</i>	60
<i>Figura 22: Andamento della salinità lungo il Fiume Casamance negli anni dal 1976 all'1984 (modificata da Tidiane Sané, 2008)</i>	61
<i>Figura 23: Aree con maggior frequenza di alluvioni nella regione di Ziguinchor.</i>	65
<i>Figura 24: Evoluzione di un tratto di costa della parte settentrionale della Casamance, dal 1986 al 2000 (da Faye, 2010)</i>	69
<i>Figura 25: Analisi di vulnerabilità nei distretti della Casamance, realizzata mediante banca dati a base GIS con i dati ricavati dall'articolo "Vulnérabilité sociophysique aux inondations au Sénégal" pubblicato nel Febbraio 2017 dall'Agenzia Francese allo Sviluppo.</i>	70
<i>Figura 26: Bacino idrografico del fiume Casamance, realizzato in GIS analizzandone il corso, quello dei suoi affluenti e la topografia.</i>	74
<i>Figura 27: Configurazione del sistema di stazioni metereologiche e sonde all'interno del bacino del fiume Casamance, realizzata in Google Earth identificando le zone idonee all'installazione delle stazioni.</i>	78
<i>Figura 28: Esempio di sonda di salinità o multi-parametrica da installare nelle varie stazioni.</i>	79
<i>Figura 29: Esempio di progetto dell'installazione di più sonde di salinità al fine di ottenere un profilo trasversale del parametro registrato.</i>	80
<i>Figura 30: Esempio di progetto per l'installazione di sonde di salinità o multi-parametriche sulla sponda del fiume.</i>	80
<i>Figura 31: Progetto di installazione di un idrometro radar e di un misuratore di velocità su un ponte stradale.</i>	81
<i>Figura 32 e Figura 33: Esempio di stazione metereologica completa di tutta la strumentazione descritta. In basso, in posizione separata, si noti il pluviometro. A destra esempio di progetto di una stazione metereologica completa.</i>	83
<i>Figura 34: Carta della copertura/uso del suolo della valle di Bona, realizzata individuando attraverso caratteristiche/stili di riflettività le zone di interesse per formazione vegetale, topografia e idrologia superficiale.</i>	88
<i>Figura 35: Immagini satellitari da Google Earth per inquadrare la valle di Bona, si notino gli accumuli salini di colore bianco.</i>	89
<i>Figura 36: Modello di circolazione idrica alternata, a forzante climatico, del tipo probabilmente in essere nelle piane mareali dell'estuario del Casamance, con il prevalere negli ultimi decenni della fase evaporativa a causa di una contrazione della stagione umida.</i>	89
<i>Figura 37: Il caso emblematico di iper-salinizzazione della piana di Affiniam a seguito di interventi ingegneristici non appropriati.</i>	90

<i>Figura 38: Carta della copertura/uso del suolo della piana di Seleki, realizzata individuando attraverso caratteristiche/stili di riflettività le zone di interesse per formazione vegetale, topografia e idrologia superficiale.</i>	92
<i>Figura 39: Immagine satellitare da Google Earth per inquadrare la situazione fisiografica della valle di Seleki. Si notino gli accumuli salini di colore bianco a destra dell'ansa del marigot.</i>	93
<i>Figura 40: Propaguli di mangrovia appena raccolti, lunghi semi che consentono alle mangrovie di riprodursi. (Foto: Hellio-Vaningen / Livelihoods Funds.)</i>	97
<i>Figura 41: Villaggi Casamancesi che si occupano delle campagne di restauro delle mangrovie. (Foto: Hellio-Vaningen / Livelihoods Funds.)</i>	98
<i>Figura 42: Rielaborazione tramite indice NDVI (Indice di Vegetazione a Differenza Normalizzata) delle Immagini satellitari dell'Earth Observatory della NASA di Joshua Stevens, usando i dati di David Lagomasino / NASA Goddard Space Flight Center e i dati Landsat dell'U.S. Geological Survey.</i>	99
<i>Figura 43: Immagini satellitari Landsat dell'U.S. Geological Survey nell'area della foce del fiume Casamance (acquisita dall'Operativ Land Imager (OLI) su Landsat 8, il 5 marzo 2018)</i>	100



## ELENCO DEGLI ACRONIMI

CEDA	Centre for Environmental Data Analysis
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNGRC	Consiglio Nazionale di Gestione dei Rischi e Catastrofi
CSE	Centre de Suivi Ecologique
DFO	Dartmouth Flood Observatory
EPIC	Ecosystem Protecting Infrastructure and Communities
ETM	Enhanced Thematic Mapper
FACE	Federazione delle Associazioni dei Casamancesi in Europa
FAO	Food and Agriculture Organization
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre
ITC	Inter Tropical Convergence
ITCZ	Inter Tropical Convergence Zone
IUCN	International Union for Conservation of Nature
MFDC	Movimento delle Forze Democratiche della Casamance
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OLI	Operative Land Image
ONG	Organizzazione Non Governativa
SENSOTER	Senegal Soil and Terrain database
SOVI	Social Vulnerability Index
TDG	Transport of Dangerous Goods
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USGS	United States Geological Survey
WMO	World Meteorological Organization

## RIASSUNTO

La Casamance è l'area del Senegal a sud della Gambia comprendente una grande porzione del bacino idrografico del fiume Casamance. Essa consiste nelle regioni della Bassa Casamance, che include il territorio di Ziguinchor, della Media Casamance, con la regione di Sedhiou e dell'alta Casamance comprendente la regione di Kolda. La Casamance ha una piovosità media più alta rispetto al resto del Senegal, con la maggior parte delle aree che presentano valori pari a 1270 mm l'anno, con punte di 1780 mm in alcuni luoghi.

Negli ultimi decenni è stato riscontrato un incremento della salinità del terreno agricolo, in prossimità del fiume Casamance e nella piana alluvionale che confina con esso. La salinità si sta gradualmente estendendo a monte delle zone costiere dell'estuario, arrivando fino a 250 km nell'entroterra. La situazione sembra essere aggravata dalla riduzione delle precipitazioni, sia in termini di quantità (millimetri di pioggia durante l'anno) sia di periodicità (contrazione temporale della stagione delle piogge). Come conseguenza del ridotto deflusso durante la lunga stagione secca, l'acqua di mare raggiunge aree sempre più vaste della pianura alluvionale, con un forte impatto sulla fertilità dei suoli e sulla produzione agricola.

Data la scarsità delle risorse disponibili e della riduzione degli investimenti, le conseguenze della progressiva salinizzazione della terra e i negativi effetti sulla prevalente economia di sussistenza, si ripercuotono, con un effetto domino, su altri ambiti apparentemente non correlati, come ad esempio le carenze nel settore dell'educazione, dove si riscontra il ridotto accesso all'istruzione, quelle nel settore sanitario, con servizi sanitari non adeguati, quelle nel settore della comunicazione, con una rete viaria e mezzi di comunicazione insufficienti per le necessità delle popolazioni e per garantire l'accesso al mercato. Questo comporta conseguenze molto negative sul benessere sociale e sullo sviluppo economico della regione. A causa dei rischi climatici e della diminuzione della produzione, gli investimenti per le infrastrutture risultano ridotti, lo sviluppo economico della zona è stagnante, il lavoro risulta limitato, i legami sociali tradizionali sono indeboliti e l'abbandono delle aree rurali, soprattutto da parte dei segmenti più giovani della popolazione, alimenta i flussi migratori, in particolare verso i paesi europei. Le migrazioni in massa, però, hanno spesso avuto, e hanno tutt'ora, esiti drammatici, sia in termini di perdita di vite umane, sia a causa delle condizioni di vita degradanti a cui sono spesso costretti i migranti quando raggiungono la destinazione finale.

Da osservare che l'attuale progetto rientra in un impegno ed un'attenzione dell'Associazione FACE verso i problemi della salinizzazione dei territori e delle valli della Casamance, che ha coinvolto decine di volontari tra cui tecnici e studenti. Un forte contributo è stato recentemente dato dalla Fondazione Ca Vendramin, dall'Università Politecnica delle Marche, dall'Università di Ziguinchor e dall'adesione da parte dell'Associazione DELTAMED al progetto.

## **SCOPO E OBIETTIVI DELLA TESI**

L'obiettivo generale del progetto è di contribuire, in aree selezionate, a riabilitare la fertilità delle terre coltivabili, ottimizzare e diversificare la produzione, migliorare l'accesso al mercato, migliorare la resilienza delle comunità selezionate e implementare e rafforzare il benessere sociale delle comunità interessate, con particolare riferimento alla componente femminile. L'idea, infatti, è di far diventare la decisione di migrare verso altri territori una mera scelta, anziché una necessità.

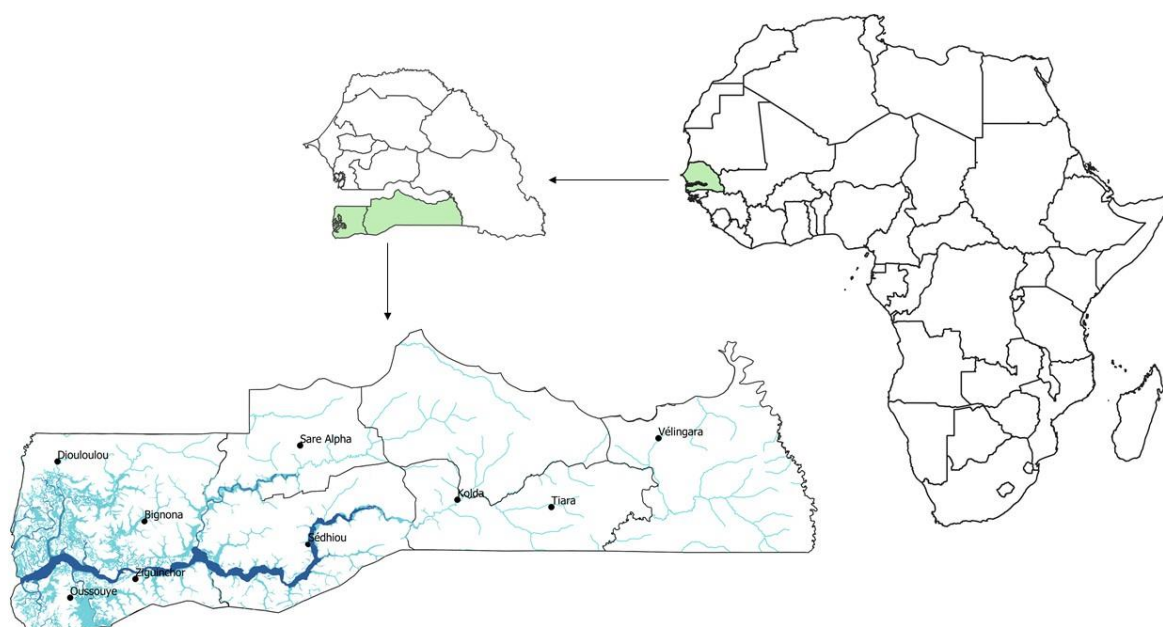
Lo studio prevede un insieme di attività finalizzate al raggiungimento di diversi obiettivi. Questi obiettivi riguardano la conoscenza della struttura sociale ed assetto economico dell'area oggetto dell'intervento, del territorio affetto da salinizzazione e degrado ambientale, lo studio del fenomeno evaporitico causa del degrado stesso e la progettazione di un sistema di monitoraggio e gestione delle acque che è l'elemento chiave per la mitigazione del processo di precipitazione del sale, indesiderata per l'agricoltura.

L'ammontare delle precipitazioni annuali non è insignificante (1.200-1.300 mm) ma mal distribuito nel corso dell'anno e la risorsa, ancorché abbondante, è sconsideratamente dissipata per la mancanza di sistemi di stoccaggio e distribuzione. L'equilibrio idrologico dell'estuario è così alterato, con prevalenza delle forzanti marine, che consentono la penetrazione delle salamoie nell'entroterra, con gli effetti di precipitazione del sale, sia in superficie che nel terreno, esiziale per l'agricoltura.

## DESCRIZIONE DEL CONTESTO REGIONALE

### TOPOGRAFIA E IDROGRAFIA

Il Senegal, il paese più occidentale dell'Africa, si trova tra i 12°20' e i 16°42' di latitudine nord e gli 11°30' e i 17°30' di longitudine ovest e copre un'area di 196.722 km, con una costa atlantica di 600 km. Confina con la Guinea Bissau e la Guinea Conakry a sud, col Mali a est, e con la Mauritania, attraverso il fiume Senegal, a nord.

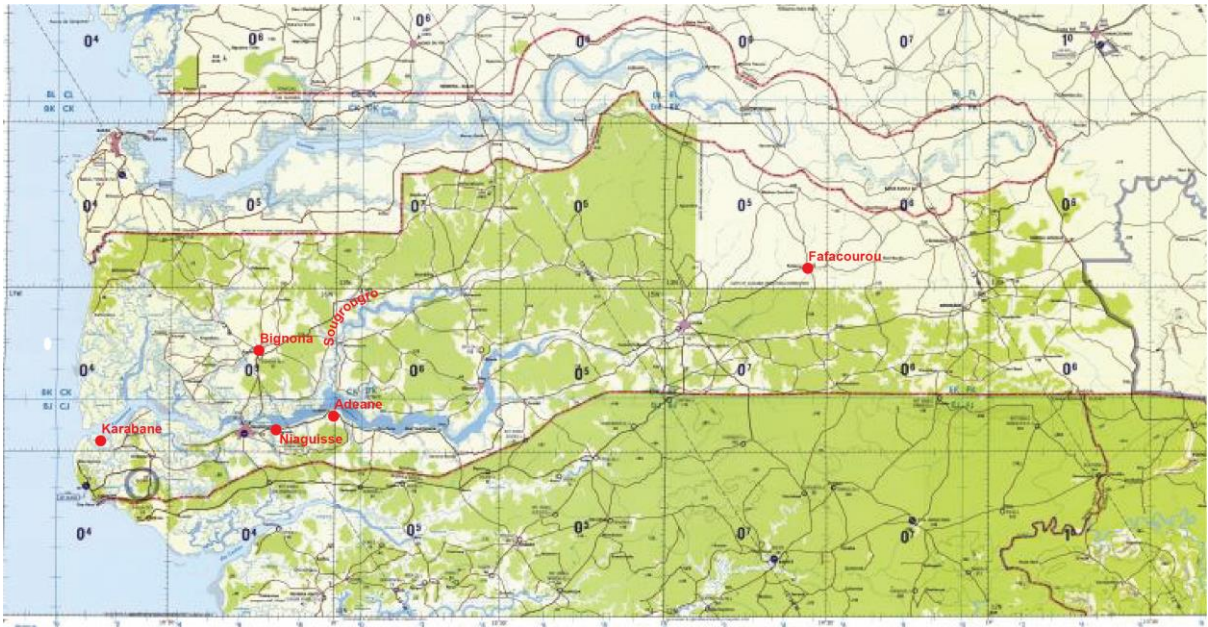


**Figura 1: Localizzazione della regione Casamance.**

La regione della Casamance è la regione meridionale del Senegal, a sud del Gambia (Figura 1) e si estende lungo il bacino idrografico del fiume Casamance e ha una superficie di 28.350 km<sup>2</sup>. La regione è suddivisa fra bassa Casamance (regione di Ziguinchor), media Casamance (regione di Sedhiou) ed alta Casamance (regione di Kolda). Il maggiore centro urbano è Ziguinchor.

L'area di studio oggetto di questa tesi si trova lungo la bassa valle del fiume Casamance; esso sorge dagli altipiani orientali della regione e scorre verso l'Oceano Atlantico, terminando in un ampio estuario. Il bacino idrografico del Casamance è un'area di lieve rilievo topografico, inclinata generalmente a ovest; il punto più elevato si trova a est di Vélingara e la sua altitudine è di 80 mslm. La morfologia dell'area è quella tipica delle zone costiere alluvionali, con piane di marea solcate da una fitta rete di canali mareali nella zona

di foce e terrazzi sopraelevati di qualche metro al lato delle piane alluvionali principali (Figura 2).



*Figura 2: Geomorfologia del bacino del Casamance. Si notino le piane mareali della zona costiera, le piane alluvionali attuali (giallo tenue) e il terrazzo costiero (verde) che forma un altipiano sopraelevato di qualche metro sul livello del medio mare*

Il fiume Casamance è formato dalla confluenza di molti piccoli affluenti che sono spesso asciutti durante la stagione secca (da ottobre ad aprile); lungo l'asta principale, il deflusso diviene perenne nel tratto a valle di Fafa Kourou.

La confluenza del fiume Casamance con il suo principale affluente, il fiume Soungrougrou che nasce dalla regione della foresta di Pata e Guimara, si trova nei dintorni di Adeane. Le caratteristiche del fiume Casamance rimangono invariate a valle della sua confluenza con il Soungrougrou.

Una grande area deltizia caratterizza la foce del fiume Casamance; l'intrusione dell'acqua di mare inizia dalla costa e procede verso la parte continentale del bacino per circa 200 chilometri. Il reticolo idrografico può essere suddiviso in due parti principali: a) un sistema che si sviluppa lungo l'asta principale e include la rete di bacini che soggiacciono all'influenza delle maree, dalla foce fino a Sedhiou e b) la rete dei bacini a regime continentale delle alte valli di ciascun affluente e corso d'acqua minore.

## CLIMA

Il clima del Senegal è caratterizzato da una grande variabilità delle precipitazioni procedendo da nord (100 mm nell'area del Sahel) a sud (1.800 mm durante l'estate) e dalle alte temperature durante tutto l'anno (Thiam e Singh, 1997).

Ci sono tre importanti influenze atmosferiche che determinano il clima della regione della Casamance: l'anticiclone delle Azzorre, che porta venti marittimi chiamati Alisei, sulla costa; l'alta depressione sahariana che porta i venti caldi e secchi della stagione arida (Harmattan) e gli anticicloni di Saint-Helen che sono responsabili delle precipitazioni estive.

La durata della stagione delle piogge varia da cinque mesi e mezzo nel sud-est a due mesi e mezzo nel nord e nord-ovest del Paese, mentre la temperatura media aumenta andando dalla costa verso l'interno. Le temperature più elevate sono registrate in aprile, maggio e giugno; in media le temperature sono comprese tra 24 e 29 gradi centigradi e il tasso di evaporazione è molto alto, da 2.000 mm a più di 4.200 mm/a nel nord e nel centro del Paese. Qualsiasi fluttuazione delle precipitazioni può avere un impatto significativo sulla produzione agricola, non sorprende quindi che le precipitazioni siano il parametro climatologico più studiato nel Sahel.

Molti studi si sono concentrati sulla siccità manifestatasi dalla metà degli anni '60 e altri hanno analizzato le tendenze generali. Il clima della Casamance è "sudano-guineano" o tropicale, particolarmente favorevole per l'agricoltura e molte altre attività. Il paese ha due stagioni ben contraddistinte: una umida e piovosa e una arida. Una grande variabilità nelle precipitazioni annuali è stata osservata negli ultimi due decenni: durante il periodo 1958-1970 la piovosità media annua era di 1600 mm nel sud del Senegal e di soli 400 mm nel nord. Dal 1971 al 1992 essa è diminuita a 1200 mm al sud e 200 mm a nord.

La temperatura media giornaliera più elevata, di solito, si osserva tra aprile e giugno, dove può raggiungere i 35°C. La temperatura media giornaliera più bassa è di circa 14°C durante il mese di gennaio.

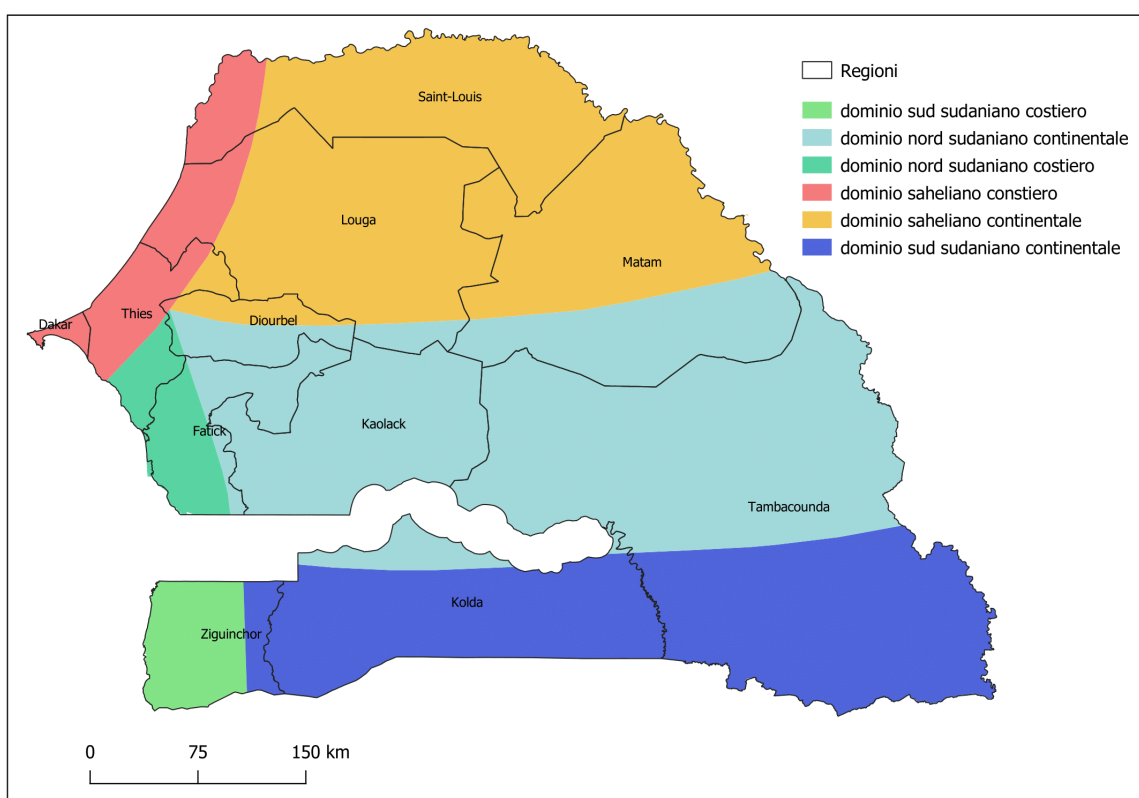
La Casamance è situata in un ambiente tropicale e le sue peculiarità climatiche sono ben note: climatologi e meteorologi infatti hanno sviluppato una metodologia per suddividere in domini climatici tutto il territorio africano.

L'analisi scelta si basa sulla classificazione dei domini climatici stabilita da Sagna (2005, 2008) nella parte occidentale dell'Africa. I fattori presi in considerazione in questa classificazione sono i rilievi, la situazione geografica rispetto al mare, la circolazione

atmosferica generale e le dinamiche di precipitazione. Questi elementi permettono di classificare la Casamance nel dominio sud-sudanese (Figura 3).

Nel dettaglio la Casamance appartiene all'area climatica costiera e continentale sud-sudaniana. La sua appartenenza in questo campo gli conferisce caratteristiche particolari: essa è infatti la zona più umida del Senegal. L'importanza delle precipitazioni è una delle caratteristiche principali che danno a questa regione la sua personalità biofisica e socioeconomica, compromessa nel corso degli ultimi decenni dal deterioramento climatico in senso siccitoso, nonostante un leggero miglioramento nell'entità delle precipitazioni, osservato più di recente.

Sagna (2005) sottolinea che le sfumature climatiche all'interno di una zona climatica sono identificate da elementi climatici come l'umidità, l'ampiezza termica annuale, le frequenze degli alisei settentrionali e dei monsoni, le precipitazioni annuali e gli indici climatici (siccità, bioclina e umidità globale).



**Figura 3: Sfumature climatiche in seno al dominio climatico senegalese di tipo “sud-sudaniano” (modificato da Sagna 2005)**

Su questa base, la vicinanza della nostra area di studio all'Oceano Atlantico rivela sfumature che differenziano la zona costiera dall'interno, che mostra invece caratteristiche prettamente continentali.



La zonazione climatica elaborata da Sagna si basa sugli indici e sulle caratteristiche climatiche delle stazioni di Kolda e Ziguinchor riportate in Tabella 1.

Stazione	Indice di secchezza	Classe	Indice bioclimatico	Classe	Numero di mesi umidi	Indice globale di umidità	Classe
Ziguinchor	0,76	Umida	41,4	Da sub-umido a umido	4	-0,3	Da secco a sub-umido
Kolda	0,61	Subumido	42	Da sub-umido a umido	4	-15	Da secco a sub-umido

Stazione	Umidità relativa	Ampiezza termica annuale	Intensità alisei marittimi	Intensità alisei continentali	Monzone	Precipitazioni
Ziguinchor	Alta	Bassa	Media	Molto bassa	Medio	Alte
Kolda	Alta	Media	Bassa	Molto bassa	Medio	Alte

**Tabella 1: Indici e caratteristiche climatiche delle stazioni di Kolda e Ziguinchor**

Sagna infatti, utilizza questi indici per definire il dominio climatico di appartenenza, nel dettaglio:

- L'indice di secchezza è il rapporto tra le precipitazioni annuali e l'evapotraspirazione potenziale annuale;
- L'indice bioclimatico (Le Borgne, 1990) indica il numero di mesi durante i quali il bisogno di acqua della vegetazione è soddisfatto; nel dettaglio è il rapporto tra l'evapotraspirazione reale e quella potenziale, moltiplicato per 100;
- L'indice globale di umidità, infine, risulta essere  $I_{gh} = I_h - 0,6I_a$  dove  $I_h$  è l'indice di umidità ricavato dal rapporto tra l'acqua in eccesso calcolata dal bilancio annuale e l'evapotraspirazione potenziale, moltiplicato per 100.  $I_a$  risulta essere invece l'indice di aridità calcolato usando la stessa formula di  $I_h$  sostituendo all'acqua in eccesso il deficit totale di acqua.

Calcolando ognuno di questi indici è possibile ricavare un valore che rientrerà in una delle varie classi da arido a molto umido.

Per avere un quadro più completo dei domini climatici, Sagna ha ricavato ulteriori parametri quali umidità relativa, ampiezza termica, intensità dei venti e precipitazioni, ricavando anche in questo caso delle classi di appartenenza da arido a molto umido.

## SITUAZIONE POLITICO-AMMINISTRATIVA

### *Analisi istituzionale, confini amministrativi*

La storia dell'insediamento in Casamance, come quella nell'Africa occidentale, è caratterizzata dalla successione di diverse ondate migratorie per diversi secoli e dall'eredità degli imperi coloniali francesi, portoghesi e britannici. Poco è conosciuto, soprattutto prima dell'arrivo degli europei, poiché le fonti storiche sono rare e le informazioni che ne derivano, spesso contraddittorie. Tuttavia, nonostante questo, due fatti sono noti e documentati. Il primo riguarda l'insediamento dei Diola nella regione, prima del XVI secolo, e il secondo, che i Bainunk siano stati tra i primi ad arrivare in Casamance nel territorio a est di Bignona (Mark 1985, Roche 1985).

Molti lavori sulla Casamance (Bocande, 1849, Beranger-Ferraud, 1874, Maclaud, 1907a e 1907b, Lasnet, 1900, Hanin, 1933, Thomas, 1959, 1960, 1963, 1964, 1965, Pelissier, 1958 e 1966, Linares, 1970 e 1971, Diatta 1982, Roche 1985, Cormier-Salem 1992, Awenengo-Dalberto 2005, Journet-Diallo 2007, Ngaidé 2009, Méguelle 2013) dimostrano che la regione è stata soggetta a profondi cambiamenti verso la fine del XIX secolo a causa della ricomposizione territoriale che era rimasta invariata per circa otto secoli (Ngaidé, 2009).

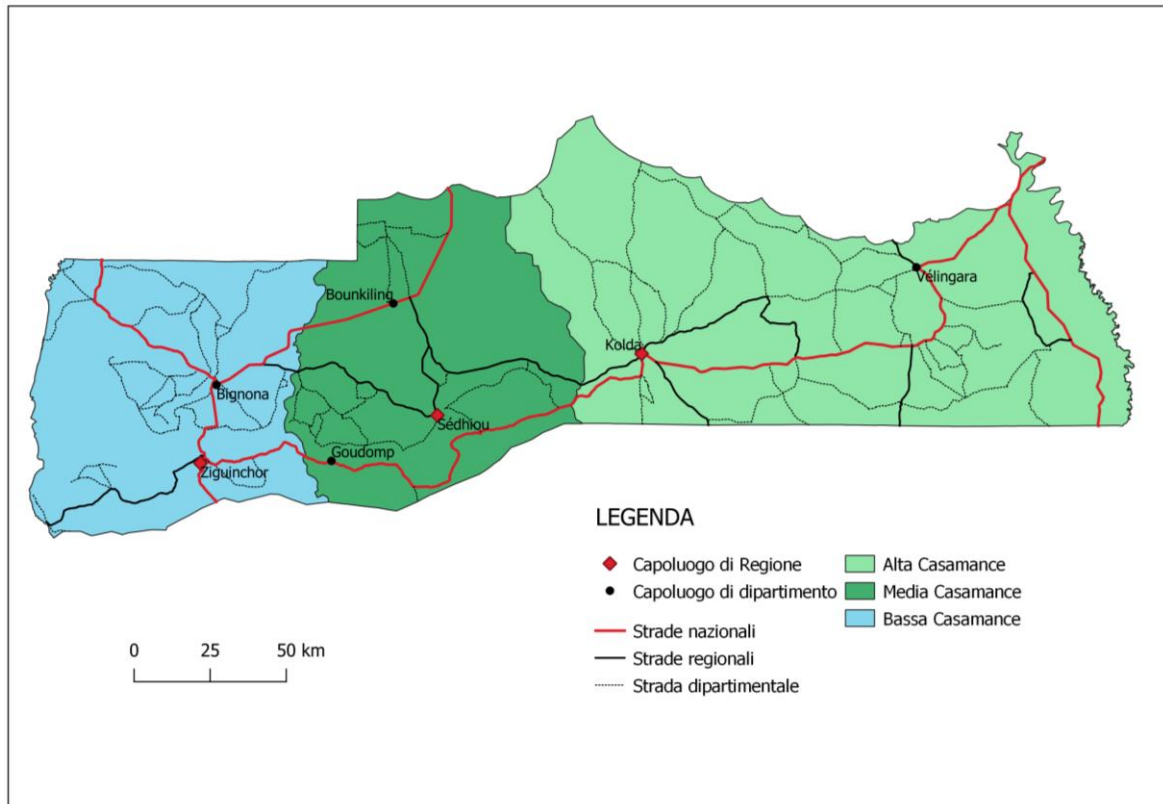
Questi cambiamenti sono chiaramente espressi dalla successione di entità territoriali come il Gabou (una dissidenza dell'Impero del Mali), il Fouladou (una dissidenza del Gabou), la Colonia del Senegal e le sue dipendenze e infine, dal 1960, la Repubblica del Senegal. Ognuna di queste organizzazioni politiche copre particolari "territorialità", differenti modalità di organizzazione dello spazio e differenti strategie territoriali.

Da questo contesto storico si origina l'attuale insediamento umano nelle diverse aree della Casamance. Pertanto, l'insediamento in questa regione non può essere analizzato e compreso senza tener conto dei regni africani esistenti prima della penetrazione europea nell'Africa occidentale.

La Casamance deve la sua storia, il suo nome, le sue risorse principali e forse il suo futuro al suo "fiume" (Diédhiou, 2001). Occupa un'area di circa 28 000 km<sup>2</sup>, che è 1/7 della superficie del Senegal.

Dal 1° giugno 1944 la Casamance è suddivisa in 5 sotto regioni (Ziguinchor, Oussouye, Bignona, Sédhiou, Kolda e Vélingara) organizzate in tre entità: la Casamance superiore, tra l'alta valle del fiume e i confini del Senegal orientale, la Casamance intermedia corrispondente al medio corso del fiume e la Casamance inferiore, zona di mangrovie e paludi all'altezza della foce.

Questo insieme, considerato nell'immaginario sociale come un ambiente "naturale", è all'origine di specifiche formazioni sociali nelle tre entità spaziali della Casamance (Figura 4), amministrativamente composte dalle regioni di Kolda, Sédhiou e Ziguinchor.



**Figura 4: Organizzazione spaziale della Casamance.**

Queste tre entità si distinguono per le loro dimensioni storiche e geografiche caratterizzate da specificità culturali e sociali:

- Ad oriente, l'alta Casamance (corrispondente all'attuale regione di Kolda) è il dominio dei pastori e agricoltori di miglio Fulani, per i quali il riso è solo una coltura alimentare secondaria, ma dove negli ultimi decenni ci sono stati importanti sviluppi nella sua coltivazione, in particolare nel bacino dell'Anambé, con coltivazione del riso tramite irrigazione.
- La media Casamance è l'attuale regione di Sédhiou dove predominano le etnie Manding e Balante, situati rispettivamente a nord e sud del fiume Casamance. La coltivazione del riso viene praticata nelle piccole valli adiacenti al fiume Casamance e alle sue insenature. Il riso è importante quanto il miglio nella dieta della popolazione.

- La bassa Casamance è una vasta area geografica che comprende le risaie e le pianure costiere sparse tra Gambia e Guinea-Bissau e limitate ad est dalla valle Soungrougrou, oltre la quale inizia il distretto amministrativo di Sedhiou. L'importanza delle piogge e la presenza della rete idrografica rendono l'acqua un agente essenziale nella costruzione dei paesaggi di quest'area. Questa parte è popolata principalmente da Diola, abili nelle tecniche elaborate di coltivazione di riso nelle aree di mangrovie. È l'area dei mangrovieti per eccellenza, distese fangose, pianure adatte alla creazione di risaie che sono molto popolari tra la gente di questa regione e nelle quali investono la maggior parte del loro tempo.

Cormier-Salem (1992) afferma che questa divisione corrisponde a tre grandi aree di insediamento delle etnie Peul, Manding e Diola. Questa divisione di fatto, che risale al 1912, fu mantenuta anche dopo all'indipendenza del Senegal; tuttavia, le tre entità furono incluse in un'unica regione amministrativa.

Nel 1984, la Casamance fu divisa in due regioni amministrative: la regione di Ziguinchor che corrispondeva alla Casamance inferiore e che comprende i dipartimenti di Ziguinchor, Bignona e Oussouye e la regione di Kolda che copriva la media e alta Casamance e integrando i dipartimenti di Sédhiou, Kolda e Vélingara.

Nel 2010, un'altra suddivisione ha portato alla separazione della regione di Kolda per dare vita alle attuali regioni amministrative di Sedhiou (media Casamance) e Kolda (dipartimenti di Kolda e Vélingara). Questa riorganizzazione amministrativa della Casamance in tre entità distinte è senza dubbio una risposta politica al conflitto armato che ha afflitto la regione per più di trent'anni.

## CONTESTO SOCIOECONOMICO

### *Etnie e struttura delle comunità locali*

I principali gruppi etnici nella regione amministrativa di Ziguinchor, la regione più popolata della Casamance, sono, secondo il censimento del gennaio 1990, i Diola (60,7% della popolazione totale della regione), i Manding (9,2%), Peul (6,3%), Wolof (4,5%), Manjaag (3,8%), Mancagne (2,6%), Balant (2,5%), Serer (2,4%), Toucouleur (2,3%) e altri (5,7%) (Africa contemporanea ottobre-dicembre 1991). I Diola dominano la Bassa Casamance, i Fulani l'Alta Casamance, i Manding e il Balant la Media Casamance e i Manjaag e Mancagne l'area al confine con la Guinea-Bissau.

Sebbene i Diola considerino la Casamance la loro patria, l'insediamento primitivo della regione fu apparentemente formato dai Balant che si erano stabiliti attorno al sito della città di Ziguinchor. I Manding, Peul, Manjaag, Mancagne e Sérère emigrarono in tempi diversi; i Wolof, invece, hanno sempre avuto difficoltà a farsi accettare dai Casamancesi perché sono arrivati nella regione con la colonizzazione francese (Jeune Afrique Plus gennaio-febbraio 1991, 27).

Il separatismo Diola ha recentemente preso una "deriva etnica" che spinge gli indipendentisti a scacciare tutti i non-Diola dalla Casamance, in particolare con attacchi che aumentano il grado di terrore (Jeune Afrique Plus gennaio-febbraio 1991, 26).

Per capire le ragioni che hanno portato questa etnia allo scontro diretto con la capitale senegalese, è necessario approfondire le peculiarità storiche e sociali che hanno caratterizzato la regione. Il problema del separatismo in Casamance è infatti molto antico: già ad inizio Novecento, infatti, la regione aveva dato i natali a numerosi movimenti di resistenza anticoloniali che cercarono in tutti i modi di mantenere bassa la penetrazione francese nel territorio. Sin dal 1917, i Diola, il gruppo etnico più diffuso in Senegal, si sono opposti al regime coloniale francese.

Nel 1947, Emile Badiane, Ibou Diallo e Yéro Kandé fondarono il movimento MFDC (Mouvement des Forces Démocratiques de la Casamance), con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo dei processi democratici e il miglioramento delle condizioni di vita nell'intera regione. Questo movimento, in origine, non aveva alcuna spinta indipendentista, ma aveva il compito di favorire l'effettiva parità di trattamento sul piano sia economico che sociale della Casamance all'interno dello stato del Senegal, vista la scarsa considerazione in cui lo sviluppo di questa era tenuto. Dopo avere ottenuto l'indipendenza dalla Francia, il MFDC

smise di esistere e fu assorbito nel BDS (Bloc Démocratique Sénégalais) di Léopold Sédar Senghor, il futuro presidente del Senegal.

Non tutti i membri dell'MFDC, però, gradirono l'assorbimento all'interno del BDS: l'ala più radicale si organizzò in una forza del tutto autonoma, il MAC (Mouvement Autonome de la Casamance), ma questo movimento non aveva abbastanza finanziamenti per sostenere la causa indipendentista e per molti anni si dedicò soltanto ad allacciare contatti con i paesi confinanti come la Gambia e la Guinea che, diversamente dal Senegal, erano molto interessati ai prodotti della regione. Secondo François d'Assise Badiane, il presidente Senghor avrebbe attuato, negli anni del suo governo, una politica di accentramento in base alla quale tutte le risorse vennero dirottate su Dakar e la Casamance, considerata da sempre il "granaio del Senegal", venne utilizzata e considerata alla stregua di un "serbatoio da cui attingere liberamente e in qualunque momento".

Nel dicembre del 1982 a Ziguinchor fu organizzata una manifestazione pacifica per protestare contro l'arresto dell'allora leader del movimento MFDC (Augustin Diamacoune Senghor, abate e direttore del "Medio Seminario Nostra Signora di Ziguinchor"); dopo che questa manifestazione venne repressa col sangue, i capi del movimento rifondarono il MFDC in una nuova versione, secessionista e armata.

A partire da quel momento ebbe inizio un conflitto (dicembre 1983) che, ad oggi, ha lasciato migliaia di vittime, soprattutto fra la popolazione civile, vittima sia dei guerriglieri (saccheggiavano senza esitazione i villaggi in cerca di cibo, costringevano bambini e ragazzi ad unirsi alla guerra e nascondevano mine nelle strade più difficili da controllare) sia dell'esercito governativo (continuamente alla ricerca dei ribelli e di armi). Per tre decenni i ribelli capeggiati da Augustin Diamacoune Senghor hanno tenuto in scacco alle forze armate senegalesi, i cui ufficiali sono a tutt'oggi addestrati nelle accademie militari francesi, e hanno dato vita a una lunga campagna di attacchi mirati, instaurando nella regione un'economia di guerra.

Quando nel 2000 Abdoulaye Wade vinse le elezioni presidenziali in Senegal, promise di risolvere il problema della Casamance in cento giorni, promessa che tuttavia non riuscì a mantenere. Il 30 dicembre del 2004 il presidente Wade propose a Augustin Diamacoune Senghor un trattato di pace che prevedeva, in cambio della sospensione dei combattimenti, un vero e proprio stipendio e altri incentivi in denaro ai guerriglieri che avessero deposto le armi.

Attualmente non si può più parlare di conflitto indipendentista, ma di atti di banditismo i cui responsabili hanno perso completamente di vista gli obiettivi originari. Dopo la firma di

questo accordo, comunque, nella regione regnò per un breve periodo la pace, disturbata sporadicamente da alcuni attacchi. Quando nel 2006 Augustin Diamacoune Senghor morì, il movimento MFDC non fu in grado di mantenere l'unità e si spaccò in diversi fronti. La parte più radicale del movimento, capeggiata da Salif Sadio, tuttavia, non è mai stata a favore degli accordi di pace fatti dal precedente leader: il suo gruppo, infatti, è responsabile ancora oggi degli attacchi periodici ai danni di villaggi e contadini.

Molti in Senegal, e soprattutto in Casamance, sono convinti che la pace sia servita solo al presidente Wade per ottenere prestigio internazionale. La tregua stilata non accenna minimamente al futuro assetto politico della regione, considerata da Dakar di importanza strategica a causa dei suoi fertili terreni e delle altre risorse naturali, *in primis* le foreste che abbondano nella regione.

La situazione resta tesa, come dimostra l'eccidio di Bayotte di inizio 2018: tredici persone, tra cui alcuni adolescenti, sono rimasti uccisi in un agguato armato. L'esercito di Dakar ha da subito incolpato i separatisti armati di essere gli autori della strage, mentre l'MFDC rigetta le accuse e punta il dito soprattutto sui contrabbandieri. L'obiettivo comune è quello di evitare una nuova escalation della violenza nella regione, ma finché la tregua non si tramuterà in un serio processo di pace, in molti crederanno che solo le armi possano tenere sotto controllo la situazione, senza comunque risolvere la crisi.

Infatti, l'ultima manifestazione pacifica in Casamance è stata brutalmente repressa dalle forze dell'ordine di Dakar: la tregua armata non gode di ottima salute. Come giustamente scrive Mamoudou Tounkara, giornalista del quotidiano senegalese *Le Quotidien*, sarebbe necessario da parte dello Stato avviare in Casamance una grande offensiva pacifica di integrazione politica e sociale che porti la religione cristiana ad essere protetta dalla Costituzione e ad essere inclusa, e non esclusa, dallo stesso stato di cui fa parte. La ribellione è frutto di povertà, esclusione e sfruttamento: avviando politiche di redistribuzione della ricchezza e di convivenza politica, l'MFDC perderà progressivamente terreno. Altrimenti, avverte Tounkara, rimarrà la soluzione delle armi e in quel caso non ci sarà nessun vincitore.

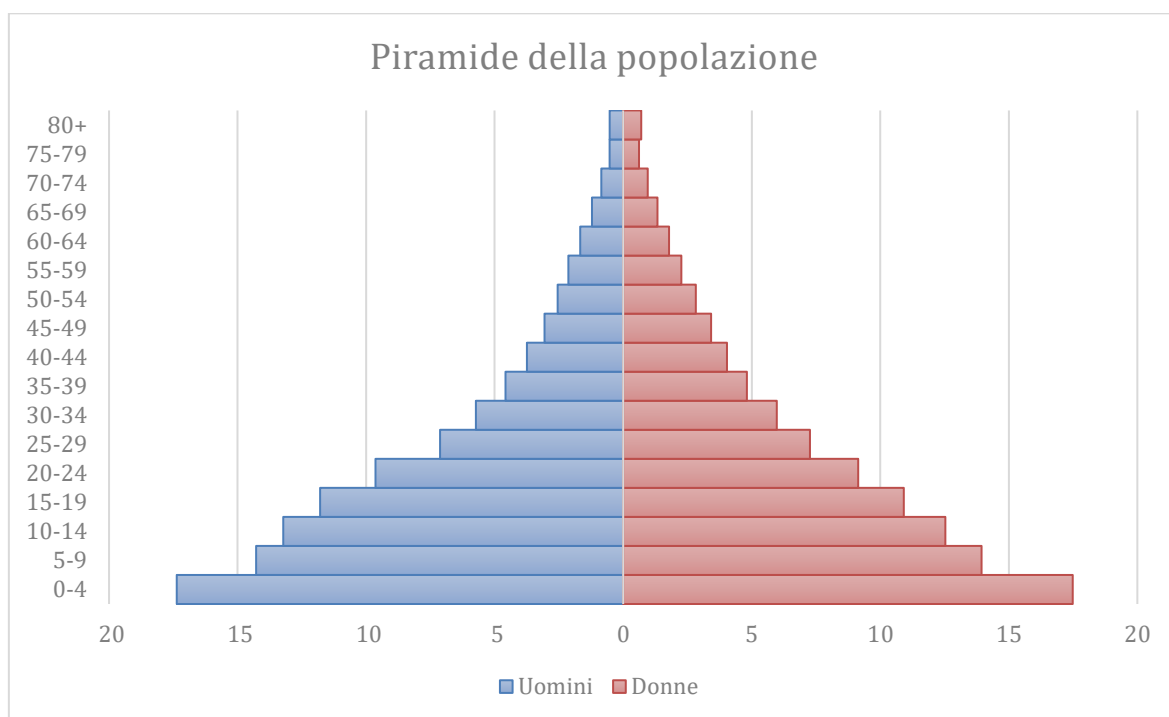
## Demografia

Tra il primo e l'ultimo censimento in Senegal, la popolazione della Casamance è più che raddoppiata. In 37 anni è cresciuta da 730.682 abitanti nel 1976, a 1.886.638 nel 2013, il che è notevole per una regione prevalentemente rurale.

I dati utilizzati per l'analisi di questo capitolo si basano sull'ultimo censimento del 2013 effettuato da la "Direction des Statistiques Démographiques et Sociales" nel 2017.

La struttura demografica, come quella del paese, mostra l'importanza della popolazione giovane, con un alto livello di fertilità (Figura 5).

In effetti, il 55,8% della popolazione ha meno di 20 anni. La popolazione adulta (20-49 anni) rappresenta il 34,3% e la popolazione di età pari o superiore a 50 anni è del 9,9%. L'importanza relativa della popolazione adulta dovrebbe, in linea di principio, costituire un vantaggio per la disponibilità di manodopera agricola nelle zone rurali.



**Figura 5: Dinamica di popolazione della Casamance, ricavati da la "Direction des Statistiques Démographiques et Sociales" del 2017.**

La distribuzione spaziale della popolazione in Casamance ha attirato l'attenzione di numerosi autori (Thomas, 1959, Pélissier, 1958 e 1966, Loquay, 1985, Cormier-Salem, 1992), i quali hanno dimostrato l'esistenza di forti relazioni tra l'occupazione dello spazio e la distribuzione della terra adatta alla coltura del riso. Un villaggio Diola è infatti organizzato e si sostiene sulla base della risicoltura. Questa forma strategica di insediamenti umani

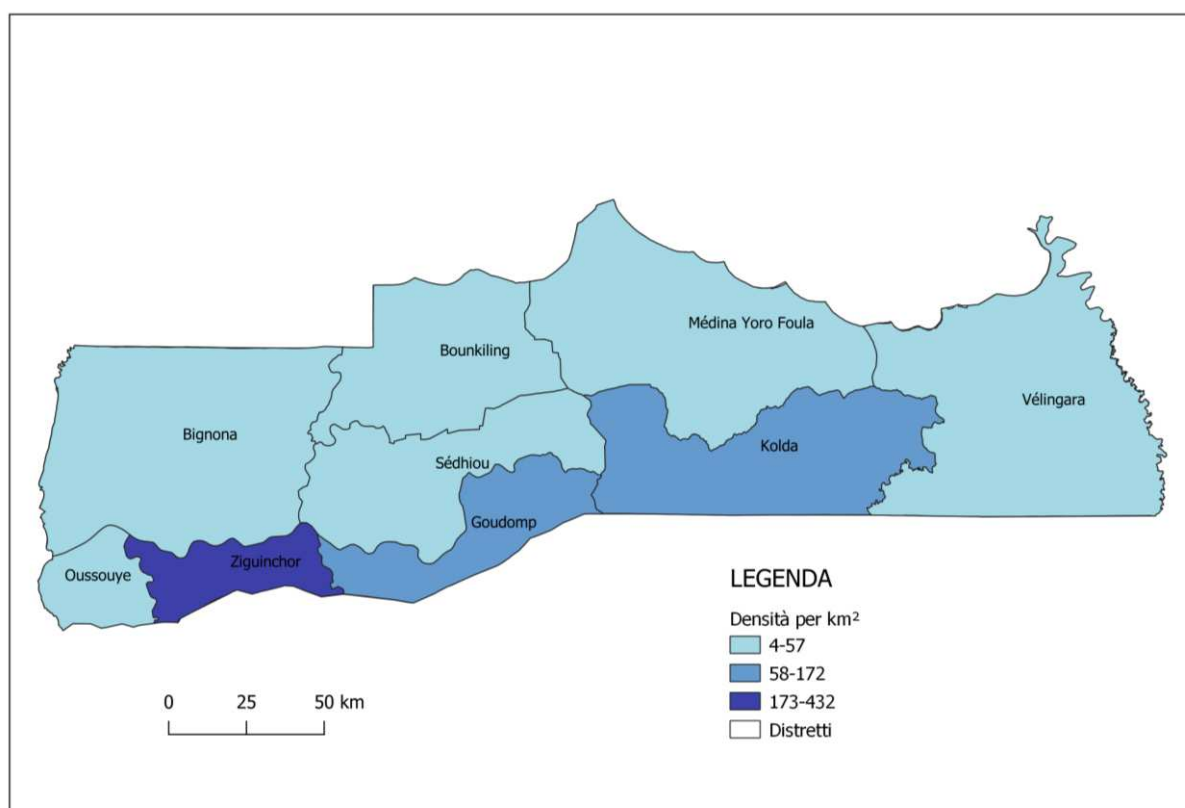


nell'area della Casamance e le relative attività agricole, ha contribuito all'importanza relativa delle densità e distribuzione della popolazione.

Le statistiche demografiche dei vari censimenti (1976, 1988, 2002 e 2013) mostrano che la Casamance rimane, nonostante le vicissitudini del conflitto armato, una delle aree più popolate del paese. Con una popolazione media di 75 abitanti per km<sup>2</sup> nel 2013, supera di sei punti percentuali la media nazionale di 69 abitanti per chilometro quadrato.

Questo tasso relativamente elevato, tuttavia, nasconde molte disparità all'interno della regione. In effetti, da un distretto all'altro, le cifre variano in proporzioni talvolta considerevoli che riflettono forti disuguaglianze nell'occupazione umana dello spazio in Casamance.

La mappa della densità (Figura 6) rivela un'alta concentrazione umana nel distretto di Ziguinchor, con densità generalmente superiori a 179 abitanti per km<sup>2</sup>, una media concentrazione nei distretti di Kolda e Goudomp e una bassa densità, minore di 57 abitanti per km<sup>2</sup>, nei restanti distretti.



*Figura 6: Mappa delle densità demografica suddivisa per dipartimenti, realizzata in GIS tramite i dati raccolti dei censimenti.*

In generale, si può vedere che i centri di alta concentrazione umana si trovano lungo gli assi fluviali o vicino alle risaie; questa situazione è legata all'importanza della coltivazione

del riso tra queste popolazioni (Pélissier, 1966). Nella maggior parte di queste aree densamente popolate, ci sono corone quasi continue di grandi villaggi alla periferia degli altipiani, dove si trova il contatto tra le terre ben drenate ai bordi della foresta da un lato e dall'altra parte terreni allagati dove sono predominanti le mangrovie.

In generale, gli altipiani intorno alle valli fluviali, le piane mareali e gli agglomerati urbani, sembrano essere le aree più densamente popolate, mentre gli ambienti insulari e gli altipiani più aridi lontani dall'acqua sono meno densamente popolati.

### *Principali attività economiche generatrici di reddito*

La Casamance è caratterizzata principalmente da un'economia basata sul settore primario e sul turismo.

Nelle valli prospicienti il corso del fiume Casamance e dei suoi affluenti, la coltivazione del riso è l'attività principale praticata. Nei campi situati sul terrazzo più alto, invece, è praticata l'orticoltura (verdure, lattuga), la frutticoltura (anacardi, mango, agrumi), in parte la cerealicoltura e la produzione di olio di palma.

L'agricoltura è la prima risorsa di questa regione; la coltivazione del riso è rigorosamente manuale e viene utilizzato un solo strumento tradizionale, il kadiendo (Figura 7) per l'aratura del terreno. Da luglio ad agosto viene arato il terreno da parte degli uomini, a settembre viene trapiantato il riso e a dicembre viene raccolto dalle donne.

La Casamance è inoltre ricca di risorse alieutiche. Gli sbarchi di prodotti della pesca nella regione di Ziguinchor sono stati stimati a 64.810 tonnellate nel 2017, con un valore commerciale stimato di 35 milioni di euro. La pesca marittima è una voce importante per l'economia Nazionale e della regione, ma la sua gestione potrebbe essere ampiamente ottimizzata.

L'attività di cattura, sia in mare che nelle acque interne, riguarda granchi, aragoste, ostriche di mangrovie, code di rospo, sogliole, ecc.

La caccia si limita al bracconaggio con arco o fucile: daini, scimmie, selvaggina e uccelli.



*Figura 7: Gruppo di uomini che ara il terreno con il kadiendo nella regione di Ziguinchor (foto di Olivier Epron Olivierkeita, 2009)*

Dall'inizio del conflitto di Casamance nel 1982 tuttavia la produttività della regione è notevolmente diminuita. La persistente incertezza politica e le vaste distese di mine antiuomo (che hanno già causato oltre 1.000 vittime) impediscono lo sfruttamento dei campi. Lo stato senegalese si è impegnato a sminare la Casamance prima del 2021, ma la presenza di ribelli a favore dell'indipendenza e la mancanza di finanziamenti impediscono il regolare svolgimento di queste operazioni.

Il turismo è ora l'attività economica più importante della Casamance e ci sono molti campi turistici gestiti dai villaggi o dai locali che consentono un turismo alla scoperta dei luoghi, che sono principalmente nell'entroterra. I settori di Kafountine e Cap Skirring sono le zone balneari più belle del Senegal, con offerta di alloggio di tutte le categorie. Quest'ultima località è famosa, tanto per le sue spiagge paradisiache, considerate le più belle di tutta l'Africa occidentale, quanto per la presenza da 35 anni di un villaggio 4 Tridenti Club Méditerranée.

Dall'inizio degli anni 2000, molte strutture ricettive di tutte le categorie, dal semplice campo integrato gestito dalla popolazione locale, agli hotel di lusso a cinque stelle, hanno fatto sì che Cap Skirring diventasse la seconda più grande stazione balneare del Senegal e la prima per bellezze naturali. Il turismo sostiene direttamente o indirettamente il 6,4%

della popolazione attiva di Casamance. Dal 2018, l'intera Casamance conta circa quaranta hotel, 87 campi e locande in attività.

Anche la silvicoltura è un'importante attività di sussistenza in questa regione, il legname pregiato delle foreste viene utilizzato per la realizzazione di mobili esportati in tutto il mondo.

Si è formata tuttavia col tempo un'economia di guerra, a beneficio in particolare delle varie fazioni ribelli della Casamance. Sfruttando eccessivamente legni pregiati e colture di canapa, finanziano autonomamente i loro armamenti e ottengono una relativa indipendenza dai donatori stranieri.

Tra il 2010 e il 2015, circa 10.000 ettari di foresta sono andati in fumo. Un'ecatombe dovuta principalmente alle attività di una mafia cinese molto organizzata che saccheggia le foreste della Casamance. Queste attività non si limitano alla Casamance, ma includono i paesi vicini, Gambia e Guinea-Bissau

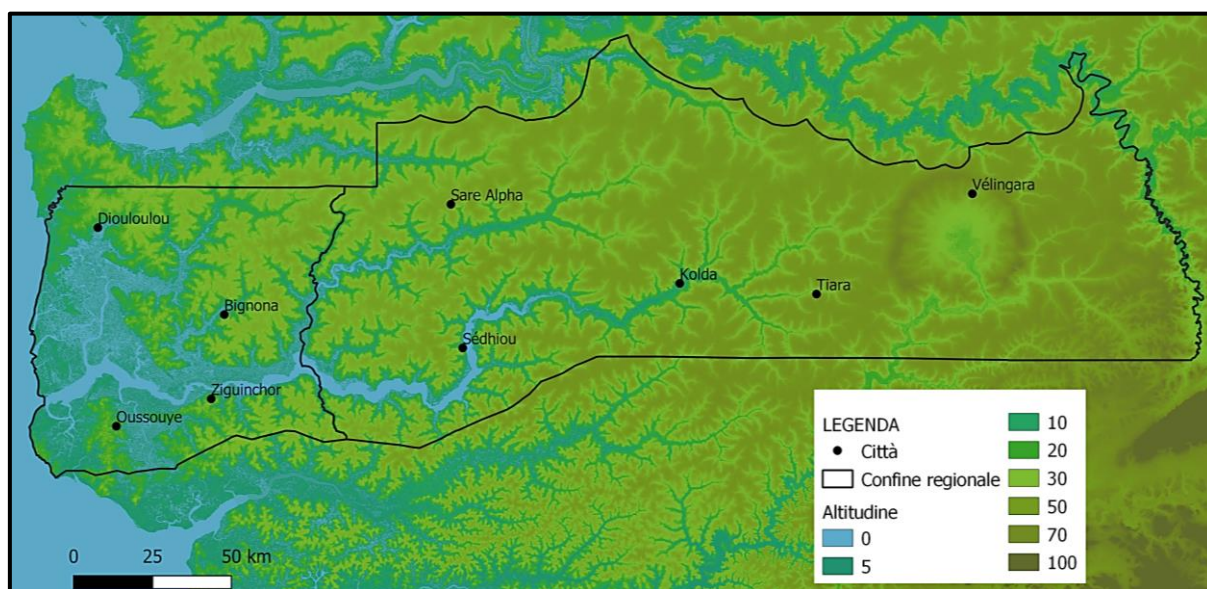
## STRATEGIE DI APPROCCIO ALLO STUDIO

### RASSEGNA DEI DATI TOPOGRAFICI, MORFOLOGICI E GEOLOGICI

La Casamance appartiene al dominio climatico sud-sudanese ed è questo uno dei principali fattori che spiegano la diversità dei suoli e la ricchezza delle risorse delle acque superficiali in tutta l'area di studio. Situata nel mezzo della transizione tra i domini marittimo e continentale, questa regione occupa il sito del vasto bacino sedimentario senegalese-mauritano-guineano. Il bacino è indeformato e quindi il territorio che ne deriva ha un minimo rilievo (Figura 8).

La bassa topografia e la debole pendenza hanno da sempre favorito la penetrazione delle acque marittime nell'entroterra, trasformando la pianura costiera della Casamance accanto all'omonimo fiume, in una vasta distesa di terre fertili idonee per secoli alla coltivazione del riso.

La morfologia del territorio casamancese si è sviluppato nel corso dell'Olocene per effetto combinato dei processi mareali che hanno modellato la forma dell'estuario e il deflusso delle acque di precipitazione, spesso manifestatosi sotto forma di alluvioni e piene lampo (Pélissier, 1966). Lo sviluppo delle risaie è avvenuto a discapito dei mangrovi che sono stati rimossi per fare loro spazio. Questo sviluppo si è esteso a tutto il corso del fiume Casamance dalla foce fino alle regioni più interne del sistema fluviale (Montoroi, 1996).



*Figura 8: Rilievo topografico del Casamance, realizzato in GIS tramite i dati forniti dall' Agence nationale de l'Aménagement du Territoire*

Il bacino senegalese-mauritano-guineano è un grande bacino sedimentario costiero di margine continentale passivo. È delimitato a nord dalla dorsale di Reguibat, ad est e sud-est dalla catena delle Mauritanidi, a sud dal bacino di Bove. Ha una lunghezza massima di 1.300 km (dalla Mauritania alla Guinea Bissau), ed una larghezza massima di circa 550 km alla latitudine di Dakar.

Il bacino costiero accumula, sopra il cratone dell'Africa occidentale, una potente serie di sedimenti di origine prevalentemente marina, che inizia nel Triassico superiore-Giurassico inferiore e termina nel Miocene. Dal limite orientale del bacino, nei pressi di Bakel, i depositi si ispessiscono verso ovest, all'inizio in modo graduale, poi rapidamente in corrispondenza di una flessura del basamento situata tra 15°30'W e 16°30'W; il cuneo sedimentario raggiunge a Dakar una profondità di oltre 6.000-7.000 metri e all'altezza della Casamance si ritiene superi gli 8000 m.

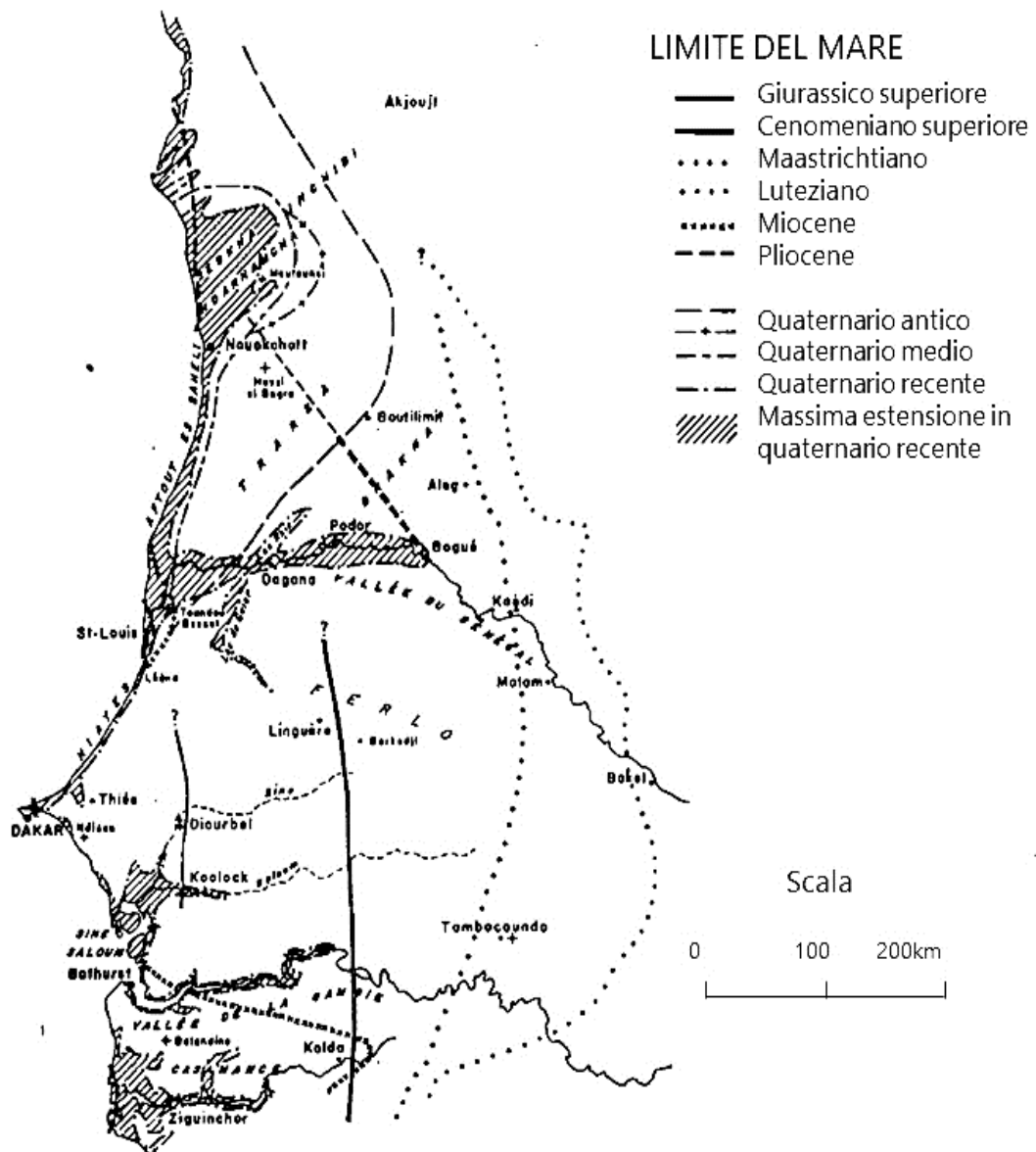
In Senegal, la serie meso-cenozoica affiorante si limita ai termini stratigrafici più recenti, intercettando il Campaniano solo marginalmente; il Maastrichtiano invece, nonostante la presenza di una potente copertura lateritica, è rinvenibile nell'Horst di Ndiass.

La serie cenozoica affiora molto più frequentemente: è esposta nelle falesie della Penisola di Capo Verde, in quelle ad ovest ed a sud di Thiès e marginalmente nel Sine, dove si rinviene soprattutto in pozzi; gli affioramenti più interessanti si trovano lungo la costa Atlantica.

Nell'area centrale ed orientale del bacino, le formazioni del substrato sono mascherate dalla coltre lateritica del Terziario superiore, e a nord-ovest, da depositi eolici del Quaternario. I soli affioramenti terziari conosciuti sono limitati alle rive del lago di Guier ed all'alta valle del fiume Senegal, nella regione di Matam, dove prende il nome di "Formazione di Saloum" (nota come "arenarie del Continental Terminal" fino al 2009); questi sedimenti sigillano e nascondono gran parte della serie marina del Paleogene. In Casamance, dati ricavati da perforazioni indicano come la serie marina continui sino al Miocene.

### *Depositi post-eocene.*

Durante l'Oligocene, è documentata una regressione del mare che anticipa una nuova trasgressione che ne ha riportato il livello fino al limitare del golfo luteziano, dall'inizio del Neogene fino alla fine del Miocene, periodo in cui il mare formò solo un piccolo golfo nella Bassa Casamance tra Balandine e Ziguinchor (Michel P., 1973) (Figura 9). I depositi miocenici del golfo di Casamance studiati da Gorodiski (1958) sono costituiti da sedimenti sabbiosi e argillosi, intercalati a letti di calcare nella parte marina del bacino.



**Figura 9: Trasgressione marina post-mesozoica (modificata da Michel P. 1973)**

Durante il Miocene si verifica un'importante fase tettonica fragile (Figura 10), con sviluppo di un reticolo coniugato di fratture e faglie di direzione N50°, N130° e N80°-N 90°, N160° e 180°. Questo sistema di fratture influenzerà fortemente l'idrografia (Louis Berger International, 1980; Priol, 1983; Saos, J.L. e Li, 1988).

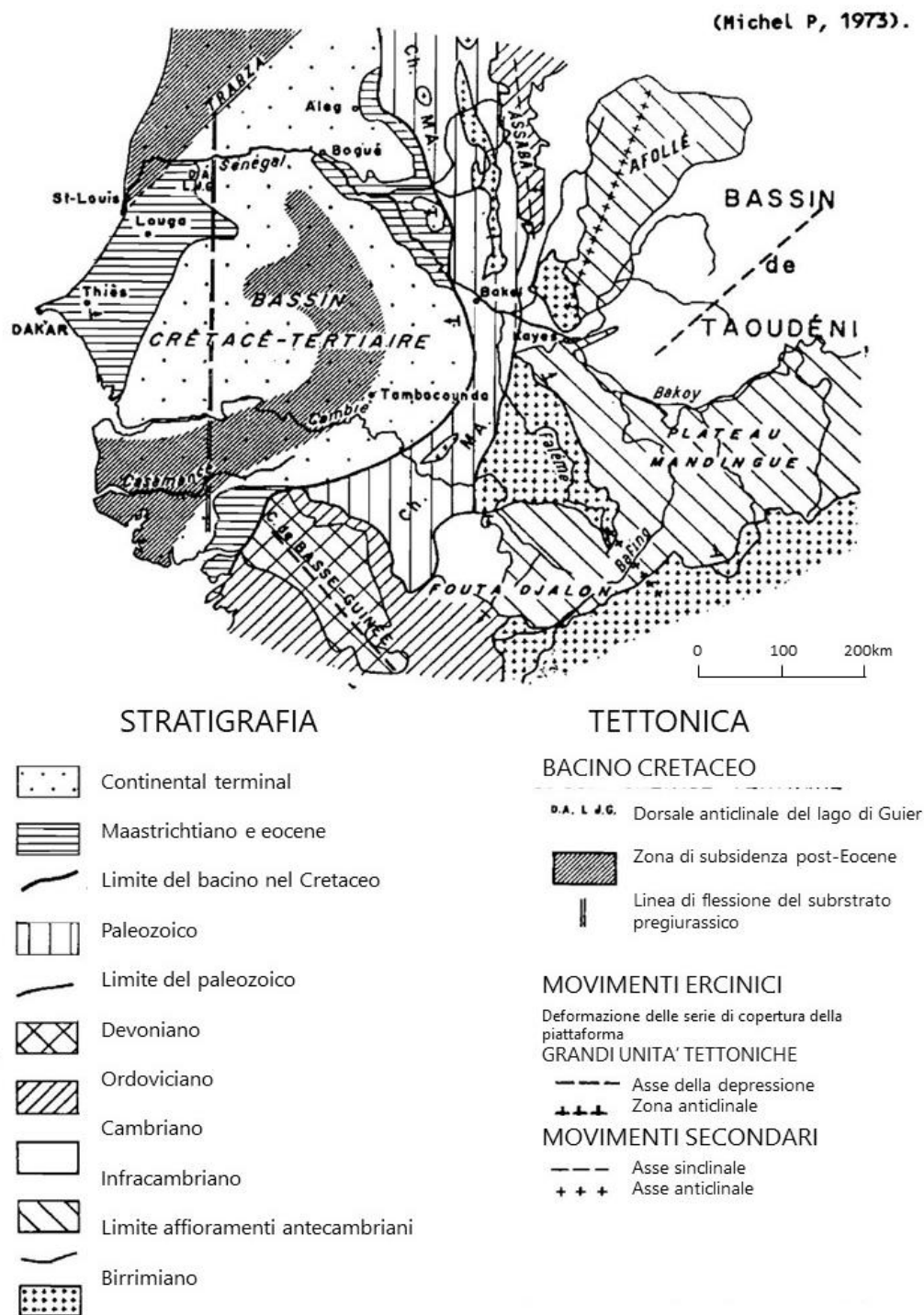


Figura 10: Carta geologica schematica del Senegal, semplificata (modificata da Michel P. 1973)

### *Evoluzione quaternaria recente*

Le formazioni quaternarie recenti occupano un posto importante nell'evoluzione geologica del bacino casamancese, specialmente nella sua parte estuarina, come molti autori hanno sottolineato (Viellefont J., 1974, Kalck Y., 1978, Sall M., 1983, Marius C. 1984, Pimmel A.



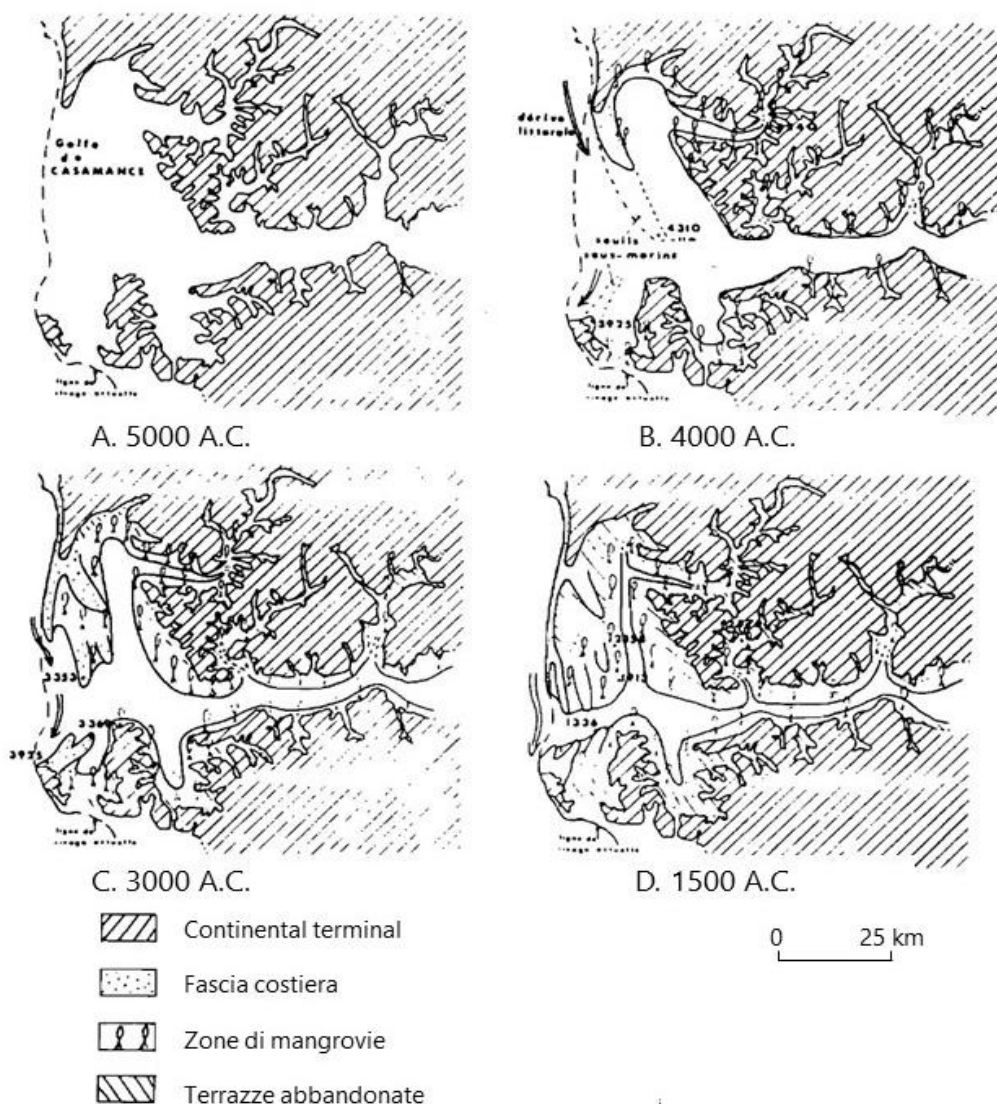
1984, Aubrun A. 1988). Questa evoluzione ha avuto luogo in quattro fasi principali (Figura 11):

1 - La trasgressione olocenica, iniziata intorno al 6540 a.C. in Casamance che raggiunge il suo massimo intorno al 5500 a.C.; essa crea un vasto golfo a ovest di una linea Diouloulou-Ziguinchor (Fig. 11 A);

2 - Tra il 3900-3500 a.C. si stabilisce una corrente litoranea oceanica lungo costa che gradualmente chiude il Golfo con una serie di cordoni litorali (Fig. 11 B);

3 - Intorno al 3000 a.C. il Golfo di Casamance si trasforma in una grande laguna ai margini della quale si sviluppano mangrovieti (Fig. 11 C);

4 - Intorno al 1500 a.C. la Casamance assume la sua configurazione attuale (Fig.11 D).



**Figura 11: Evoluzione del golfo di Casamance nell' Olocene (modificata da Kalck Y. 1978)**

L'evoluzione del golfo olocenico localizzato in corrispondenza dell'attuale estuario del fiume Casamance sarebbe il risultato dell'associazione di due sistemi deposizionali: il primo è rappresentato dall'accrescimento di cordoni litorali che, sotto l'influsso delle correnti litoranee, chiudono il golfo; il secondo, è il risultato dell'aggradazione delle piane mareali inter- e sopra-tidali che hanno gradualmente interrato la laguna dando luogo alla morfologia attuale.

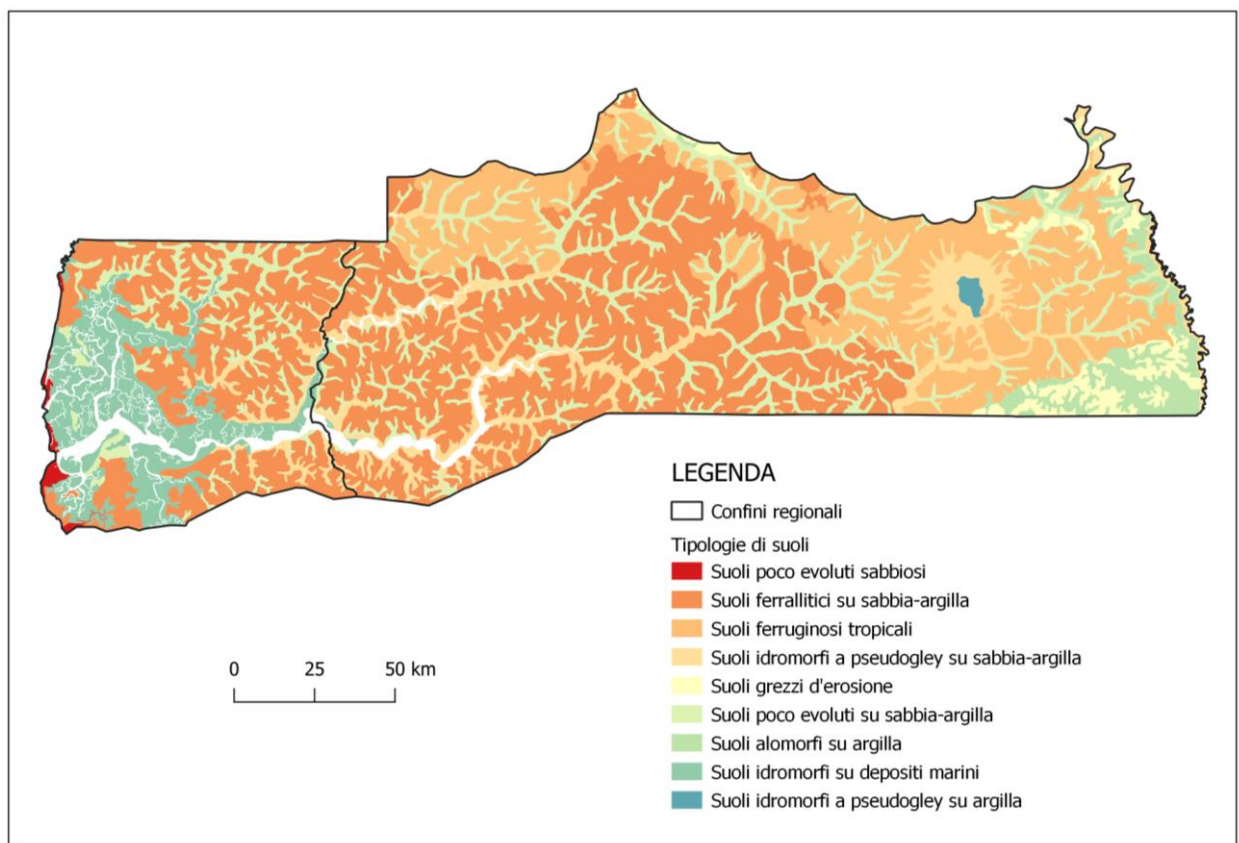
Questa lunga evoluzione geologica dal Mesozoico all'Attuale ha dato luogo a due principali regioni geomorfologiche:

- l'entroterra (Casamance centrale e superiore) formato dall'altopiano del Continental Terminal
- la zona costiera (Bassa Casamance) nella quale l'influenza marina è permanente.

## ELEMENTI DI PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE DEI SUOLI

Le attuali caratteristiche geologiche e geomorfologiche della Casamance sono il prodotto di sedimentazione mesozoico-cenozoica lungo il margine continentale atlantico (Bacino Senegalese-Mauritano-Guineano) che registra una lunga serie di trasgressioni e regressioni frutto di variazioni climatiche, circolazione oceanica e tettonismo distensivo. Conseguenza di questa storia geologica è la distribuzione dei terreni affioranti e le forme del modellamento; assetti geologico e geomorfologico dai quali discende la natura e l'attuale distribuzione spaziale dei diversi tipi di suolo.

Le principali tipologie di suolo presenti in Casamance sono rappresentate in Figura 12.



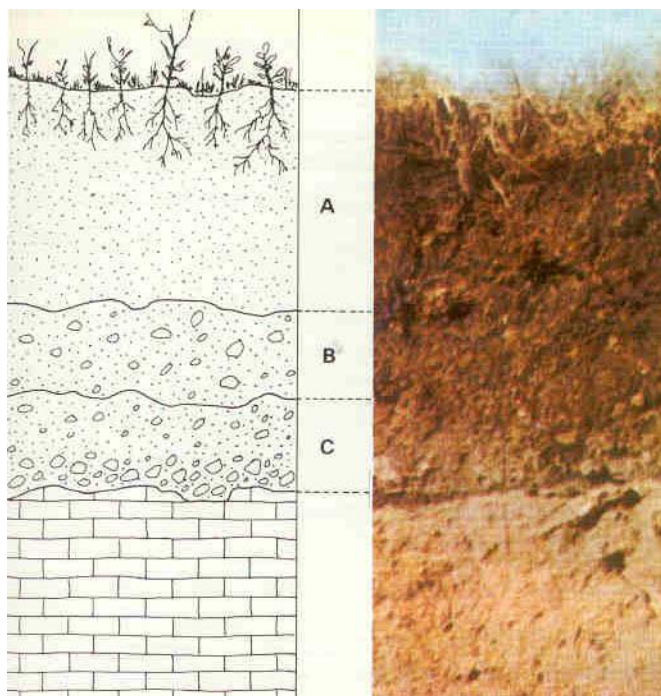
*Figura 12: Classificazione e distribuzione dei suoli nella regione della Casamance, secondo i dati acquisiti dal Database del Suolo e del Terreno per il Senegal e la Gambia (SENSOTER ver. 1.0).*

La mappa di Figura 12 è ricavata dai dati pedologici contenuti nel Database del Suolo e del Terreno per il Senegal e la Gambia (SENSOTER ver. 1.0) e dal database dei profili del suolo ISRIC-WISE.

Ogni tipologia di suolo è caratterizzata da un profilo-tipo codificato secondo la classificazione FAO-UNESCO (1988).

### *Suoli grezzi d'erosione*

I suoli minerali grezzi hanno un profilo fortemente immaturo rappresentato dal solo orizzonte C (Figura 13), vale a dire un orizzonte costituito essenzialmente da detriti rocciosi scarsamente decomposti, senza tracce di materia organica.



*Figura 13: Gli orizzonti A, B, e C rappresentano il profilo del suolo secondo la notazione elaborata da Vasily Dokuchaev (1846–1903), il padre della pedologia: A è l'orizzonte sommitale, composto di particelle minerali, sostanza organica, aria e acqua; B è l'orizzonte di regolite, materiale detritico eterogeneo che ricopre il substrato roccioso; C è l'orizzonte di saprolite, un tipo di regolite poco alterata. Sotto lo strato di saprolite c'è il substrato roccioso inalterato.*

Questi suoli sono spesso chiamati scheletrici in quanto contengono solo la parte detritica clastica: la loro evoluzione generalmente molto scarsa deriva da un clima troppo secco o da particolari condizioni ambientali (gioventù estrema, materiali del substrato molto resistenti, ecc.).

In Casamance si osservano solo suoli minerali grezzi, non climatici, di erosione: questo gruppo è composto da suoli i cui materiali detritici vengono costantemente eliminati dal vento o dall'acqua di ruscellamento man mano che si formano. Le rocce del substrato sono quindi continuamente denudate ed esposte a nuova alterazione.

### *Suoli poco evoluti su sabbia e argilla*

I suoli poco evoluti mostrano un profilo costituito dai soli orizzonti A e C: il primo contenente materia organica scarsamente decomposta in superficie, il secondo costituito da materiali saprolitici con alterazioni minime o nulle.

In Senegal sono rappresentati solo suoli con scarsa evoluzione, di origine non climatica, suddivisi in due gruppi: a) da erosione, b) scarsamente evoluti e c) d'apporto. Nella Casamance sono maggiormente rappresentati suoli appartenenti alla seconda categoria: si osservano su depositi colluviali recenti e su barre sabbiose di origine alluvionale.

Si tratta di terreni giovani, con un profilo incompleto, leggermente umiferi in superficie, sporadicamente allagati nella stagione delle piogge. Sono usati come pascolo all'inizio della stagione secca e sono solo di interesse agronomico locale per un possibile raccolto di riso alluvionale.

### *Suoli poco evoluti su sabbia*

In Casamance, questi suoli si sviluppano sui depositi grossolani sabbiosi prevalenti nelle zone di estuario: essi sono generalmente piuttosto umiferi in superficie, da 10 a 20 cm, con tracce di idromorfia in profondità. Hanno una vegetazione erbacea naturale e, quando coltivati, subiscono una rapida ossidazione del materiale organico assumendo una colorazione grigio scura.

### *Suoli ferruginosi tropicali*

Morfologicamente, i suoli ferruginosi possiedono un profilo evoluto con ben definiti orizzonti A, B e C.

I confini tra gli orizzonti sono ben chiari e distinti: l'orizzonte di superficie è di colore scuro, da grigio scuro a nerastro; il colore dei più sottili orizzonti sottostanti invece assumono tonalità giallastre. Una caratteristica importante è la differenza di colore tra i terreni asciutti e umidi (riduzione di 2-3 unità in valore e intensità).

La classificazione dei suoli ferruginosi si basa sull'intensità della lisciviazione del ferro e dilavamento dei minerali argillosi dagli orizzonti di superficie a quelli profondi. Questi processi provocano la formazione di un orizzonte di illuviazione dell'argilla il quale, durante la stagione delle piogge, veicola la redistribuzione e l'immobilizzazione dei sesquiossidi di ferro.

I suoli ferruginosi tropicali hanno un orizzonte B di composizione argillosa chiaramente identificabile che arriva a saturazione nella stagione delle piogge.

### *Suoli ferrallitici su sabbia-argilla*

I terreni ferrallitici sono morfologicamente caratterizzati da un profilo poco differenziato, con orizzonti malamente riconoscibili. Si tratta di suoli molto spessi (a volte più di 10 metri), di varie colorazioni con predominanza del rosso e giallo accesi.

Le alterazioni del substrato sono molto intense e conducono alla scomparsa quasi completa dei minerali delle rocce madri, lasciando il posto ad una miscela di proporzioni variabili, caolinite, sesquiossidi di ferro e alluminio, quarzo più o meno alterato e minerali pesanti particolarmente resistenti.

Questa famiglia di suoli è rappresentata in tutte le cosiddette "terre de barre", ubicate a SW del Senegal, nella regione di Niombato, nella Bassa Casamance a Sedhiou e a sud di Kolda, con una piovosità media di 1000/1100 mm/anno.

### *Suoli alomorfi su argilla*

Si tratta di suoli con profilo AC, affetti da vari tipi di salinità (suoli salini, salino-sodici e sodici).

Essi sono ben rappresentati nella Casamance bassa e media, dove sono distribuiti dietro al margine delle piane fangose mareali, nel fondo delle valli o ai piedi delle pendici delle "terre de barre".

Si tratta di terreni soggetti all'influenza mareale, molto umidi per gran parte dell'anno, ricoperti da una fitta vegetazione erbacea. Sono intensamente sfruttati per la coltivazione del riso irrigato. Il materiale del substrato sui quali si impostano è di solito un vecchio deposito di argilla di palude, o magrovieto, o sabbia colluviale più o meno contaminata.

### *Suoli idromorfi*

Questa classe raggruppa i suoli la cui evoluzione è dominata dalla presenza nel profilo di un eccesso di acqua interstiziale, almeno durante alcuni periodi dell'anno. Questa acqua in eccesso può essere dovuta a una falda acquifera permanente (gley) o semplicemente da un ristagno temporaneo (pseudo-gley).

### *Suoli idromorfi su depositi marini*

Si tratta di suoli a gley ricoperti di mangrovie che sono sommersi da acqua salmastra e consistono nella sedimentazione di colloid minerali e organici, spinti dal deflusso che flocculano a contatto con l'acqua di mare.

Sono coperti con stand di mangrovie che vengono sfruttati per il loro legname. In Bassa Casamance, questi terreni sono ampiamente utilizzati nella coltivazione del riso.

### *Suoli idromorfi a pseudogley su argilla*

Questa categoria comprende terreni estremamente vari, generalmente osservati su depositi alluvionali più o meno recenti.

I suoli di questo gruppo sono relativamente giovani e segnati da alluvioni stagionali e ampie fluttuazioni nella falda freatica (>2 m). Questi effetti di idromorfia temporanea si manifestano nei vari orizzonti del suolo attraverso una segregazione più o meno spinta di sesquiossidi di ferro e/o manganese, sotto forma di macchie, striature o concrezioni più o meno indurite.

I suoli appartenenti a questa famiglia, relativamente comuni nelle pianure ma su piccole aree, sono presenti solo tra Vélingara e Kounkane.

Il valore agronomico di questi terreni è nella media; essi sembrano essere in grado, quando non sono troppo limosi in superficie, di essere adatti alla coltivazione del riso.

### *Suoli idromorfi a pseudogley su sabbia-argilla*

I suoli di questo sottogruppo interessano substrati a componente sabbiosa, e sono caratterizzati da sedimenti ferrosi lisciviati con concrezioni o pseudo-gley. Si distinguono per variazioni meno pronunciate del profilo e tracce di pseudo-gley nell'orizzonte dell'humus.

I suoli idromorfi in genere sono fortemente influenzati dall'idrologia sotterranea che prevale nella stagione delle piogge, senza essere necessariamente allagati. La loro evoluzione è controllata dalla comparsa di una falda freatica temporanea a possono adattarsi perfettamente alla coltura del riso.

## ANALISI DI USO DEL SUOLO

La carta tematica di Figura 14 descrive la distribuzione dell'uso del suolo a scala regionale, utilizzando i dati del "Senegal Land Cover Mapping" realizzato dalla FAO nel 2008. La legenda adottata consiste di 55 classi; la cartografia è stata realizzata applicando la metodologia LCCS FAO ad una copertura di immagini ETM Landsat datate 2005. Per affinare l'interpretazione, l'analisi è stata integrata da osservazioni di foto aeree donate da USGS e di immagini ad alta risoluzione di Google Earth.

Dalla rappresentazione cartografica si osserva una chiara zonazione su base altimetrica: le pianure tidali sono caratterizzate da mangrovieti, soprattutto nell'area dell'estuario del fiume e a queste aree sono spesso associate risaie e zone coltivate ad arachidi, miglio e mais.

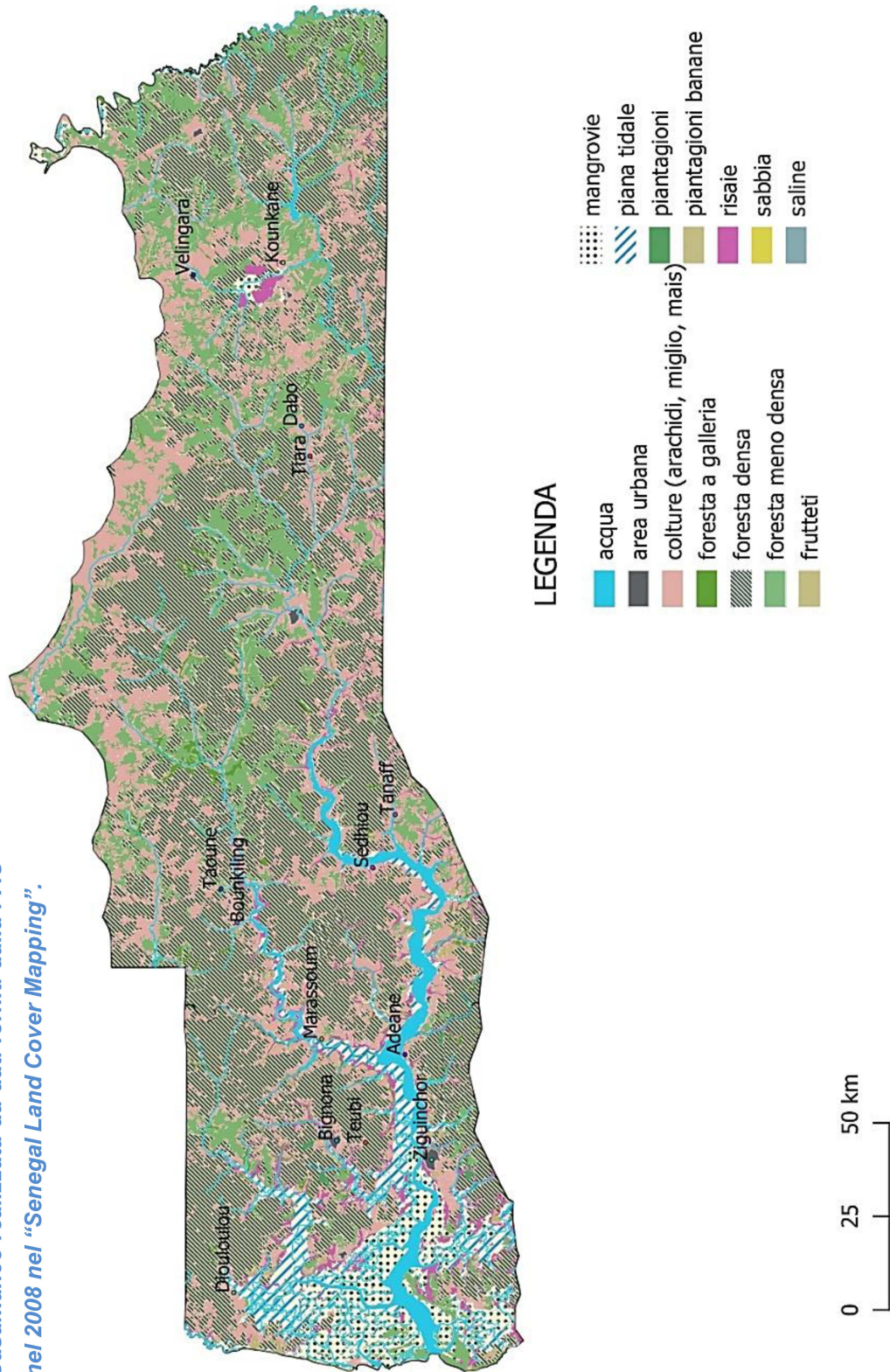
La foresta occupa buona parte della regione, sia essa densa che a galleria, maggiormente sviluppata nella porzione centrale e orientale sede delle foreste di Guimara e Pata. Tuttavia, l'espansione agricola ha portato alla frammentazione delle savane e dei boschi, sostituendo le distese ininterrotte dell'habitat naturale con un mosaico di campi coltivati e paesaggi naturali, interrompendo la continuità dei residui ecosistemi naturali. Inoltre, la rapidità dell'espansione delle aree coltivate è aumentata tra il 2000 e il 2013, raggiungendo i 630 km quadrati in media all'anno. Rispetto ai 25 anni precedenti in cui l'incremento medio annuo delle aree coltivate è stato modesto (circa 10 km quadrati all'anno), l'incremento di utilizzo delle aree agricole è quasi centuplicato.

A seguito dell'espansione agricola in Africa, le savane del Sahel e del Sudan sono diminuite di 8.200 km<sup>2</sup> nell'arco di mezzo secolo, con una riduzione del 6,3% della loro area. Le aree boschive sono diminuite nello stesso arco di tempo, di 3.160 km<sup>2</sup> (-42%). Le foreste a galleria, sviluppate lungo gran parte della rete di drenaggio del Senegal e note per la loro biodiversità, hanno registrato un calo del 19%. Tuttavia, la maggior parte della riduzione delle foreste a galleria della regione sembra essere avvenuta prima del 1975 (Tappan *et al.*, 2004).

Il volume "Ecoregions and land-cover trends in Senegal" di G.G. Tappan *et al.* (2004) riporta un'analisi dell'uso del suolo di tutto il territorio senegalese, sottolineando i cambiamenti a lungo termine nell'uso delle risorse naturali del Senegal, utilizzando immagini satellitari e aeree, e validazioni sul campo, nell'arco degli ultimi 40 anni. Sulla base di quest'opera, il Senegal è stato suddiviso in eco-regioni, due delle quali sono rappresentate in Casamance: l'eco-regione della Casamance continentale e quella tipica delle zone estuarine.



Figura 14: Carta di uso del suolo della regione Casamance realizzata da dati forniti dalla FAO nel 2008 nel "Senegal Land Cover Mapping".



## *Casamance continentale*

La Casamance è nota per la sua vegetazione tropicale, i lussureggianti paesaggi boscosi, le valli contornate da palmeti e le risaie. Questi tratti le conferiscono una personalità unica, nettamente diversa dalle regioni semiaride più a nord.

La Casamance mostra segni di un'importante trasformazione potenzialmente irreversibile nell'uso del suolo e nella copertura del suolo, paragonabile alla drammatica evoluzione che ha riconfigurato la regione agricola del Saloum (regione del Senegal immediatamente a nord della Gambia) dagli anni '30 agli anni '90.

Gli ecologi senegalesi si stanno già riferendo a parti della Casamance orientale e centrale come "l'area compromessa", le cui risorse biologiche stanno rapidamente soccombendo alle pressioni dell'espansione della coltivazione e della produzione di carbone nella regione di Saloum. Le precipitazioni annuali sono di sostegno alla savana boscosa decidua di tipo sudanese e ai boschi su gran parte della regione.

Nelle numerose riserve forestali e aree di minima attività umana, queste formazioni floristicamente ricche ed eterogenee mantengono livelli di copertura arborea d'alto fusto del 20-50%. Le più alte densità di foreste si verificano nell'estremo est (Dipartimento di Velingara) e nell'estremo ovest (Dipartimento di Ziguinchor).

Le condizioni naturali sono favorevoli a varie attività agricole, tra cui riso, miglio, mais, arachidi e cotone, nonché l'allevamento di animali e colture di alberi, in particolare mango e anacardi. Negli ultimi anni la produzione dell'agricoltura è stata potenziata dall'espansione della produzione di cotone nella regione di Kolda e coltivazione del riso nel bacino di Anambé.

Tra il 1965 e il 1999, nessun cambiamento evidente è stato riscontrato nella copertura del suolo e nella densità della copertura arborea, nelle zone in cui l'attività umana è stata limitata, specialmente su alcuni degli altopiani remoti del sud-est. Tuttavia, la copertura e la diversità delle specie arboree stanno diminuendo rapidamente in alcune parti della metà orientale dell'eco-regione della Casamance continentale a causa della produzione di carbone e dell'espansione agricola. Gli agricoltori della regione di Saloum si stanno insediando nelle riserve forestali di Guimara e Pata. Nel 1999, il 4,6% della Foresta di Guimara e il 28,8% della Foresta di Pata sono stati convertiti in agricoltura, alimentando le tensioni tra l'agro-pastorizia locale e i recenti migranti (Tappan G. *et al.* 2004)

I principali cambiamenti riguardano infatti la gestione delle risorse: agricoltura e silvicoltura. In primo luogo, le aree boschive sono aumentate grazie alla ricrescita delle foreste dopo gli incendi, gli alberi di anacardi sono aumentati molto fortemente negli ultimi 15 anni e in alcuni campi, dopo esser stati abbandonati, la vegetazione è ritornata spontaneamente.

Dall'altro lato, la conversione da area boscosa a non boscosa è spiegata da due fattori: il primo è la conversione in campi per la produzione di riso o arachidi; il secondo è dato dal degrado delle foreste per l'utilizzo insostenibile del legname e per l'espansione della zootecnia (allevamento dei bovini), di cui ne è esempio la "forêt classée" di Djilor.

### *Zone estuarine*

Due importanti complessi di pianure di marea ed estuari formano l'altra eco-regione che contraddistingue la Casamance (Figura 15). Queste zone umide costiere sono inondate due volte al giorno dalle acque oceaniche per effetto delle maree diurne prevalenti in questo tratto dell'Oceano Atlantico. Queste pianure mareali sono tradizionalmente colonizzate da mangrovie del genere *Rhizophora* e *Avicennia*. La copertura forestale a mangrovie dell'area intertidale è piuttosto densa e va dal 50 al 100 per cento.



*Figura 15: Una vista aerea del 1994 delle paludi di mangrovie e delle pianure di marea della regione costiera degli estuari.*

Dagli anni '70 e '80, parte della foresta a mangrovie è stata rimossa, sia nell'estuario del Saloum sia lungo il fiume Casamance. La scomparsa del mangrovieta è da imputare inoltre ad una modifica delle condizioni fisico-chimiche delle acque superficiali e di falda, che hanno subito un aumento di salinità e di acidità. Una nota positiva in questo contesto proviene dagli abitanti del villaggio di Faoye (sud di Fatick) i quali hanno notato la rigenerazione delle piante di mangrovie nelle pianure fangose a partire dal 1994: essi attribuiscono questo fenomeno a precipitazioni leggermente più alte della norma; rigenerazione che si sta verificando anche lungo il fiume Casamance inferiore.

L'analisi delle tendenze mostra che la vegetazione a mangrovie è diminuita del 25,9% dal 1968 e del 20,0 per cento dal 1984, seguita da un modesto aumento del 20,4 per cento nel 2000. I tempi di questa tendenza sembrerebbero confermare l'impatto della siccità sulle foreste di mangrovie.

La regione costiera è rappresentata da un insieme di delta ed estuari i quali ospitano una grande varietà di formazioni vegetali. Anche quest'area ha visto una diminuzione delle agro-foreste che vengono convertite in coltivazioni ad anacardi, nella Guinea-Bissau (Fazendeiro-Catarino, 2004) e da un deterioramento dei sistemi di mangrovie in Casamance (Bosc, 2005).

La Figura 16 rappresenta un'analisi incrociata delle immagini e delle mappe LANDSAT della costa sud senegalese dal 1979 al 2015. L'area studiata copre il delta del Saloum, la divisione occidentale della Gambia, la Casamance e la costa settentrionale della Guinea-Bissau. La costa che è stata considerata è una striscia larga 50–100 chilometri.

La progressione del mangrovieta è documentata principalmente nel nord e nel centro del delta del Saloum e nel centro del delta della Casamance, ovvero nei due delta nei quali, in conseguenza della salinità molto elevata, per diversi decenni si era osservata una regressione. Andrieu, (2018) e Andrieu e Mering (2008) sono stati i primi a sottolineare l'importanza di questo recente fenomeno di progressione.

Per quanto riguarda i rari fenomeni di regressione del mangrovieta a fronte della generalizzata progressione in tempi recenti, la spiegazione può essere trovata nelle fluttuazioni delle piogge e le sue conseguenze sull'idrologia e sulla pedologia degli estuari. È un dato di fatto che la siccità nel periodo 1968-1994 ha portato ad un aumento della salinità e dell'evaporazione. Sia la salinità del suolo che l'acidificazione, spiegate dall'ossidazione dello zolfo all'aumentare dell'evaporazione, portano alla mangrovia a morire naturalmente. Con il recupero delle piogge a metà degli anni '90, la lisciviazione del sale e dello zolfo hanno consentito la rivegetazione, sia di nuove piantine di Rizopora, sia di alberi e cespugli quasi morti, principalmente, di *Avicennia africana*.

In Senegal, i mangrovieti sono ecosistemi fortemente protetti, sia come Biosphere Reserve UNESCO che come parchi nazionali. Le ONG sono attive in progetti di ripiantumazione, come verrà poi spiegato in uno dei capitoli seguenti sulla limitazione degli effetti distruttivi delle piene lampo tramite il restauro delle foreste umide.

Un ulteriore processo che influenza la dinamica del mangrovieta è collegato al processo di sedimentazione. È un dato di fatto che l'espansione del mudflat in conseguenza del processo di sedimentazione mareale offre substrato idoneo alla colonizzazione da parte delle mangrovie. Se il processo di sedimentazione prosegue, il mudflat intertidale emerge gradualmente e il ciclo di inondazione mareale quotidiano si interrompe sottraendo terreno idoneo all'attecchimento delle piante. Da una decina d'anni, questi processi d'interramento possono essere mappati documentando, attraverso l'analisi di immagini remote cambiamenti nella copertura del suolo. Il mudflat mareale di generazione recente (ultimo decennio) colonizzato da nuovo mangrovieta è circa lo 0,8% dell'area studiata.

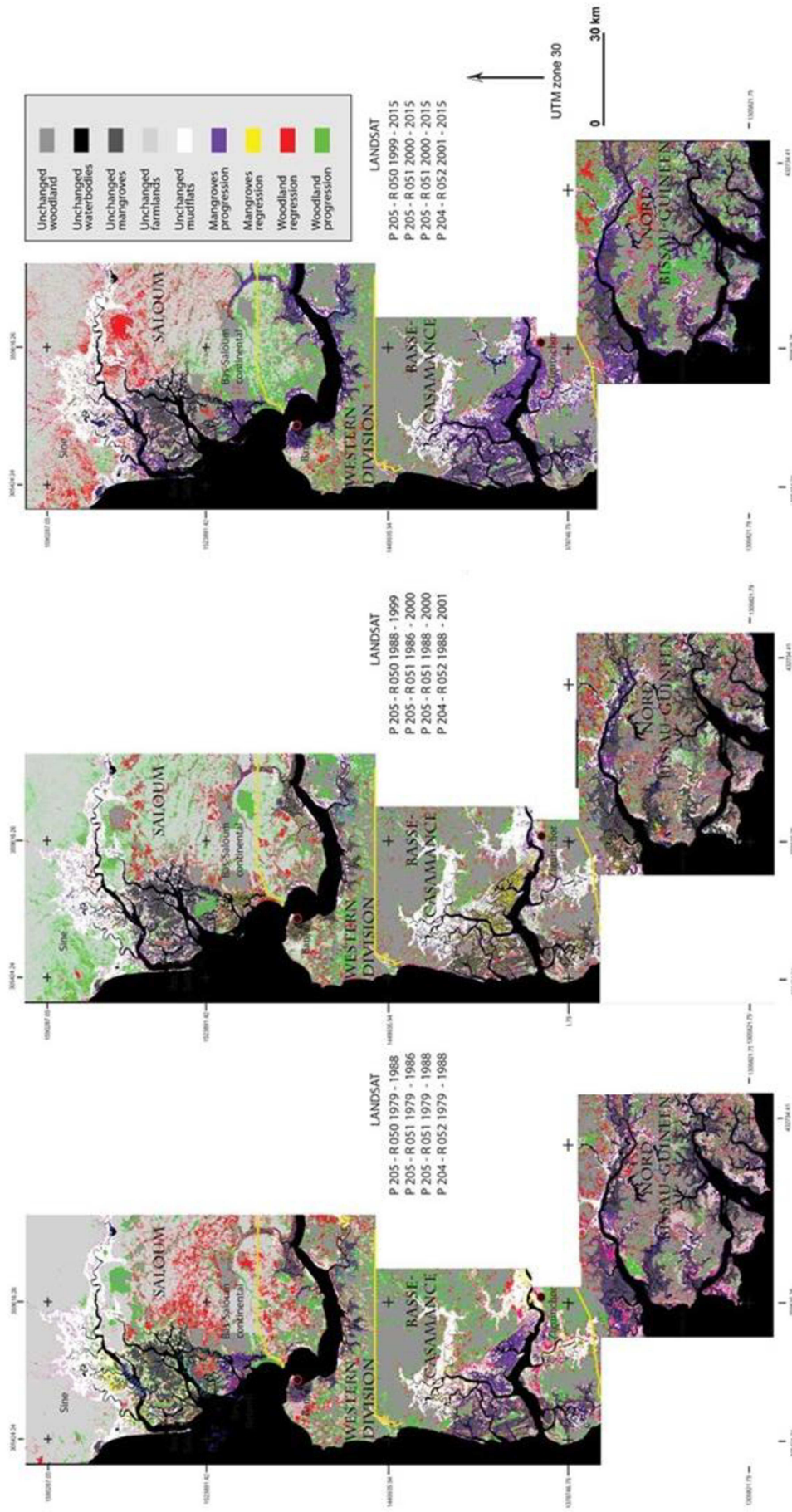


Figura 16: Cambiamenti della copertura del suolo tra il 1979 e il 1989 e tra il 1989 e il 2015 (modificato da Andrieu e Mering, 2009) e cambiamenti della copertura del suolo tra il 1999 e il 2015 (modificato da Andrieu J., 2018)

## RASSEGNA DEI DATI CLIMATICI

L'analisi dei parametri climatici è di particolare importanza per il nostro studio: in effetti, la variabilità climatica influenza fortemente gli ecosistemi e le attività umane, specialmente nell'Africa occidentale dove la dipendenza dai pericoli naturali e in particolare dalla distribuzione delle precipitazioni è più alta (Fontaine *et al.*, 2012).

Per l'analisi dei parametri climatici, è stata scelta la serie storica dal 1951 al 2016. La scelta di questo periodo è giustificata dalla necessità di tenere conto di un periodo sufficientemente lungo per un'analisi più affidabile dei cambiamenti climatici che hanno determinato il fenomeno della salinizzazione. L'analisi dei dati di questo mezzo secolo confronta le fasi più importanti della recente storia climatica della nostra area di studio in quanto l'alterazione della regolarità storica delle precipitazioni osservata in Africa occidentale è avvenuta a partire dalla fine degli anni '60. Questo periodo tiene conto anche degli anni relativamente umidi del periodo 1951-1970 e degli anni relativamente aridi del periodo 1971-1990.

### *Analisi delle piogge*

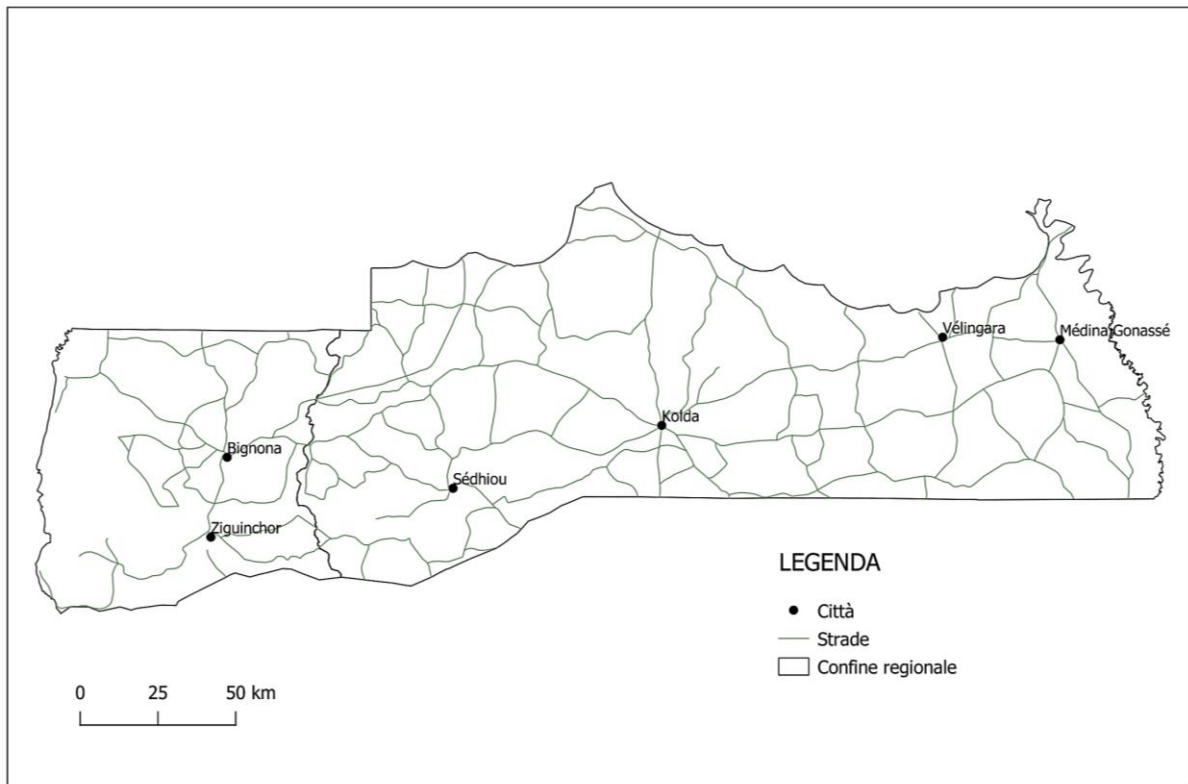
In questa analisi sono stati presi in considerazione i dati di due parametri climatici critici, precipitazioni e temperature di sei stazioni (si veda la Figura 17 per l'ubicazione), le quali soddisfano il criterio di sufficiente lunghezza delle serie temporali disponibili e di uniforme distribuzione lungo il corso del Fiume Casamance, dalla sorgente alla foce.

I dati analizzati provengono dagli archivi CEDA (The Natural Environment Research Council's Data Repository for Atmospheric Science and Earth Observation).

Il regime di precipitazioni in Casamance è caratterizzato dall'alternanza di due stagioni che dipendono dai meccanismi climatici globali e dell'Africa occidentale. Le piogge si verificano complessivamente tra maggio e novembre e sono l'unico approvvigionamento idrico per le attività agricole, soprattutto perché l'agricoltura in questa zona è quasi esclusivamente alimentata dalla pioggia. Le piogge stagionali sono quindi uno dei principali responsabili della variazione delle rese agricole.

L'analisi dell'evoluzione delle precipitazioni nel corso dell'anno ci permette di conoscere la distribuzione mensile delle precipitazioni e di determinare quale sia il periodo umido favorevole alle attività agricole.

Normalmente, le piogge si distribuiscono nei mesi da maggio a novembre, mentre il periodo dicembre-aprile ne è privo. Le precipitazioni che si verificano in questo ambito temporale sono anomale e sono definite "fuori stagione".



*Figura 17: Mappa delle città scelte per l'analisi dei parametri climatici, realizzata in GIS tramite i dati forniti dall'Agence nationale de l'Aménagement du Territoire.*

Avendo le perturbazioni invernali una causa extratropicale, le piogge sono rare e molto basse nell'area di studio, indipendentemente dalla stazione e dal periodo prescelto. Queste piogge raggiungono il suolo quando provengono da potenti disturbi atmosferici che sono in grado di saturare di umidità l'intera atmosfera.

Le piogge invernali sono di scarsa utilità per l'agricoltura, sebbene possano contribuire ad un ripristino del funzionamento degli ecosistemi naturali stressati durante questo periodo arido. Le piogge invernali si associano, da un lato, a una riduzione a volte considerevole delle temperature medie, il che contribuisce a un cambiamento nella loro evoluzione diurna e, dall'altro, ad un aumento significativo dell'umidità relativa, i cui valori medi sono più vicini a ciò che si osserva generalmente nella stagione delle piogge.

Tuttavia, le conseguenze delle piogge fuori stagione sono spesso molteplici e sfaccettate. A tale proposito, Pascal Sagna, nel quotidiano "Le Soleil" del Senegal del 31 marzo 2012, ha riportato le parole del Consiglio Nazionale di Gestione dei Rischi e Catastrofi (CNGRC), sulle conseguenze delle piogge del "mango" registrate in Senegal nel 2002 (a Ziguinchor si sono registrato 7,2 mm a gennaio), tra le quali 28 morti, 13.993 case distrutte, 13.561 bovini morti, 91.823 piccoli ruminanti morti e 100.000 feriti. Queste cifre eloquenti testimoniano la gravità

delle conseguenze che possono avere le piogge invernali e la necessità di adottare le necessarie misure precauzionali per limitarne i danni.

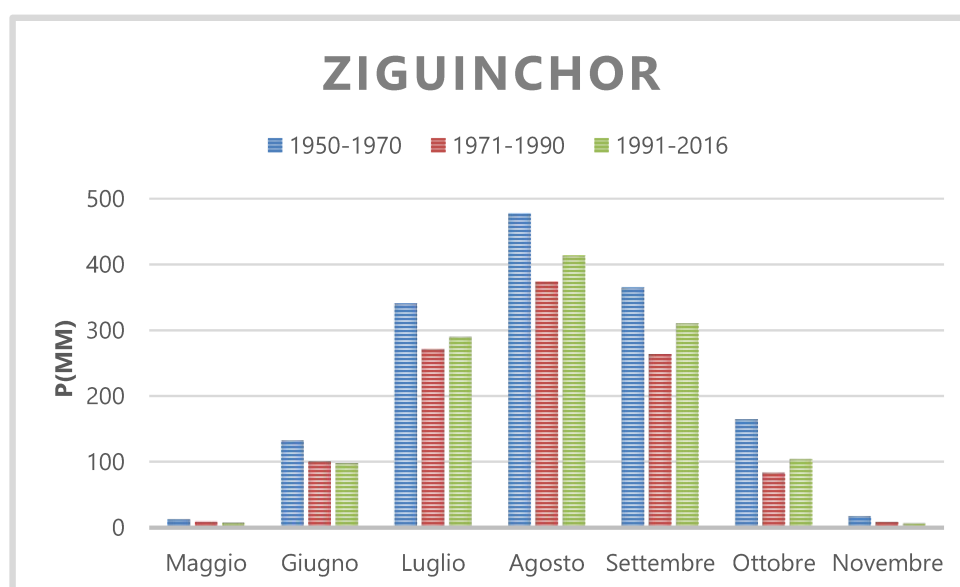
### Piogge estive

L'analisi mensile delle precipitazioni mostra che la Casamance riceve le sue prime piogge da maggio, mentre le ultime si verificano a novembre. Questa stagione delle piogge è dovuta all'influenza del monzone, la cui intensità è legata all'entità del gradiente termico e barometrico tra la terraferma dell'Africa occidentale, riscaldata durante l'estate boreale, e le acque fredde dell'Atlantico meridionale.

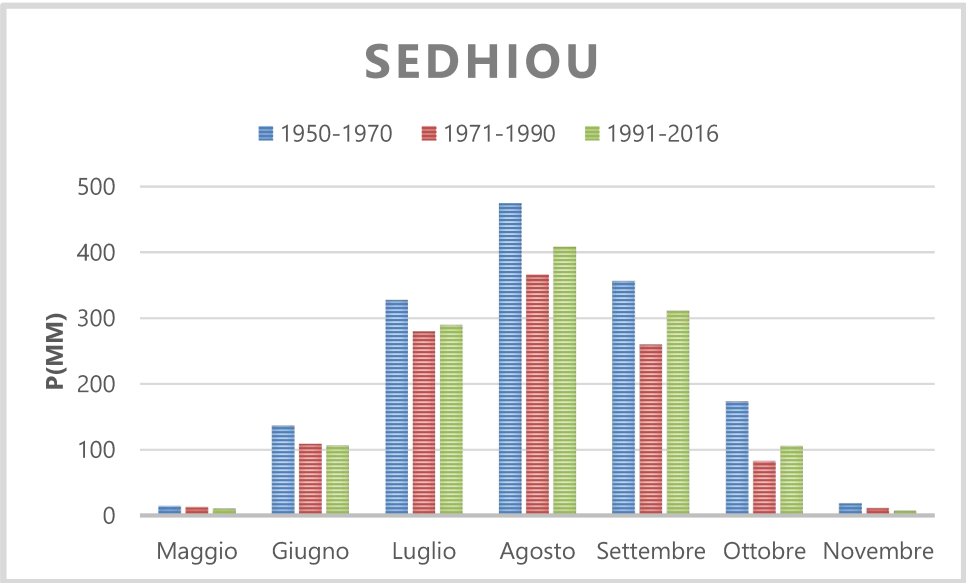
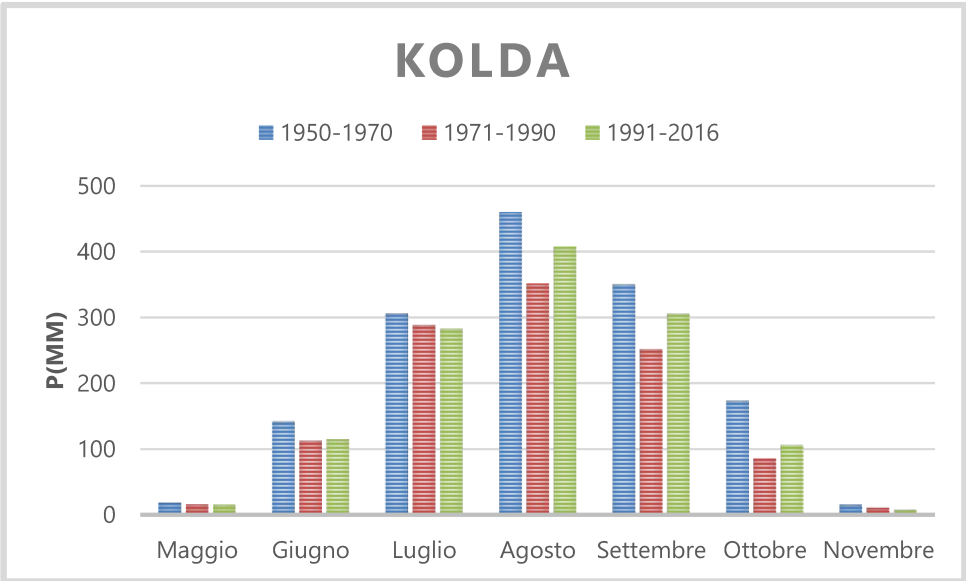
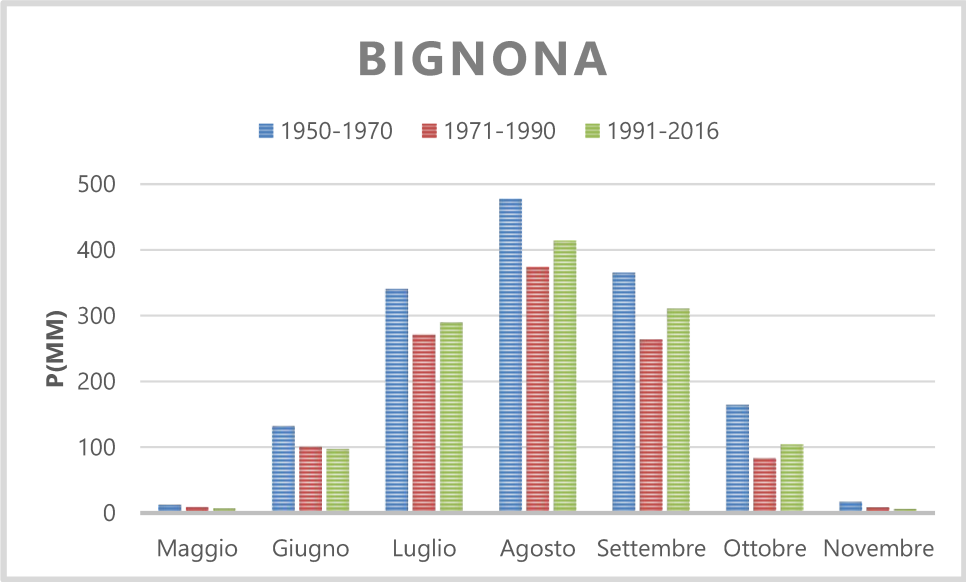
Le attività agricole, principalmente dipendenti dalle precipitazioni, si svolgono durante questo periodo.

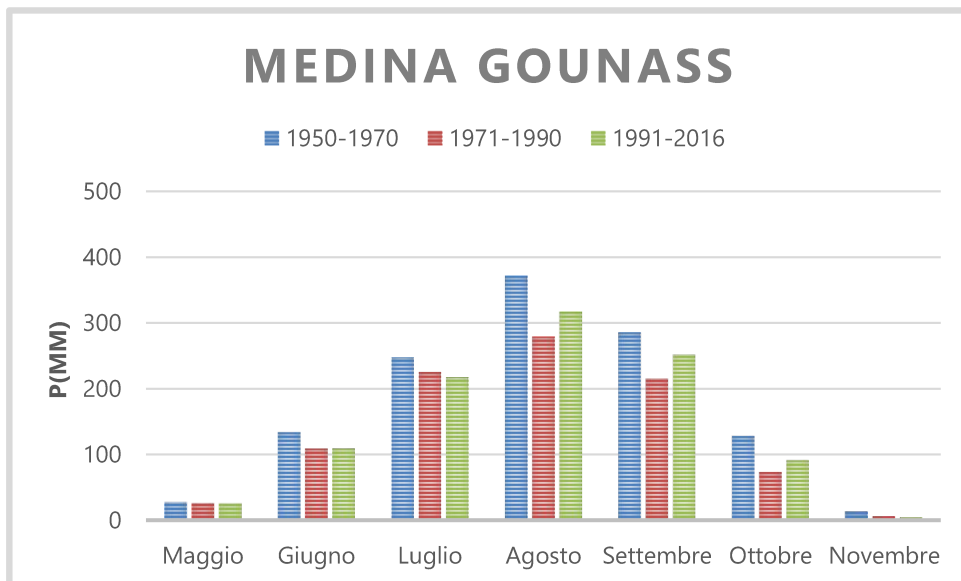
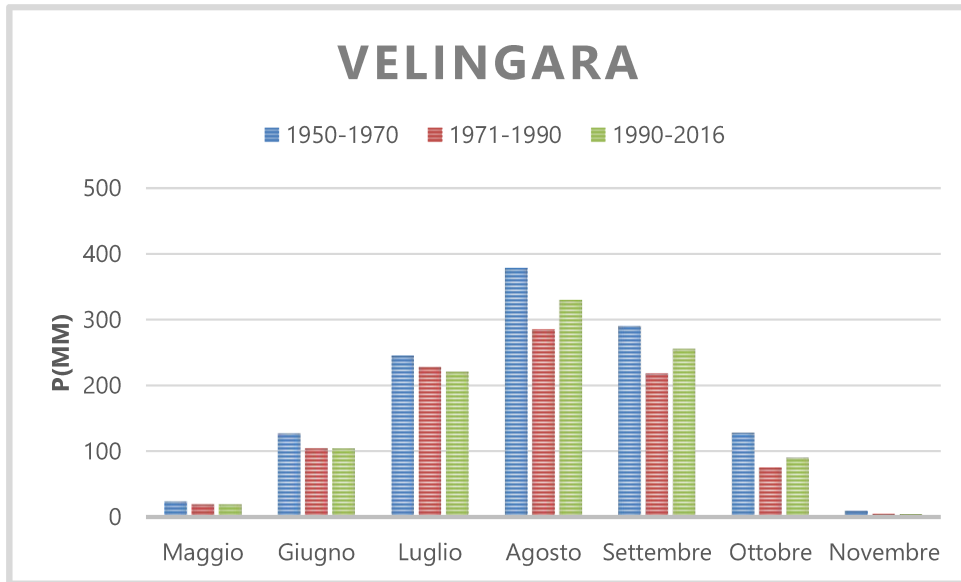
L'analisi mostra, per tutte le stazioni prescelte, che le precipitazioni registrate da maggio a giugno aumentano gradualmente, per raggiungere i volumi più importanti tra luglio e settembre. Il mese di agosto si distingue chiaramente da tutti gli altri per l'importanza dei totali registrati. In effetti, qualunque sia la stazione e il periodo selezionato, agosto rimane il mese più piovoso.

Per tutte le stazioni, il ventennio tra il 1950 e il 1970 è stato quello che ha ricevuto le quantità di precipitazioni mensili medie più importanti nella storia delle precipitazioni della Casamance. Il ventennio successivo, dal 1971 al 1990 è stato caratterizzato da minori precipitazioni complessive, mentre in quello attuale si è registrata una controtendenza, con precipitazioni di nuovo più elevate.









L'analisi della distribuzione mensile media delle precipitazioni mostra che la loro diminuzione ha inizio a settembre. Questa riduzione continua gradualmente fino a ottobre e novembre, mese che segna la fine della stagione delle piogge nell'area di studio. L'analisi delle precipitazioni mensili mostra anche che i mesi di maggio e novembre sono rispettivamente mesi di passaggio allo svernamento e alla stagione secca. La natura transitoria di questi mesi è materializzata dalla bassa quantità di precipitazioni mensili medie che ricevono.

In generale, nel mese di maggio i mm di pioggia registrati rimangono sotto i 10 mm, ad eccezione delle due città situate più lontane dall'oceano (Medina e Velingara) che raggiungono rispettivamente 25 mm e 20 mm di pioggia media mensile.

I bassi volumi di precipitazioni registrati a novembre preannunciano l'arrivo della stagione secca, durante la quale non vi sono precipitazioni superiori ai 20 mm mensili.

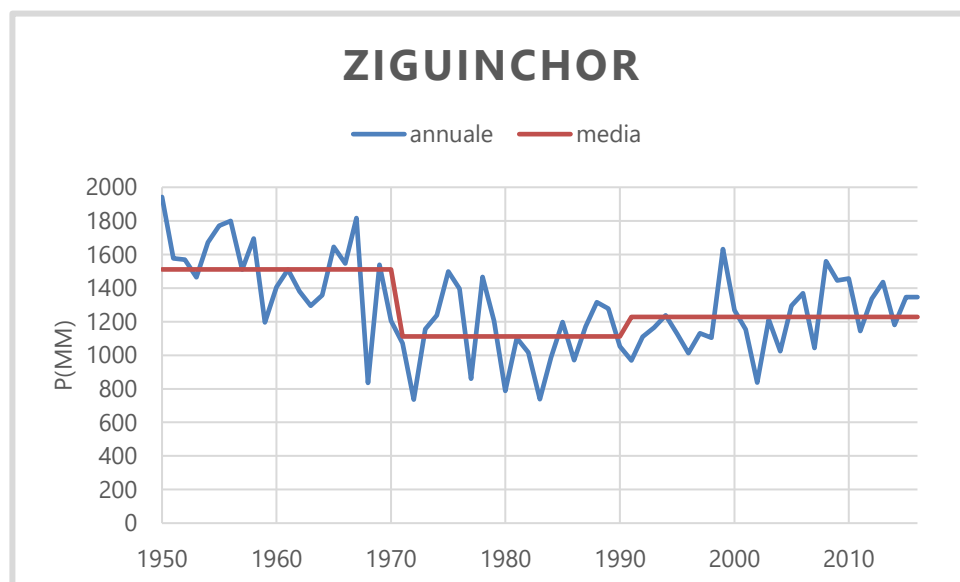
### Andamento annuale

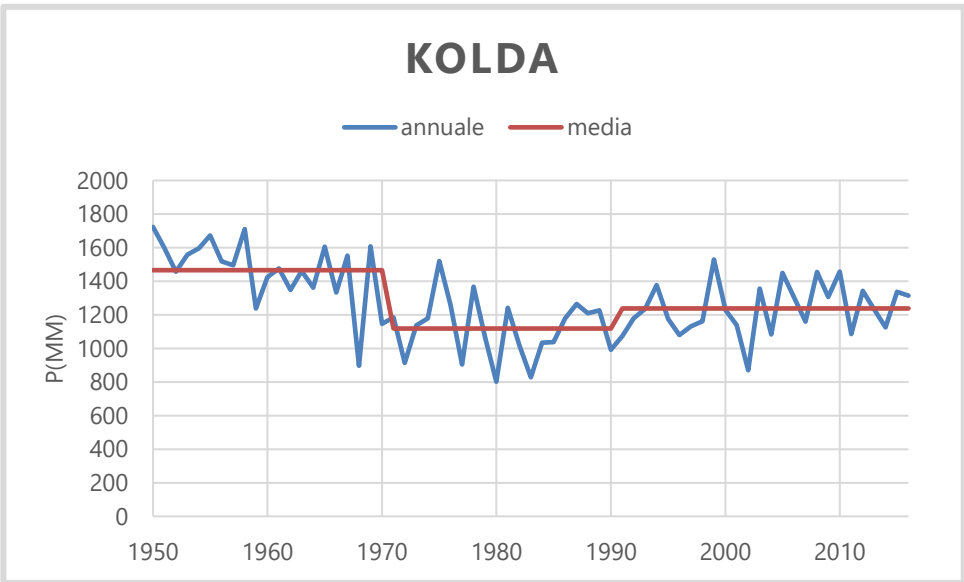
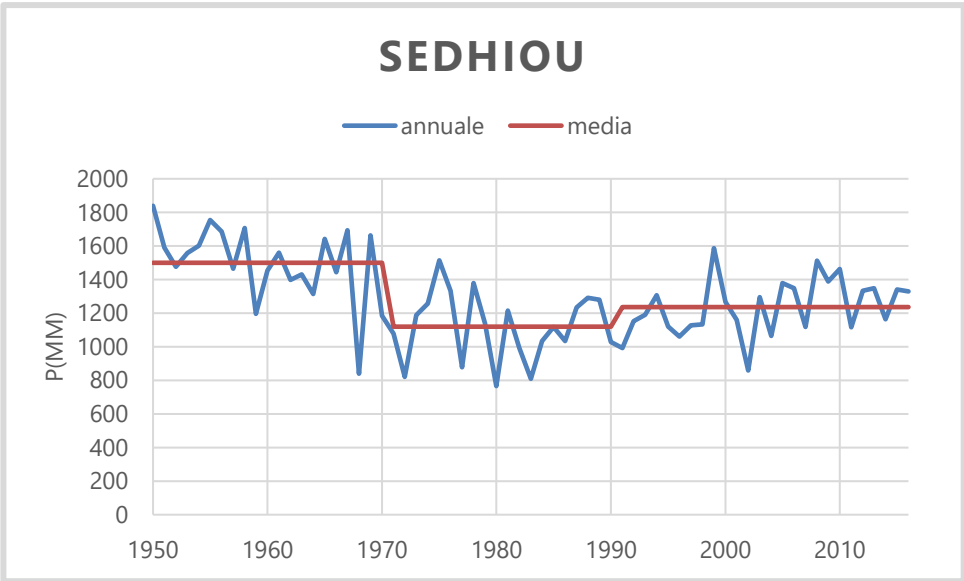
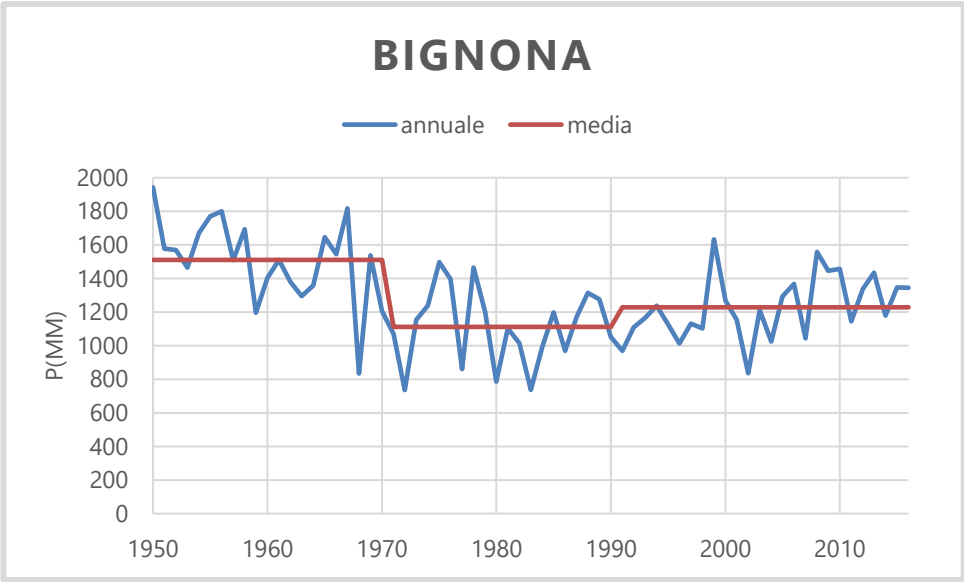
Per quanto riguarda l'andamento annuale delle precipitazioni si riscontrano quantità maggiori nelle città più vicine alla costa (Ziguinchor, Bignona, Kolda e Sedhiou) con valori di massime e minime tra i 2000 e i 700 mm annuali.

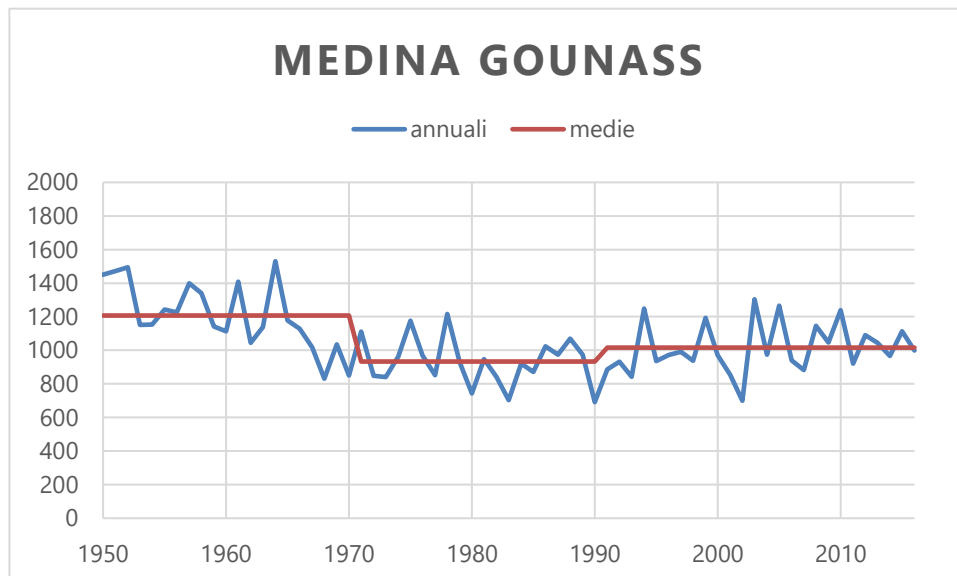
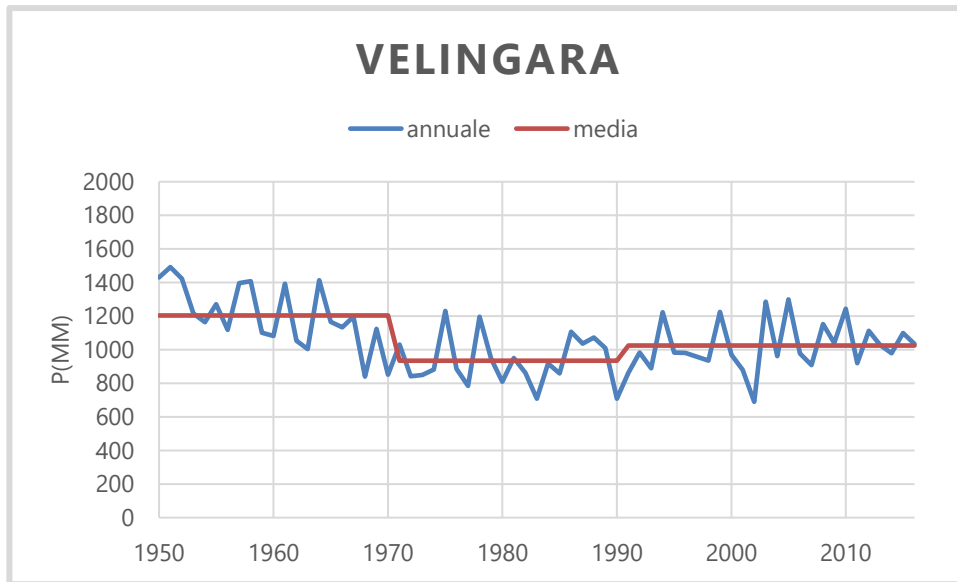
Per quanto riguarda le città più continentali, Medina Gounass e Velingara, si osservano quantità che oscillano tra i 700 mm e i 1500 mm, come valori massimo. Questa notevole differenza è causata dalla vicinanza o meno dell'oceano.

In generale, la tendenza è simile in tutte le località indipendentemente dalla loro ubicazione. Si notano infatti 3 periodi distinti:

- Nel ventennio tra il 1950 e il 1970, si sono osservati valori elevati di precipitazioni, con medie tra i 1200 e i 1500 mm annui.
- Nel ventennio tra il 1971 e il 1990, si sono osservati valori notevolmente più bassi, toccando anche minimi annuali di 700 mm. In questo periodo siccitoso, in tutte le città la media delle precipitazioni è risulta inferiore mediamente di 400 mm rispetto al periodo precedente.
- Negli ultimi 25 anni, dal 1991 al 2016, le precipitazioni sono aumentate rispetto al ventennio precedente ma comunque decisamente inferiori rispetto agli anni '50 e '60.



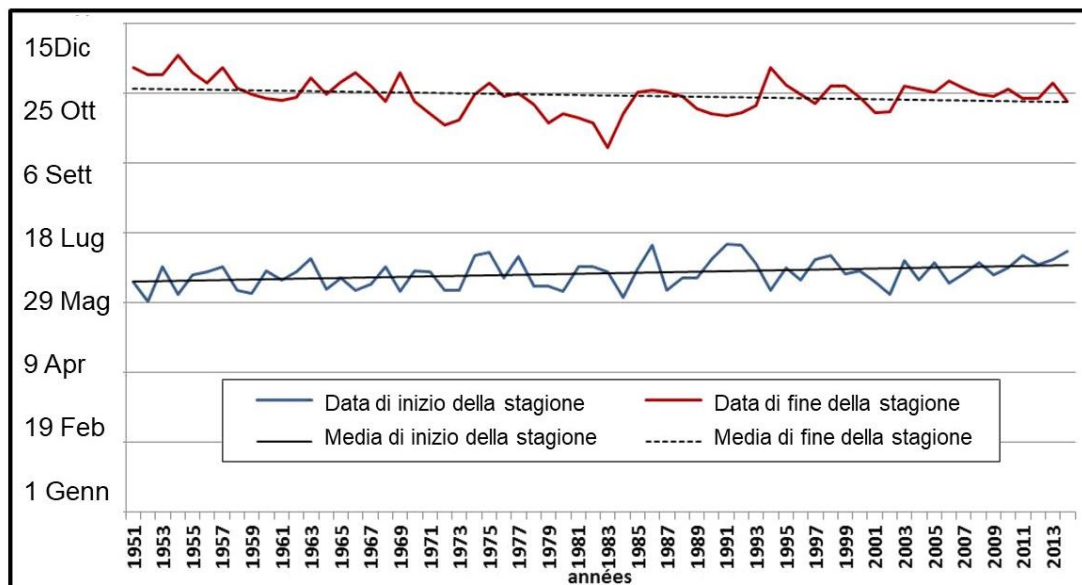




Oltre alla fertilità del suolo, le condizioni climatiche possono essere considerate uno dei principali fattori limitanti della produzione agricola, data l'elevata variabilità spaziale e temporale delle precipitazioni. Infatti, sebbene l'abbondanza delle piogge sia un fattore determinante per l'agricoltura senegalese, la sua distribuzione nel tempo è altrettanto importante a causa dei rischi di stress idrico a cui le piante possono essere esposte durante le varie fasi del loro sviluppo. A questo proposito, Ingram *et al.* (2002) hanno dimostrato come diversi parametri climatici siano stati identificati dagli agricoltori dell'Africa occidentale per informare le loro scelte in termini di strategie agricole. In ordine di priorità, i criteri adottati selettivamente in funzione delle caratteristiche climatiche locali e incorporati nelle prassi tradizionali, sono le date di inizio e fine della stagione delle piogge, la distribuzione delle precipitazioni nel corso della stagione delle piogge e infine l'accumulo stagionale delle piogge.

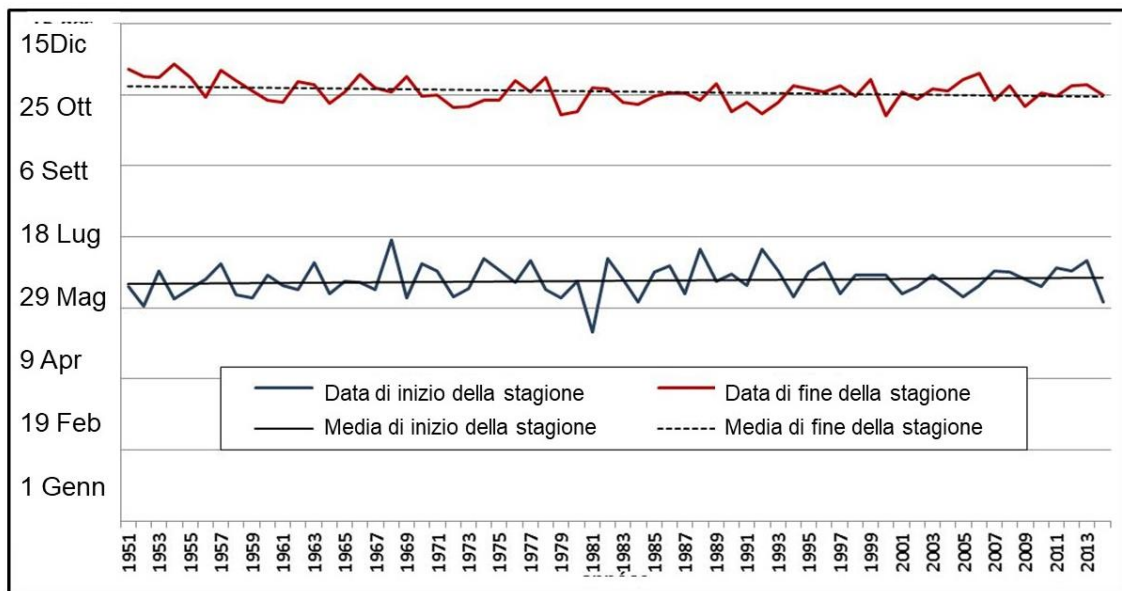
I criteri per determinare la durata della stagione delle piogge utile ai fini agronomici, per l'impianto o la semina delle colture, attengono alle tendenze di piovosità osservate nel primo mese. La data di inizio si basa quindi sulle prime precipitazioni significative non seguite da una sequenza di giorni secchi. La fine della stagione delle piogge, invece, corrisponde al giorno in cui, dopo il primo giorno di settembre, non ci sono più piogge per 20 giorni consecutivi.

L'analisi dei dati di precipitazioni qui analizzati dimostrano che in Casamance, come nel resto del Senegal (Diop, 1996), le date di inizio e fine della stagione delle piogge variano considerevolmente da un anno all'altro e da un sito all'altro. La zona di Bignona, come si evince dai grafici di Figura 18 sembra essere quella che più risente del raccorciamento della stagione piovosa: il grafico mostra come le date di inizio e fine tendano ad essere posticipate e anticipate rispettivamente nel corso degli anni con una tendenza costante prolungando così la stagione arida con gravi conseguenze per la produzione agricola.



**Figura 18: Inizio e fine della stagione delle piogge a Bignona (modificata da Tidiane Sané)**

Anche la stazione di Ziguinchor (Figura 19) mostra tendenze simili, anche se meno accentuate, confermando la regione della Casamance costiera come quella più vulnerabile al fenomeno della salinizzazione.



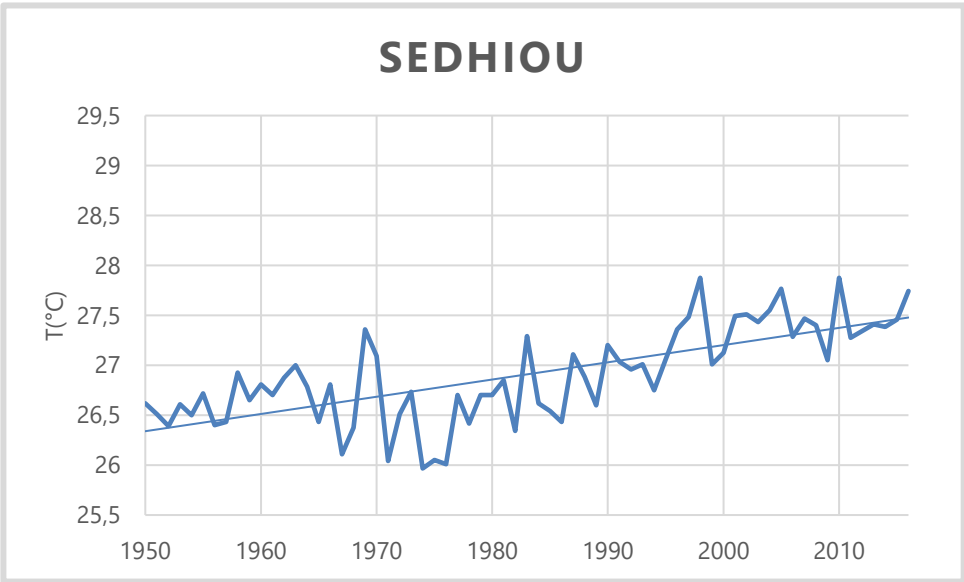
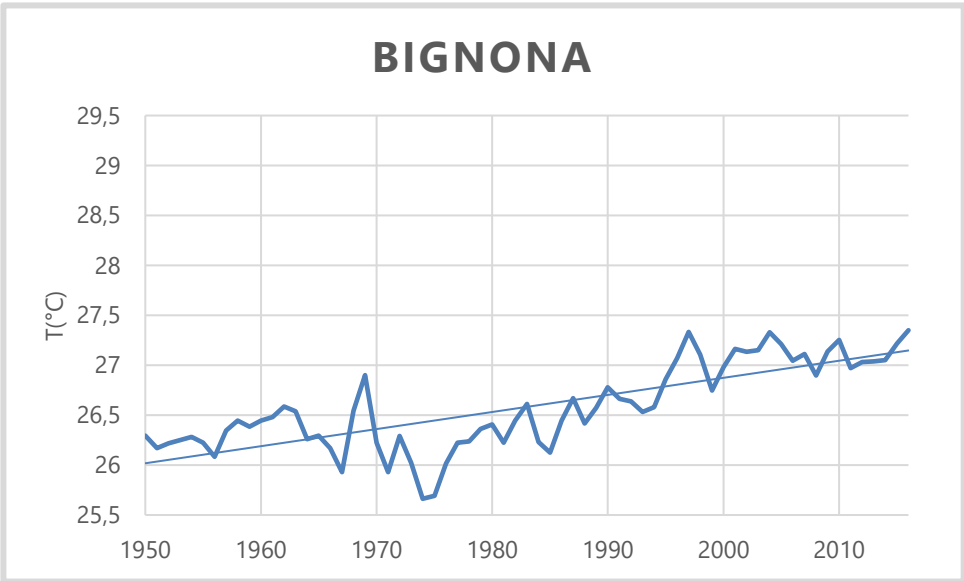
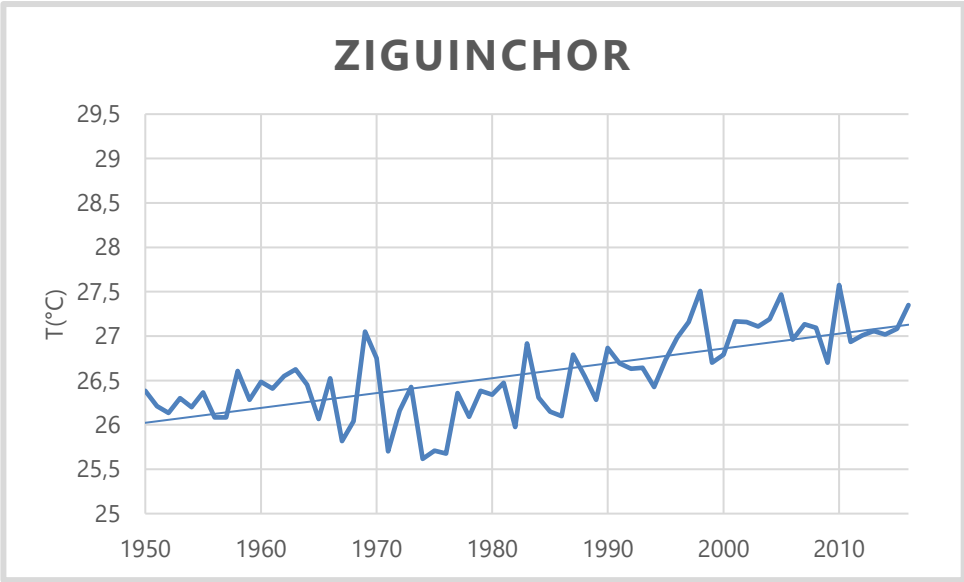
*Figura 19: Inizio e fine della stagione delle piogge a Ziguinchor ((modificata da Tidiane Sané)*

### *Analisi della temperatura*

Le temperature dipendono dall'apporto energetico fornito della radiazione solare e, dopo le precipitazioni, sono il fattore più importante nel determinare le caratteristiche climatiche di un sito. Nella zona intertropicale, l'escursione termica nel corso dell'anno è modesta, ma con un aumento sensibile negli ultimi decenni a seguito del riscaldamento globale che sta diventando una delle principali preoccupazioni per la comunità internazionale. Questo riscaldamento deriverebbe dall'aumento, sempre più importante, delle emissioni di gas a effetto serra, a loro volta causate dalle attività umane. L'analisi dei trend di temperatura della Casamance si basano sui dati delle sei città prese in considerazione come campione per la pluviometria, e per il medesimo periodo di riferimento 1950-2016.

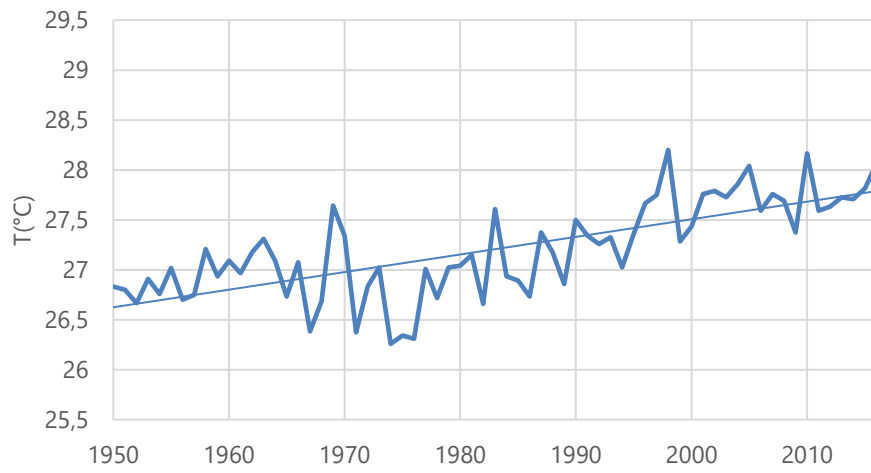
L'aumento della temperatura è visivamente evidente in tutte e sei le città considerate, con un aumento medio di 1,5°C negli ultimi sessant'anni, in accordo con le stime dell'IPCC.

La vicinanza all'oceano porta come di consueto ad una mitigazione delle temperature nelle città più vicine alla costa: a Ziguinchor, Bignona, Kolda e Sedhiou si riscontrano valori medi annuali tra i 26 e i 28 gradi. Nelle due città continentali, Velingara e Medina Gounass, l'ambito di temperature medie annuali è invece maggiore, tra i 27 e i 30 gradi.

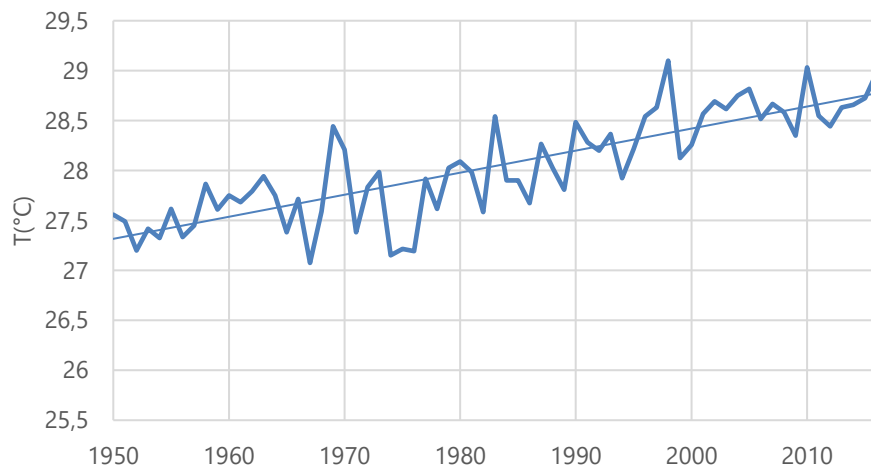




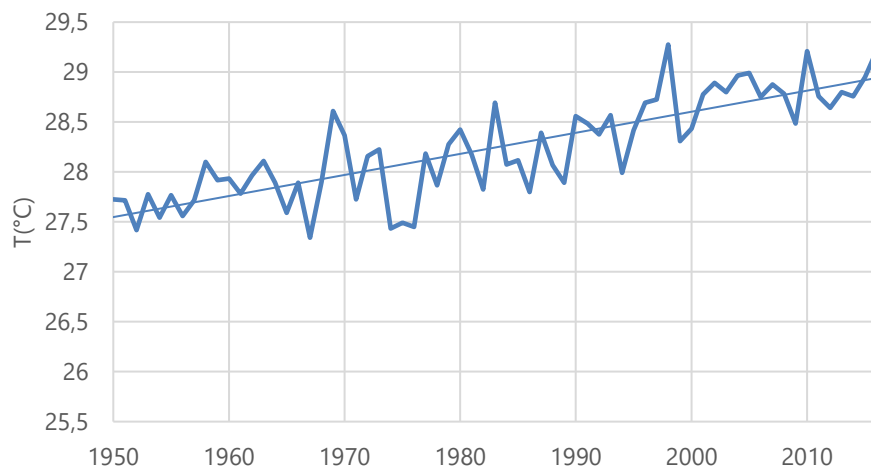
## KOLDA



## VELINGARA



## MEDINA GOUNAS



## RASSEGNA ED ANALISI DEI DATI IDROLOGICI

### *La rete idrografica*

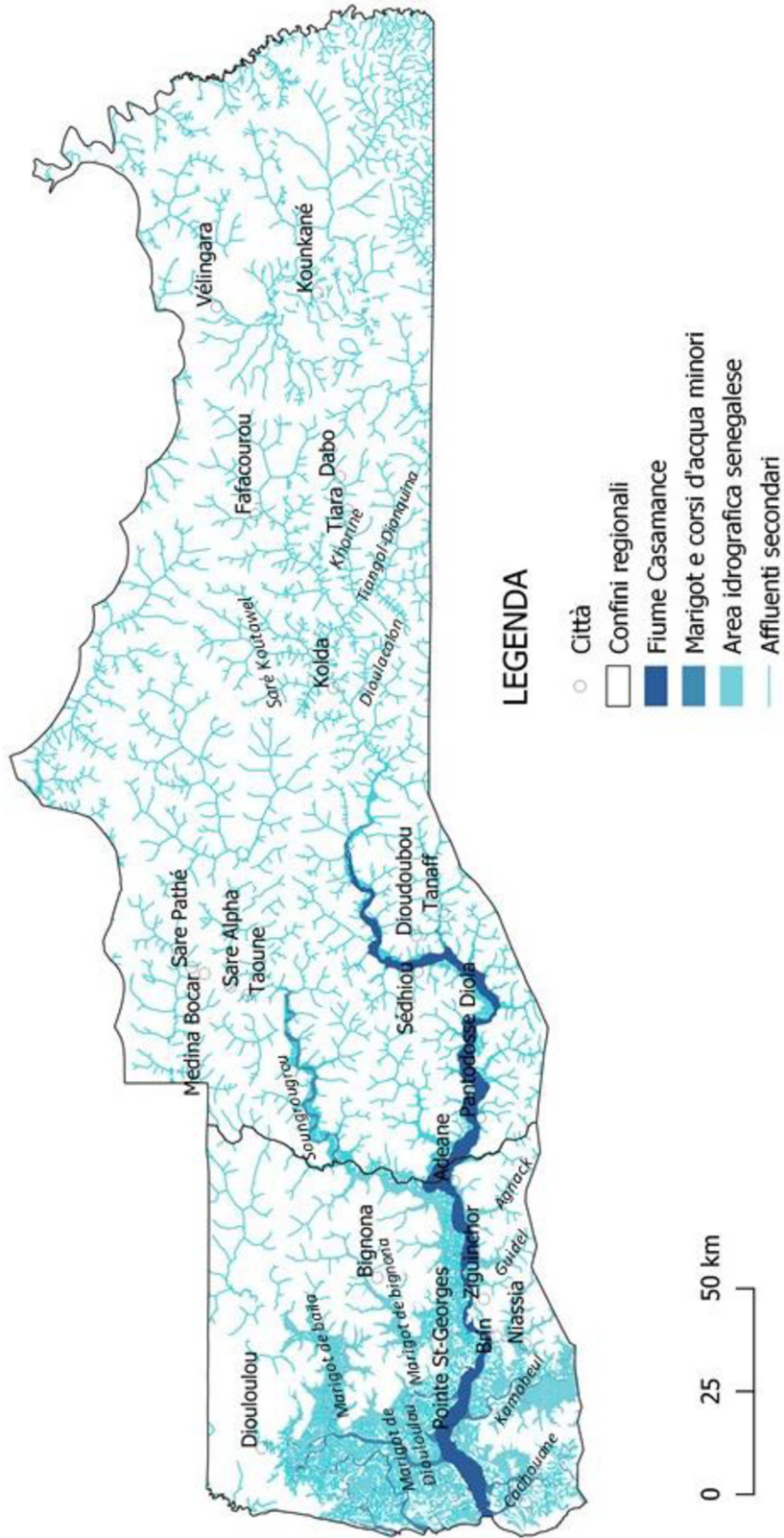
Il fiume Casamance ha una lunghezza di circa 350 km: nasce in alta Casamance, intorno a Fafacourou, una località situata tra Kolda e Velingara, dove è formato dall'incontro di numerosi piccoli *marigot* (Figura 20). Esso scorre in direzione generale est-ovest verso l'Oceano Atlantico e lungo il suo corso non beneficia di deflussi abbondanti su tutta la sua rete.

Nel suo corso superiore, a monte di Kolda, il fiume riceve contributi dagli affluenti Tiangol-Dianguina, Khorine, Niampampo, e Dioulacolon, mentre di fronte al villaggio di Adéane, il in esso si innesta il Soungrougrou, il suo affluente più importante. Il Soungrougrou è anch'esso formato dalla confluenza di numerosi piccoli affluenti che hanno avuto origine nella vasta area forestale di Pata e Guimara situata a nord.

Il corso inferiore corrisponde alla parte marittima del fiume Casamance, dove gli affluenti hanno profondamente sezionato l'altopiano di arenaria del Terminal Continentale. Riceve due affluenti sulla sua riva destra, il marigot di Bignona e quello di Diouloulou e sulla riva sinistra, il Kamobeu, l'Essoukoudiak, il marigot Cachouane e molti altri piccoli marigot. Questa parte della piana alluvionale e mareale del Casamance è formata da paludi piatte e basse attraversate da canali di marea e marigot chiamati boloni: è una maestosa area umida con una densità di canali mareali meandriformi del tutto eccezionale.

Su tutto il bacino, dalla sorgente alla foce, la topografia è molto blanda e il gradiente del letto fluviale è minimo. Pages *et al.* (1987) riportano che zone immediatamente a valle delle sorgenti del corso principale e degli affluenti hanno una pendenza di 0,5 m per km mentre si riducono a zero a valle di Diana Malary.

**Figura 20: Rete idrografica della regione Casamance, realizzata in QGIS tramite shapefiles ricavati da l'Agence nationale de l'Aménagement du Territoire**



La larghezza dell'estuario e del letto fluviale lungo tutto il corso, la debolezza del pendio e le profondità dell'alveo spiegano la profonda invasione del mare all'interno del bacino fino a Diana Malary, situata a circa 152 km dalla foce. Sul suo affluente principale, il Soungrougrou, queste influenze marine si manifestano fino a Diaroumé, a 130 km dall'oceano. Sul tributario Baïla di Diouloulou, raggiungono Gibuti, una località situata a circa 154 km (Dacosta, 1989).

Il fiume Casamance è fortemente soggetto alle correnti di marea ed è quindi profondamente esposto alle influenze oceaniche, con possibilità di un aumento d'intensità in un contesto di deterioramento delle condizioni climatiche (inacidimento e diminuzione degli afflussi di acqua dolce). In effetti, i deflussi già bassi sono diventati insufficienti per compensare l'ascesa delle acque marine che permeano le falde acquifere e minacciano la produzione agricola già soggetta per altri motivi (sociali, economici e di sottosviluppo) ad un'elevata vulnerabilità.

Per affrontare il problema della salinizzazione e dunque necessario, attraverso indagini di campo, determinare le caratteristiche attuali delle acque della Bassa Casamance.

Regione	Corso d'acqua	Bacino di	Superficie in km <sup>2</sup>
<b>Regione di Ziguinchor</b>	Fiume Casamance	Ziguinchor	13860
	Marigot de Baïla	Kartiack	1634
	Marigot de Bignona	Bignona	306
	Kamobeul	Kamobeul	700
	Guidel	Guidel	145
	Agnack	Agnack	135
<b>Regione di Kolda</b>	Fiume Casamance	Fafacourou	700
		Kolda	3700
		Diana Malary	4710
	Soungrougrou	Diaroumé	2780
	Thiangol-Dianguina	Sarésara	815
	Khorine	Médina Abdoul	235
		Médina Omar	385
	Saré Koutawel	Saré Koutawel	640
	Bantankoutayel	Saré Keita	190

*Tabella 2: Dati statistici relativi al bacino idrografico del Casamance (modificato da Dacosta, 1989)*

### *Caratteristiche dei bacini idrografici.*

Il fiume Casamance ha quindi diversi bacini che sono caratteristici della maggior parte delle attività agricole sviluppatesi lì nonostante le vicissitudini legate all'influenza quotidiana delle maree e alle inondazioni annuali conseguenti alle piogge. Nella Tabella 2 vengono riportati i fiumi e i rispettivi bacini. *Modificato da Dacosta (1989).*

### *Le caratteristiche delle acque durante la siccità degli anni '70 e '80*

Il fiume Casamance ebbe un regime normale di circolazione estuarina fino agli anni '70. I deflussi, sebbene diportata modesta, persistevano per gran parte della stagione secca, più breve dell'attuale, e contrastavano efficacemente la risalita delle acque marine durante il flusso di marea mantenendo i livelli di salinità contenuti e relegati alla sola parte costiera.

In condizioni normali, la circolazione estuarina si instaura come situazione di equilibrio tra il deflusso delle acque dolci in superficie e flusso in entrata delle acque saline in profondità, con un livello di miscelazione tra i due strati che dipende dal regime di flusso, dalla portata, dalle condizioni meteorologiche, ecc.

Durante la siccità degli anni '70 e '80 fino alla metà degli anni '90, la salinità delle acque superficiali aumentò in modo significativo, indicativa di un estuario verticalmente omogeneo.

In questi estuari, il flusso di marea è maggiore rispetto deflusso, dando origine ad una colonna d'acqua ben miscelata e alla scomparsa del gradiente di salinità verticale. Il confine tra acqua dolce e acqua di mare è eliminato a causa della turbolenza e dei vortici indotti dall'intensità del flusso di marea. Il rapporto larghezza-profondità degli estuari verticalmente omogenei è grande; con la limitata profondità che facilita il rimescolamento completo della colonna d'acqua. Se le correnti di marea alla foce di un estuario sono abbastanza forti da creare una miscelazione turbolenta, si sviluppano queste condizioni verticalmente omogenee.

Le osservazioni di Brunet-Moret (1970), Vieillefon (1977), Marius (1985) e Diop (1990) documentarono che in questo periodo arido il dominio delle maree si estese a monte, con un gradiente di salinità fortemente marcato da valle a monte. Come conseguenza, livelli di salinità molto elevati si registrarono lungo tutto il fiume, anche durante la stagione delle piogge.

Diop (1990) ha mostrato che salinità superiori a 37 ‰ sono state registrate a Ziguinchor nel settembre 1984; il valore massimo è stato misurato a monte di Sédhiou, a 200 km dalla foce, con valori superiori al 100 ‰ nell'aprile 1984.

Nel lasso di tempo di un quindicennio, pertanto, tra il 1969 e il 1984, si è registrato questo incremento drastico della salinità delle acque del fiume, addirittura con variazioni più significative negli affluenti.

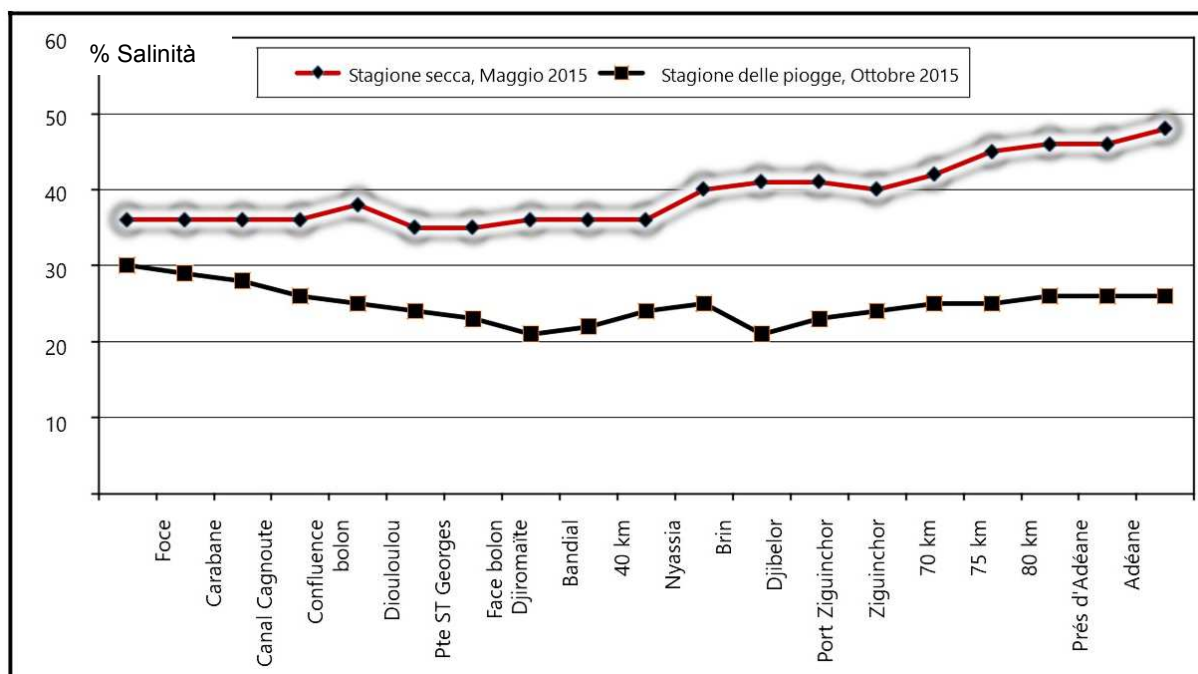
Attualmente, l'acqua marina sta gradualmente risalendo a monte, specialmente nelle vicinanze di Diana Malary e per effetto dell'evaporazione si concentra, dando livelli di salinità estremamente elevati.

Gli scarsi deflussi della stagione arida non contrastano il flusso mareale, il quale penetra aggressivamente nell'entroterra. Il degrado del mangrovieta contribuisce ulteriormente alla riduzione della filtrazione lungo le sponde del Casamance (Pages, 1988; Cormier-Salem, 1992).

In tali condizioni, la falda freatica subisce essa stessa un degrado, con salinizzazione e acidificazione del suolo e sterilizzazione di terreni arabili, contribuendo ad una delle catastrofi ambientali più importanti nella storia agraria della Bassa Casamance. Cormier-Salem (1992) afferma a questo proposito che gli effetti negativi della siccità e la salinizzazione sono molto più severi lungo i piccoli emissari di Casamance, sui terreni e sulla vegetazione delle piane d'inondazione circostanti, in seguito ad una loro maggior esposizione e completo essiccamento.

### *L'evoluzione stagionale della salinità del fiume Casamance*

Recenti indagini sulla salinità del fiume Casamance dalla foce ad Adéane (Figura 21) rivelano il chimismo ancora fortemente salino delle acque del fiume, anche se i valori sono ora inferiori a quelli registrati durante gli anni di siccità degli anni '70.

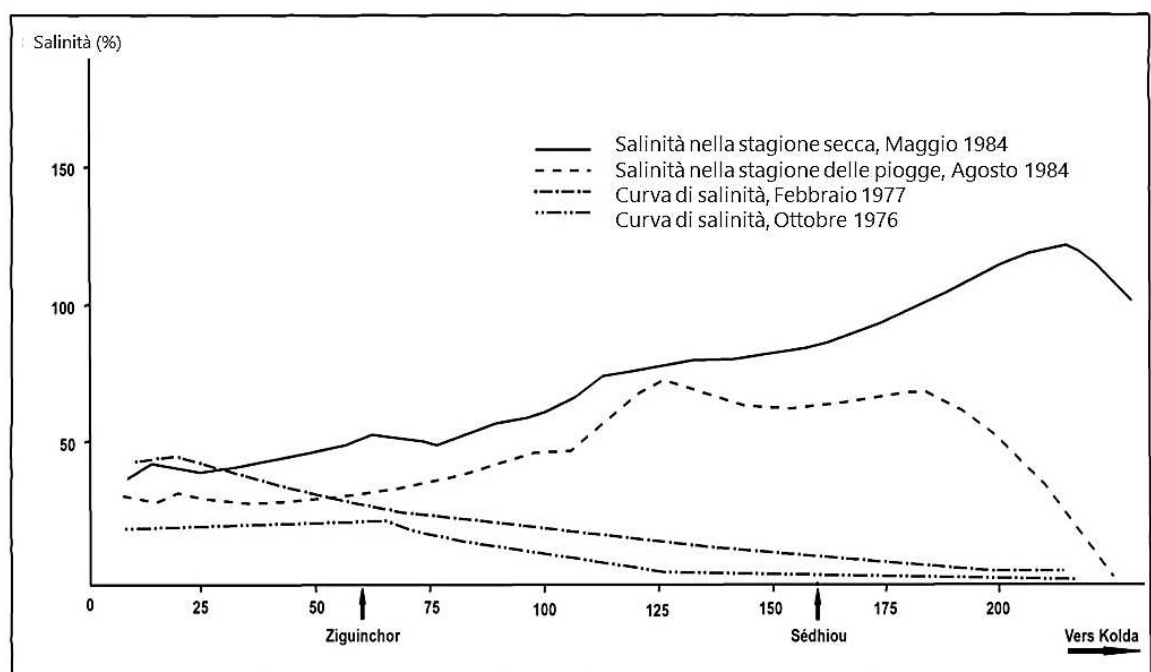


**Figura 21: Andamento della salinità nel Fiume Casamance durante la stagione arida, in funzione della distanza dalla foce (modificata da Tidiane Sané, 2008).**

La curva mostra che la salinità aumenta progressivamente durante la stagione secca dalla foce verso l'interno, i cui valori sono generalmente compresi tra 35‰ nei pressi della foce (salinità dell'acqua marina normale) e 48‰.

Nella stagione delle piogge, gli afflussi di acqua dolce abbassano la salinità poiché si osserva quasi l'inverso della situazione della stagione secca. La salinità diminuisce gradualmente dalla foce all'altezza del villaggio di Bandial, ma aumenta immediatamente dopo, raggiungendo il 25 ‰ a Brin. Dopo una caduta a 21 ‰ intorno a Gibuti, continua ad aumentare fino ad Adéane, dove si nota una salinità di 26 ‰. I valori di salinità si mantengono sempre al di sotto dei valori normali. Tuttavia, l'aumento tra Ziguinchor e Adéane, per quanto modesto, sembra confermare l'ipotesi secondo cui l'afflusso di acqua dolce non può invertire completamente la tendenza, nonostante la quantità delle precipitazioni sia maggiore rispetto a quella degli anni critici tra il '70 e l'80.

Tenendo conto dell'evoluzione del profilo longitudinale della salinità del fiume, in particolare sulla base dei dati riferiti alla stagione secca, si può notare che, dalla zona di foce a Pointe Saint-Georges, la salinità è la stessa di quella dell'acqua marina normale, circa 35 ‰. Il gomito che il fiume presenta a questo livello sembra costituire una barriera per l'evoluzione della salinità poiché oltre questo punto, la salinità aumenta progressivamente tendendo a valori sempre più alti.



**Figura 22: Andamento della salinità lungo il Fiume Casamance negli anni dal 1976 all'1984 (modificata da Tidiane Sané, 2008)**

Un confronto tra i valori di salinità all'interno dell'estuario prevalenti nel periodo critico degli anni '80 e quelli di analisi più recenti (Figure 21 e 22) mostra un leggero miglioramento della situazione, correlato all'attuale situazione di piovosità.

In sintesi, l'idrologia superficiale è ancora dominata dal mare nonostante un leggero miglioramento climatico in senso umido rispetto agli anni della crisi, a causa di una topografia molto piatta e di una piovosità in gran parte insufficiente.

La salinizzazione delle risaie, ancora percettibile su buona parte della rete idrografica, rimane uno dei maggiori problemi per l'attività agricola. In effetti, le acque saline sono penetrate nell'intera rete e pervaso le piane che ora fungono da bacini evaporativi (Posner, 1985) attraverso un meccanismo di pompaggio evaporitico tipico delle coste in deficit idrico. Recenti osservazioni mostrano che la salinità del fiume, dalla foce ad Adéane, alla confluenza del fiume Soungrougrou nel Casamance, rimane elevata e aumenta a valle a monte, specialmente nella stagione secca.

Nella Casamance, l'intrusione di acqua di mare nell'estuario e negli alvei fluviali e la permeazione delle falde acquifere sono la principale causa della salinità del suolo. Gli studi dal 1987 al 1994 hanno dimostrato che l'estuario del Casamance è diventato ipersalino in conseguenza della fase siccitosa regionale del Sahel alla fine degli anni '70. Secondo Savenije e Pagès, 1992, un estuario è ipersalino quando il flusso netto di acque saline non è compensato da un deflusso sufficiente per evacuare il sale accumulato a causa dell'evaporazione.

La diminuzione delle precipitazioni da 1.600 mm nel 1935 a 1.100 mm nel 1980 ha indotto un bilancio idrico carente (Debenay *et al.*, 1994). Durante l'ultimo decennio, le precipitazioni medie a Casamance sono leggermente aumentate a più di 1200 mm, quasi equivalenti quelle precedenti la siccità degli anni '70 nella zona saheliana (Blesgraaf *et al.*, 2006). Essendo l'evaporazione costante, la quantità di acqua dolce che defluisce durante la stagione secca non è più sufficiente per dilavare le salamoie prevenendo la precipitazione del sale (Debenay *et al.* 1994).

I sali sono composti ionici formati quando un acido viene neutralizzato da una base. Sono elettroliti perché si dissolvono in acqua come ioni liberi in grado di condurre elettricità. La concentrazione di questi elettroliti definisce non solo la morfologia del profilo del suolo, ma anche lo stato di fertilità dei terreni affetti dal sale (Szabolcs, 1989). I principali ioni che contribuiscono alla salinità nei suoli sono  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e raramente  $\text{K}^+$  e  $\text{NO}_3^-$  (Bernstein 1975). Tutte le piante sono sensibili ai sali, a varie concentrazioni a seconda della specie, dello stadio di sviluppo e della durata della loro esposizione allo *stress* salino. L'effetto principale dei sali nelle colture è la riduzione della resa.



Sotto *stress* salino, molti processi fisiologici e metabolici sono alterati dall'aumento della pressione osmotica nella soluzione del suolo (riduzione dell'assorbimento di acqua dalle radici) o dagli effetti degli ioni specifici (squilibrio nutrizionale). I sintomi visivi includono crescita ritardata, piante stentate, foglie verde scuro e spighe sterili. (Abdullah *et al.* 2001; Bernstein 1975; Zeng e Shannon 2000).

In Casamance, il riso viene coltivato nell'arco di cinque mesi. La stagione di crescita consiste in tre fasi di sviluppo primarie: la germinazione, la fase di riproduzione fino alla fioritura e la fase di maturazione, dalla fioritura allo sviluppo del fiore. I vivai sono stabiliti da metà luglio ad agosto in montagna per prevenire il rischio di siccità e stress salino durante la germinazione. Le giovani piantine vengono quindi trapiantate in pianura a metà agosto dopo che la pioggia ha lisciviato parte dei sali accumulati durante la stagione secca. In questa fase, le piante di riso sono soggette a sia a stress osmotico che ione-specifico.

## STIME QUALITATIVE DEGLI ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ E ANALISI DEL RISCHIO

Trovandosi in una fascia di transizione tra regioni climaticamente contrastanti, il Senegal è un Paese sensibile agli impatti dei cambiamenti climatici; esso è esposto al fenomeno dell'erosione costiera ed essendo un Paese emergente, è parimenti afflitto dalla pressione generata dallo sviluppo socioeconomico e dalle sfide societarie.

I pericoli ai quali il Paese è soggetto sono legati ai processi naturali, antropici e socio-naturali, questi ultimi legati all'influenza che l'uomo esercita sulle normali dinamiche della natura.

La vulnerabilità delle popolazioni della Casamance, in carenza di servizi (sanitari, educativi, ecc.), infrastrutture e tutele da parte dello Stato centrale acuisce i rischi derivanti dall'intensificarsi dei processi naturali, dall'incipiente industrializzazione, dall'ammodernamento infrastrutturale, dallo sviluppo urbano e da un'evoluzione demografica afflitta dal problema delle migrazioni. A questo si aggiungono latenti conflitti interni non ancora stabilizzati che minano la crescita.

I principali rischi sono legati a inondazioni delle pianure fluviali e delle aree agricole, accentuate dalla contrazione della stagione umida e dall'estremizzazione dei fenomeni meteorologici, a potenziali incidenti industriali e nel trasporto di merci pericolose (TDG) date le carenti norme in materia di sicurezza, a incidenti nel trasporto marittimo, a criticità climatiche nel settore silvo-pastorale (siccità, variabilità a breve termine), ad epidemie nel settore zootecnico (attacchi di aviaria, epizoozia, patologie vegetali), erosione costiera e incendi boschivi.

Questi rischi tendono ad interessare con maggior intensità le popolazioni più vulnerabili e, di conseguenza, aumentano il fenomeno della povertà e della precarietà delle condizioni di sussistenza, alterando il normale processo di sviluppo della regione.

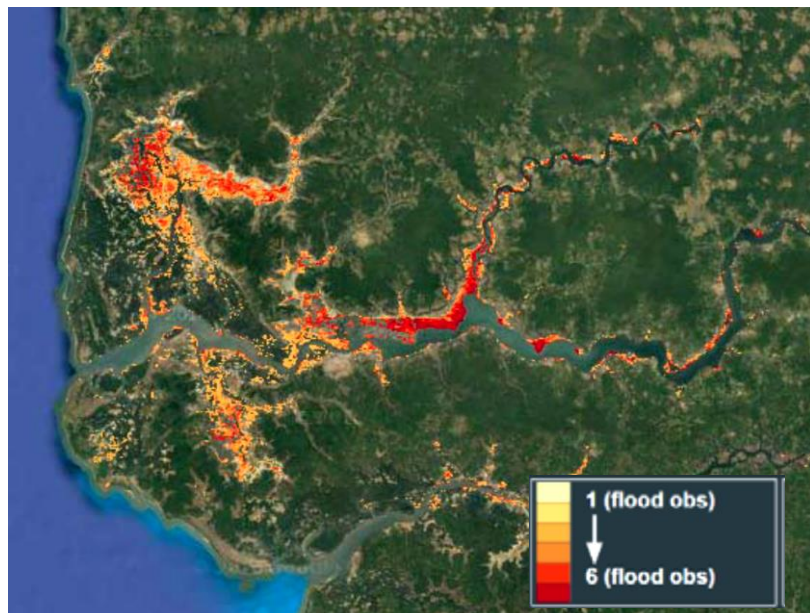
La costa senegalese è vulnerabile ad erosione e ad inondazioni marine a causa della bassa elevazione e della fragile natura dei sistemi deposizionali ed ecosistemi costieri, principalmente foreste di mangrovieti. Sebbene la regione costiera del Senegal sia stata popolata da millenni (Chauveau, 1986), l'occupazione del territorio si è notevolmente evoluta nel recente passato, trasformandola in un'area economica, demografica e sociale di pregio (anche e soprattutto grazie al turismo), e questa vulnerabilità rischia di limitare le opportunità di sviluppo.

### *Inondazioni*

L'articolo "Vulnérabilité sociophysique aux inondations au Sénégal" di B. Schwarts *et al.* pubblicato nel Febbraio 2017 dall'Agenzia Francese allo Sviluppo riporta i risultati di uno studio sulle inondazioni in Senegal e le sue conseguenze sociali.

I dati relativi all'estensione delle inondazioni sono stati acquisiti per ogni evento attraverso l'analisi di immagini satellitari da parte dell'Osservatorio sulle Inondazioni di Dartmouth (DFO Dartmouth Flood Observatory) il quale, per mezzo di uno specifico algoritmo che elabora i dati digitali delle immagini satellitari, mantiene un inventario delle principali alluvioni storiche globali.

In generale, l'algoritmo del DFO ha identificato il verificarsi di inondazioni nelle zone umide del delta e nelle pianure alluvionali prospicienti i fiumi della bassa Casamance (Figura 23), rappresentando con cromatismi diversi il numero di volte in cui un'area campione (i.e. un pixel dell'immagine satellitare), è risultata allagata a seguito di eventi calamitosi, in un dato periodo. Questa mappa evidenzia le aree che vengono regolarmente allagate durante i periodi di forti piogge ed eventi climatici avversi.



**Figura 23: Aree con maggior frequenza di alluvioni nella regione di Ziguinchor.**

L'estensione spaziale di ogni episodio calamitoso è stata calcolata in km<sup>2</sup> per ciascun dipartimento della Casamance al fine di evidenziare le aree che hanno sofferto delle alluvioni più persistenti (Tabella 3). Sulla base dell'analisi del DFO, la più grande inondazione in termini di estensione è stata causata dalle precipitazioni di agosto e settembre del 2007 (DFO 3180).

L'area allagata è una misura della gravità delle alluvioni, ma soprattutto è un modo per comprenderne l'impatto sulla popolazione. Con i nuovi progressi nella stima dei livelli di occupazione del suolo, distribuzione demografica e livello di povertà, utilizzando tecniche di apprendimento automatico e dati di telerilevamento (Jean *et al.*, 2016, Stevens, Gaughan, Linard e Tatem, 2015), è possibile quantificare demograficamente le aree interessate e valutarne quindi l'effettivo rischio.

Distretto	09-ago-03	20-ago-05	31-ago-07	24-ago-09	24-ago-12	06-ago-15
Bignona	235,5	300,6	333,5	67,8	2,2	90,4
Sedhiou	39,9	49,2	71,8	16,3	2,2	15,8
Oussouye	29,3	45,1	56,4	0	0	5
Ziguinchor	23,8	34,3	43,7	1,6	0	4,5
Velingara	10	1,9	10,6	0,2	0,3	3,4
Kolda	1	0	7,6	0,1	0,5	3

**Tabella 3: Distretti della Casamance con alluvioni più persistenti (km<sup>2</sup> per distretto alluvionati)**

### *Incendi*

Secondo il PARM (Platform for Agriculture Risk Management) ogni anno i paesaggi del Senegal subiscono incendi di vegetazione. Il CSE (Centre de Suivi Ecologique) ritiene che gli incendi siano di origine antropica (incendi volontari nei campi delle culture per evitare il verificarsi di incendi che avrebbero impatti più importanti). Questi problemi ricorrenti rappresentano una grande minaccia per la biomassa disponibile per l'alimentazione del bestiame.

Fino al 2006, c'è stato un costante aumento delle aree bruciate; successivamente, c'è stato un periodo di declino fino al 2008 prima che si raggiungesse di nuovo un picco significativo di 610.044 ettari bruciati da incendi boschivi, nel 2011. Il periodo successivo è stato caratterizzato da una drastica riduzione del 40% degli incendi boschivi in tutte le regioni del Senegal. Più in generale, nel decennio 2002-2012, l'area media annuale bruciata ha raggiunto i 791.332 ettari, il 59% dei quali può essere effettivamente descritto come incendio boschivo. Le regioni naturalmente dotate di biomassa e con grandi mandrie, hanno subito il danno maggiore (Kédougou, Tambacounda, Kolda e Sedhiou).

### *Rischi connessi a conflitti e tensioni*

Dal 1982, il Paese ha vissuto un periodo di forti tensioni in Casamance, le cui conseguenze principali sono state la difficoltà, talora l'impossibilità, di accesso ad aree agricole fertili. A causa della proliferazione di scontri armati e l'installazione di mine antiuomo, la forte concorrenza per l'accesso alla terra in aree protette, lo spostamento forzato di individui e una drastica riduzione della produzione agricola ha portato ad una maggiore insicurezza alimentare (Banca mondiale, 2013, D'Alessandro *et al.*, 2014). Nel nord del paese e anche nelle Niayes, l'estensione dell'agricoltura, lo sviluppo dell'agro-impresa e l'urbanizzazione hanno portato a una compressione dell'area di produzione.

I conflitti persistenti tra agricoltori e pastori sono fenomeni che tuttora preoccupano la maggior parte degli attori istituzionali e sono al centro dei dibattiti pubblici, sebbene in molti casi permangano forti complementarità tra questi due tipi di produttori.

I vari governi del Senegal hanno storicamente e successivamente adottato approcci globali a supporto dell'allevamento. Tuttavia, in termini di una gestione più specifica del rischio del sotto-settore della zootecnia, le autorità statali hanno risposto, come in passato, con un sussidio finanziario diretto alle popolazioni rurali in generale e agli allevatori in particolare.

### *Erosione costiera*

Lunga circa 86 km, la costa di Casamance ospita importanti attività economiche (soprattutto turistiche) e alte concentrazioni urbane. È molto marcata dall'erosione costiera, specialmente nelle isole e in altre località della costa atlantica (Diogué, Kafountine, Abéné, Carabane). Gli indicatori di erosione costiera combinati con i dati d'innalzamento del livello del mare sono evidenti: a titolo di esempio, il faro di Diogué, sulla foce del fiume Casamance, è oggi a più di cento metri nell'acqua. In meno di 40 anni, quindi, la linea di costa è arretrata significativamente costringendo gli insediamenti a trasferirsi e le persone ad abbandonare campi di riso e boschi sacri. L'industria del turismo è stata duramente colpita da questo fenomeno, sia indirettamente per la distruzione di infrastrutture che direttamente, a causa di danneggiamenti alle strutture recettive costiere che hanno forzato gli operatori all'abbandono o alla riconversione della loro profittevole attività.

Le registrazioni dei mareografi disponibili da almeno 150 anni indicano che il mare ha iniziato a risalire nel corso del ventesimo secolo ad una velocità media di 1,8 mm all'anno. Negli ultimi due decenni, questo aumento è quasi raddoppiato rispetto ai decenni precedenti: lo dimostrano le osservazioni dei satelliti altimetrici franco-americani Topex/Poseidon, Jason-1 e Jason-2, sviluppati dal CNES (National Center for Space Studies) e dalla NASA (National Aeronautics and Space Administration degli Stati Uniti d'America).

Attualmente, il tasso medio globale di aumento del livello marino raggiunge i 3,2 millimetri annui. Tutti gli elementi suggeriscono che l'attuale innalzamento del livello del mare è collegato al riscaldamento globale che sta interessando il pianeta negli ultimi decenni. Durante la seconda metà del 20° secolo l'oceano si è riscaldato portando ad un'espansione termica che spiega parte dell'aumento osservato. A questo si aggiunge la diminuzione di volume dei ghiacci polari (Groenlandia e Antartide) che ha portato all'immissione di un eccesso di acqua liquida negli oceani globali.

Altro fattore determinante nell'arretramento delle coste è la riduzione dell'apporto sedimentario da parte dei fiumi a causa della costruzione di dighe e del prelievo di inerti dagli alvei per sostenere lo sviluppo di infrastrutture e l'espansione urbana. Effetti locali li hanno anche determinati i cambiamenti nella geomorfologia costiera, la diversa configurazione delle correnti litoranee, le opere idrauliche a mare e l'intensa urbanizzazione.

Allo stato attuale, ci si chiede qual è davvero l'evoluzione della costa in Africa occidentale. È possibile avere un'idea, facendo riferimento a una recente tesi sulla dinamica delle coste sabbiosa dalla Mauritania in Guinea-Bissau, ivi compreso il tratto della Casamance (Faye, I.B.N., 2010) e alla Figura 24 tratta da essa, dove si evidenzia l'evoluzione della costa settentrionale di Casamance dal 1986 al 2000. L'erosione costiera è documentata e dal lavoro di Faye si evince che è un fenomeno generalizzato a tutta l'Africa Occidentale.

Nel decennio 2000-2010, gli abitanti delle zone rivierasche hanno segnalato l'avanzamento del mare, la distruzione delle spiagge e delle strutture turistiche nella regione di Kafountine e, a seguire, nella regione più turistica della Casamance, presso Cap Skirring.

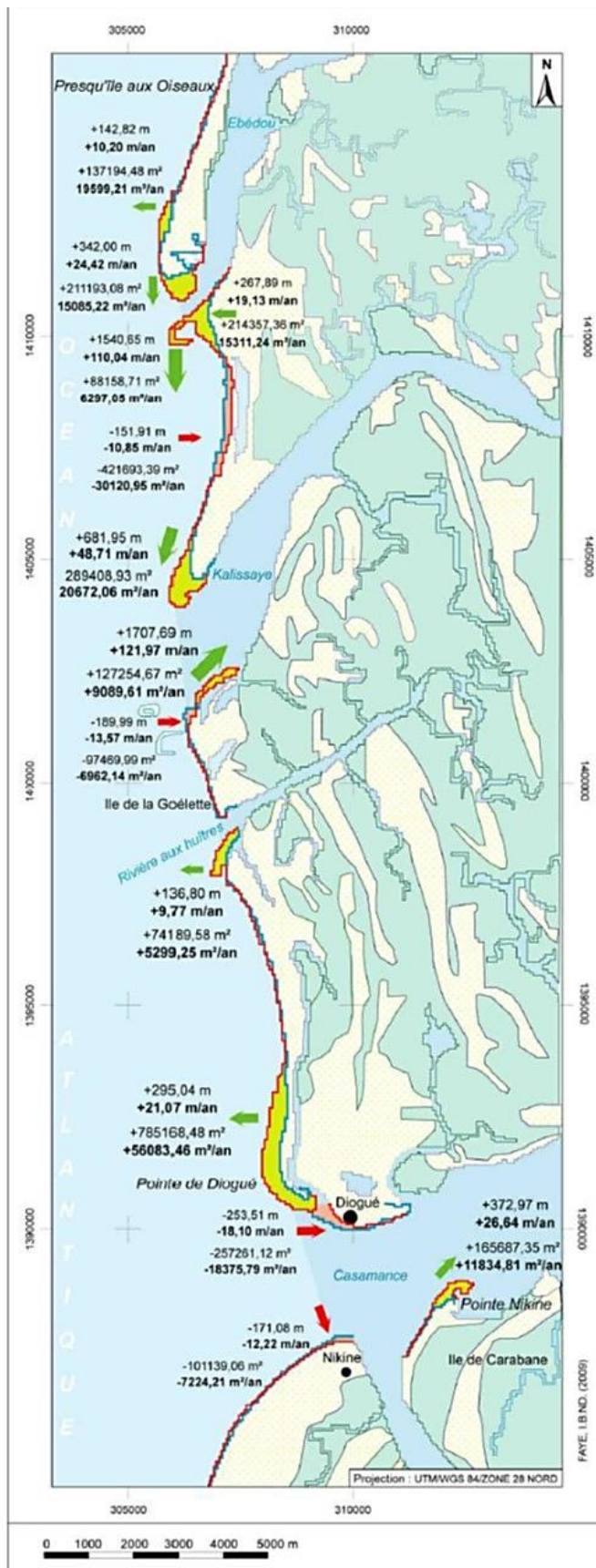
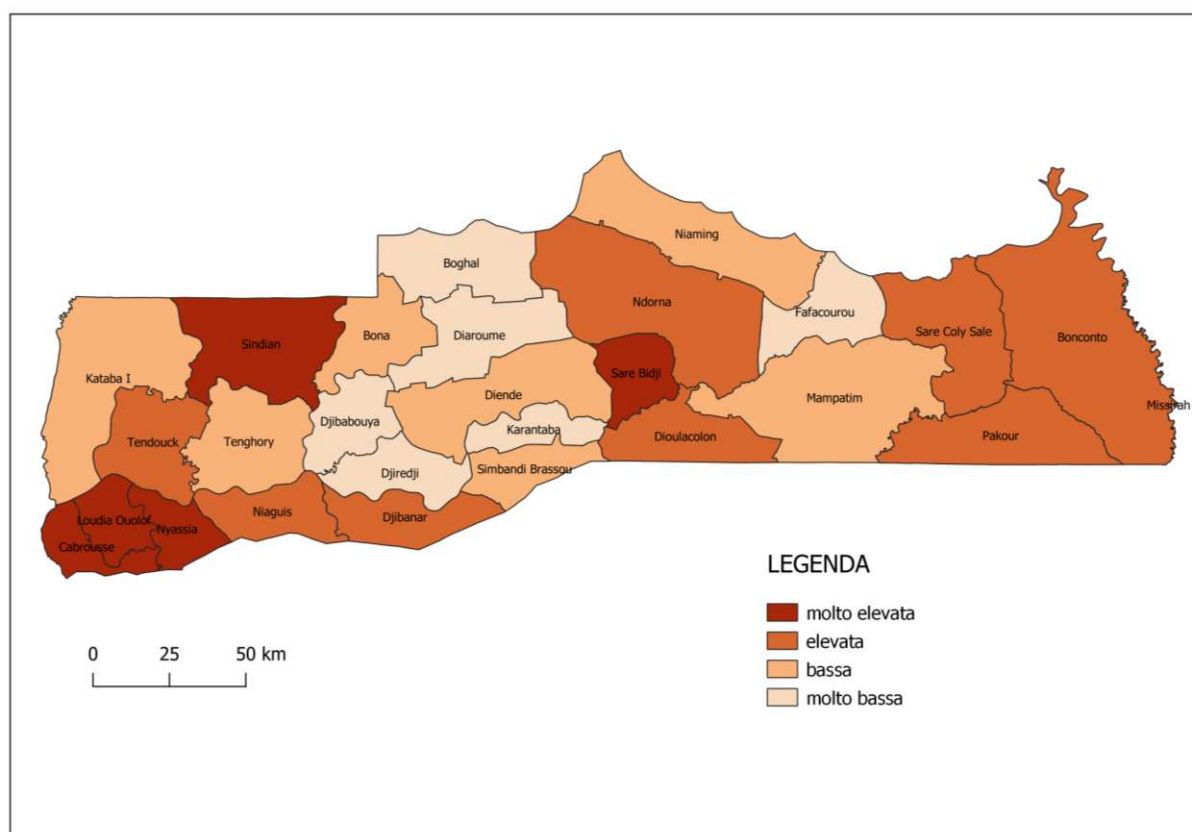


Figura 24: Evoluzione di un tratto di costa della parte settentrionale della Casamance, dal 1986 al 2000 (da Faye, 2010)

## Elementi di vulnerabilità

L'indice di vulnerabilità sociale (SoVI) viene generato per il Senegal utilizzando un'analisi strutturata su diciannove indicatori, raggruppabili in 5 dimensioni: 1) mancanza di risorse, 2) età (persone anziane), 3) disabilità, 4) poli demografici densi, e 5) aumento della popolazione dovuto ai movimenti migratori interni. L'indice di vulnerabilità in seguito è classificato in quattro categorie: molto basso, basso, alto e molto alto.

In Senegal, gli autori dell'articolo "Vulnérabilité sociophysique aux inondations au Sénégal" pubblicato nel Febbraio 2017 dall'Agenzia Francese allo Sviluppo hanno rivelato che circa 5 milioni di persone vivono in distretti con un profilo di vulnerabilità sociale molto elevato.



**Figura 25: Analisi di vulnerabilità nei distretti della Casamance, realizzata mediante banca dati a base GIS con i dati ricavati dall'articolo "Vulnérabilité sociophysique aux inondations au Sénégal" pubblicato nel Febbraio 2017 dall'Agenzia Francese allo Sviluppo.**

L'analisi ha dimostrato che gli altissimi profili di vulnerabilità sociale in Senegal sono concentrati principalmente nei distretti di grandi città come Dakar, Thiès, Kaolack e Ziguinchor, per quello che riguarda la Casamance, nonché nei distretti situati nei pressi di queste concentrazioni urbane. In Figura 25 sono stati riportati i dati di vulnerabilità relativi ai distretti della Casamance.



In Senegal, la popolazione urbana che vive nelle aree periferiche è stata spesso identificata come il gruppo più vulnerabile alle catastrofi naturali. A causa delle disuguaglianze nella distribuzione del reddito e del fatto che i principali settori di attività si trovano principalmente in città, l'esodo rurale è un fenomeno molto comune. Una migrazione su vasta scala e rapida dalle aree rurali ai centri urbani (e.g. St. Louis, Kaolack, Tambacounda e Dakar), la quale porta a un'espansione non pianificata delle città è stata identificata come uno dei principali fattori di cambiamento dell'idrologia regionale (Banca mondiale, 2012).

I migranti interni che vivono alla periferia delle grandi città non beneficiano di infrastrutture e servizi urbani e sono spesso considerati ai fini statistici popolazione rurale. Inoltre, le politiche di supporto si adeguano con ritardo ai cambiamenti demografici che avvengono in queste aree periferiche in rapida espansione, e questa risposta tardiva alle esigenze della popolazione rurale recentemente inurbata porta all'occupazione più o meno controllata di aree periferiche pianeggianti e mal drenate soggette più di altre a rischio inondazioni.

Ne consegue, che la popolazione di migrazione recente forma spontaneamente quartieri urbani privi di adeguati sistemi fognari e di drenaggio.

Queste complesse dinamiche legate alle migrazioni interne e all'espansione urbana hanno portato ad un aumento della vulnerabilità sociale della popolazione senegalese in generale e della Casamance in particolare.

Questo impatto dell'urbanizzazione sull'idrologia superficiale e la conseguente vulnerabilità delle popolazioni recentemente inurbate è ben illustrato dall'esempio delle forti piogge del 2012 a Sedhiou che hanno provocato gravi disastri per l'effetto combinato dei cambiamenti climatici e della crescita urbana non pianificata. In sostanza, l'urbanizzazione incontrollata nelle periferie delle città ha cambiato l'idrologia superficiale su scala regionale ostruendo l'evacuazione delle acque di pioggia verso l'oceano.

## **POSSIBILI SOLUZIONI AGLI EFFETTI DEL DETERIORAMENTO CLIMATICO**

Il declino della Casamance a seguito di congiunture sfavorevoli legate da un lato all'instabilità politica, dall'altro alla inconsistenza degli interventi a supporto dello sviluppo socioeconomico (carenza di infrastrutture e servizi), ma soprattutto a causa di un clima in deterioramento richiede interventi che invertano le attuali tendenze di salinizzazione e pongano rimedi alla crisi dell'agricoltura che è il settore al quale è affidata gran parte dei mezzi di sussistenza delle comunità.

A causa della contrazione della stagione umida in presenza di un persistente significativo apporto di precipitazioni, il drenaggio ha assunto carattere catastrofico, con erosione accelerata del suolo, del terreno agricolo e danni ai raccolti.

Allo stesso tempo, la salinizzazione dell'estuario è proceduta verso monte in maniera drastica causando arricchimento in sali delle falde freatiche delle piane mareali e alluvionali prospicienti l'alveo, causando scarsa produttività quando non anche sterilità dei terreni e forzato abbandono dei campi un tempo fertili.

Non esistendo altre opportunità di sussistenza per le comunità locali oltre l'agricoltura, mancando un'industrializzazione della regione e mancando possibilità d'impiego nel settore terziario, la situazione è diventata gradualmente insostenibile favorendo l'emigrazione.

Una zona potenzialmente produttiva per via di un clima non ostile vive una crisi idrica e climatica che le amministrazioni locali e il Governo centrale hanno ritenuto essere degna di attenzione.

I tradizionali interventi a mitigazione della salinizzazione dei terreni - dighe che contrastino la risalita del cuneo salino - in Casamance non solo non hanno funzionato ma, come nel caso di Affiniam, hanno incomprensibilmente esacerbato il fenomeno causando massiccia precipitazione del sale sulla superficie di piane mareali che prima dell'intervento ne erano quasi esenti. Se la falda salinizzata poteva in qualche modo supportare una coltura di riso tollerante al sale, la formazione di croste saline in superficie e verosimilmente di solfati nel suolo ha reso il terreno impraticabile e conseguentemente l'abbandono.

Evidentemente, l'intervento effettuato in assenza di una comprensione del fenomeno, non ha sortito gli effetti sperati.

Per una risoluzione del problema della salinizzazione in Casamance e per mitigare gli effetti della crisi idrica in cui versa la regione, con tutte le conseguenze a cascata sui mezzi di sussistenza e sul benessere delle popolazioni, occorre:

- Comprendere il fenomeno della precipitazione del sale, cioè l'idrologia superficiale dell'estuario e idrogeologia delle falde acquifere che ricevono diretta alimentazione da esso;
- Comprendere le cause dell'ipersalinità, che è fenomeno più grave della salinizzazione per via dei livelli di concentrazione raggiunti dalle acque in seguito al processo evaporativo e dei sali che in conseguenza di esso precipitano (non solo cloruri, facili da dilavare, ma anche solfati meno solubili e facilmente rimovibile);
- Rimediare alla dissipazione incontrollata dell'acqua che piove in gran copia ma che viene dispersa tramite inondazioni lampo esiziali per il suolo e il raccolto;
- Elaborare un piano di gestione delle acque che tenga conto delle esigenze d'irrigazione, primariamente, della distribuzione della risorsa per usi civili ma anche ai fini della lisciviazione perquisito per il ripristino della fertilità dei terreni;
- Tramite un'analisi dell'uso e copertura del suolo, fare un censimento delle terre attualmente in uso per l'agricoltura, ivi compreso il titolo di proprietà formalizzato o acquisito per diritto consuetudinario;
- Mediante analisi pedologica dei suoli salinizzati e analisi geochimiche delle acque di falda caratterizzare le singole parcelle e categorizzarle secondo la loro potenzialità di recupero;
- Data come irrecuperabile una certa frazione del territorio, approntare un piano di ricomposizione fondiaria, previo studio di fattibilità mediante consultazioni con le comunità locali, rilievi mediante questionario (strutturato o semi-strutturato, in funzione del grado di educazione degli informatori-chiave) FGD (focus-group discussions) e altri metodi di valutazione partecipata dello stato dell'agricoltura (PRA, Participatory Rural Appraisal, RRA, Rapid Rural Appraisal e SLA, Sustainable Livelihood Analysis).

## PROGETTAZIONE DI UNA RETE DI MONITORAGGIO IDRO-METEREOLOGICO

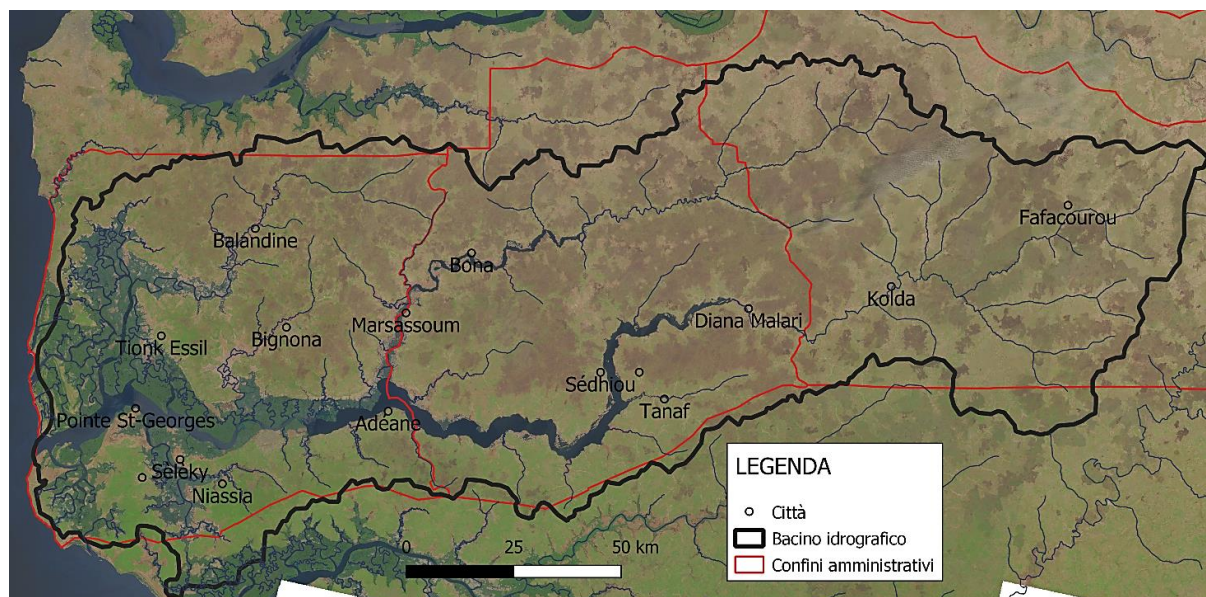
Al fine di mitigare gli effetti negativi della variabilità climatica e per predisporre interventi preparatori ai punti elencati nel paragrafo precedente, è necessario allestire un sistema di strumenti per il controllo dei parametri ambientali che acquisiscano dati con continuità e per tempi sufficientemente lunghi tali da fornire una dimensione dei fenomeni, prevederne la portata e gli impatti ed eventualmente adottare strategie di gestione e riduzione del rischio disastri (DRM e DRR).

Non solo l'acquisizione dati consente di stimare la dimensione e il decorso nel tempo di fenomeni per loro natura erratici, quali i fenomeni climatici, ma consente di simularne gli effetti attraverso procedure di modellizzazione.

### *Finalità della rete*

Il bacino idrografico del Fiume Casamance (Figura 26) e le caratteristiche geochimiche delle sue acque sono influenzati dalle dinamiche oceaniche, dalla circolazione estuarina che si instaura nei pressi della foce e lungo il basso corso e dal sistema fluviale con il suo apporto di acque dolci.

Un estuario è sostanzialmente un braccio di mare che si incunea nel continente, è naturalmente salino e presenta le caratteristiche dell'oceano del quale condivide le acque.



**Figura 26: Bacino idrografico del fiume Casamance, realizzato in GIS analizzandone il corso, quello dei suoi affluenti e la topografia.**

Parimenti, risente dell'influenza fluviale a causa del trasporto sedimentario dal continente che vi si instaura e dell'apporto di acqua dolce. La miscelazione delle due masse d'acqua crea le

condizioni per un ambiente salmastro che in condizioni di aridità del clima può divenire anche ipersalino a causa dell'eccesso di evaporazione.

L'estuario del Casamance presenta condizioni estreme in quanto le sue acque sono ipersaline (salinità superiore al 40%); le quali mantengono e aumentano le loro caratteristiche di ipersalinità lungo il corso del fiume per quasi un centinaio di chilometri dalla foce verso monte. Questa situazione non sembra migliorare nonostante le abbondanti piogge stagionali che tuttavia, negli ultimi anni hanno subito una contrazione, riducendosi sia la quantità che la durata.

La mancanza di dati in serie temporali continue e la rapida variabilità climatica che sembra interessare la regione richiede un intervento urgente di pianificazione e realizzazione di una rete di monitoraggio idro-meteorologico per avere:

- Un controllo sui dati meteorologici e loro stagionalità, per avere accesso alla distribuzione delle precipitazioni su tutto il bacino idrografico<sup>1</sup>;
- Un controllo geochimico delle acque, in senso spaziale lungo tutto il corso del fiume e secondo profili verticali, che permetta di verificare la stagionalità della stratificazione delle acque dolci e salate, presumibilmente diversa nelle stagioni piovosa e arida, allorquando si esalta il processo di mixing;
- Un controllo geochimico delle acque interne, come agente di contrasto alla risalita del cuneo salino;
- Un controllo delle portate del fiume e di suoi affluenti.

Una rete di acquisizione dati idro-meteorologici è un sistema di strumenti che permette di rilevare in maniera automatica e in tempo reale dati relativi ai parametri ambientali a fini di ricerca, prevenzione dalle catastrofi di natura idro-geologica, modellizzazione dei fenomeni naturali, progettazione di opere, salvaguardia del patrimonio e tutela delle comunità attraverso l'allertamento precoce.

Nonostante la finalità principale di una rete di monitoraggio sia quella di ricerca e miri all'acquisizione di serie di dati storici fondamentali per la modellizzazione e comprensione dei fenomeni naturali, inclusi quelli di salinizzazione che hanno la loro causa prima nella variabilità climatica e regimi idraulici, la configurazione studiata prevede l'utilizzo della rete anche per fini pratici di allerta preventiva in caso di disastro imminente e monitoraggio della qualità dei corpi idrici in alcuni tratti del fiume, dove sia previsto l'uso della risorsa per usi civili.

Date le caratteristiche del territorio e del supporto tecnologico lacunoso, la modalità di trasmissione previste sono principalmente tre: rete cellulare, modem satellitare e/o rete radio. All'interno di una stessa rete di monitoraggio possono coesistere differenti modalità di

trasmissione dati: ad esempio, il mezzo principale può essere un modem cellulare ma nel caso di installazione in siti remoti non serviti dalla rete radiomobile si può optare per la trasmissione satellitare e/o trasmissione radio per ragioni di affidabilità.

### *Principali fattori da considerare per la configurazione di una rete*

Esiste una molteplicità di elementi critici da considerare nella progettazione di una rete di monitoraggio:

- analisi accurata del sito di installazione delle stazioni, al fine di garantire le esigenze di rappresentatività, sicurezza e significatività dei dati misurati dalla strumentazione, assicurando la continuità di misura del dato;
- scelta puntuale, per ogni sito, della configurazione di installazione più rispondente alle esigenze di affidabilità, precisione, economicità, sicurezza della misura e manutenibilità degli strumenti. A questo scopo, si sono considerate differenti tipologie di installazione, per meglio corrispondere alle caratteristiche dei siti;
- raggiungimento della massima affidabilità delle singole apparecchiature di monitoraggio, ottenuta mediante progettazione specifica eseguita con ampi margini rispetto alle specifiche dichiarate. Soprattutto per installazioni in siti remoti occorre prestare la massima attenzione alla scelta dei componenti e dei fornitori, operare collaudi sistematici delle apparecchiature, assicurare una continua messa a punto in campo attraverso personale dotato di esperienza applicativa, ottimizzando la progettazione iniziale sulla base dei *feedback* dei tecnici di manutenzione;
- minima necessità di manutenzione di tutte le apparecchiature quale elemento essenziale, date le condizioni ambientali e operative, per la garanzia di buon funzionamento per lungo tempo dell'intero sistema e conseguente contenimento dei costi di gestione. Queste condizioni sono ottenibili anche grazie a:
  - procedure automatiche di autodiagnosi dell'intero sistema, che permettono di identificare facilmente i possibili malfunzionamenti, rendendo le operazioni di riparazione semplici e veloci;
  - modularità delle componenti, che ne permette una facile sostituzione;
  - autoconfigurazione di moduli e sensori della stazione, che rendono le operazioni di riparazione semplici anche da parte di personale non esperto;
  - ampia gamma di possibili interventi in tele-manutenzione, sia per la centrale che per le apparecchiature periferiche, che ottimizzano tempi ed efficacia degli interventi.

- protezione delle apparecchiature sia dagli agenti esterni sia dalla propagazione dei guasti interni, ottenuta mediante l'uso di contenitori a protezione totale, ma che consentono la ventilazione naturale e l'interposizione di circuiti di protezione dalle sovratensioni e dai disturbi;
- completa intercambiabilità delle parti componenti le apparecchiature, garantendo la semplificazione totale delle operazioni a campo (manutenzione, riparazione o integrazione) introducendo significativi benefici in termini di affidabilità ed economicità;
- realizzazione di interfacce con gli operatori semplici e amichevoli, in termini di gestione corrente, dedicate allo specifico campo di applicazione, per agevolarne l'utilizzo anche da parte di personale non esperto;
- soddisfacimento dei requisiti standard indicati dal WMO (World Meteorological Organization) per la misura dei parametri idro-meteorologici delle stazioni di nuova generazione.
- funzionamento delle apparecchiature 24 ore su 24.

### ***Rete idrometrica***

La rete idrometrica prevista in questo esercizio di progettazione (Figura 27) si struttura su diverse tipologie di sonde a seconda dei parametri da analizzare, tra i quali salinità, qualità delle acque, velocità superficiale dei flussi e livello idrometrico. Tali sonde sono tutte collegate ad un *data-logger* che consente di gestire tutti i sensori e trasmettere i dati raccolti ad un centro di controllo per essere immagazzinati in una banca-dati.

Le stazioni da installare per il monitoraggio in campo saranno complete di tutto quanto necessario per funzionare in completa autonomia, tramite alimentazione propria con pannello solare e batteria tampone. Per completezza di copertura dell'intero bacino idrografico, si propone di installare sul corso principale del fiume e degli affluenti più importanti:

- 11 stazioni idrologiche, per misure del livello idrometrico situate a valle e a monte delle dighe antisale e sui piloni di ponti;
- 2 stazioni idrologiche dotate di sonda multi-parametrica per analizzare, oltre alla salinità, una gamma di parametri che definiscono la qualità delle acque, tra i quali, pH, alcalinità, torbidità, nutrienti (N e P totali). Dato il particolare interesse, le sonde saranno collocate in sezioni strategiche del fiume per visualizzare l'andamento della salinità lungo tutto il corso;
- 3 stazioni con idrometro e sensore di velocità superficiale dell'acqua, situate sui ponti, per il calcolo delle portate.

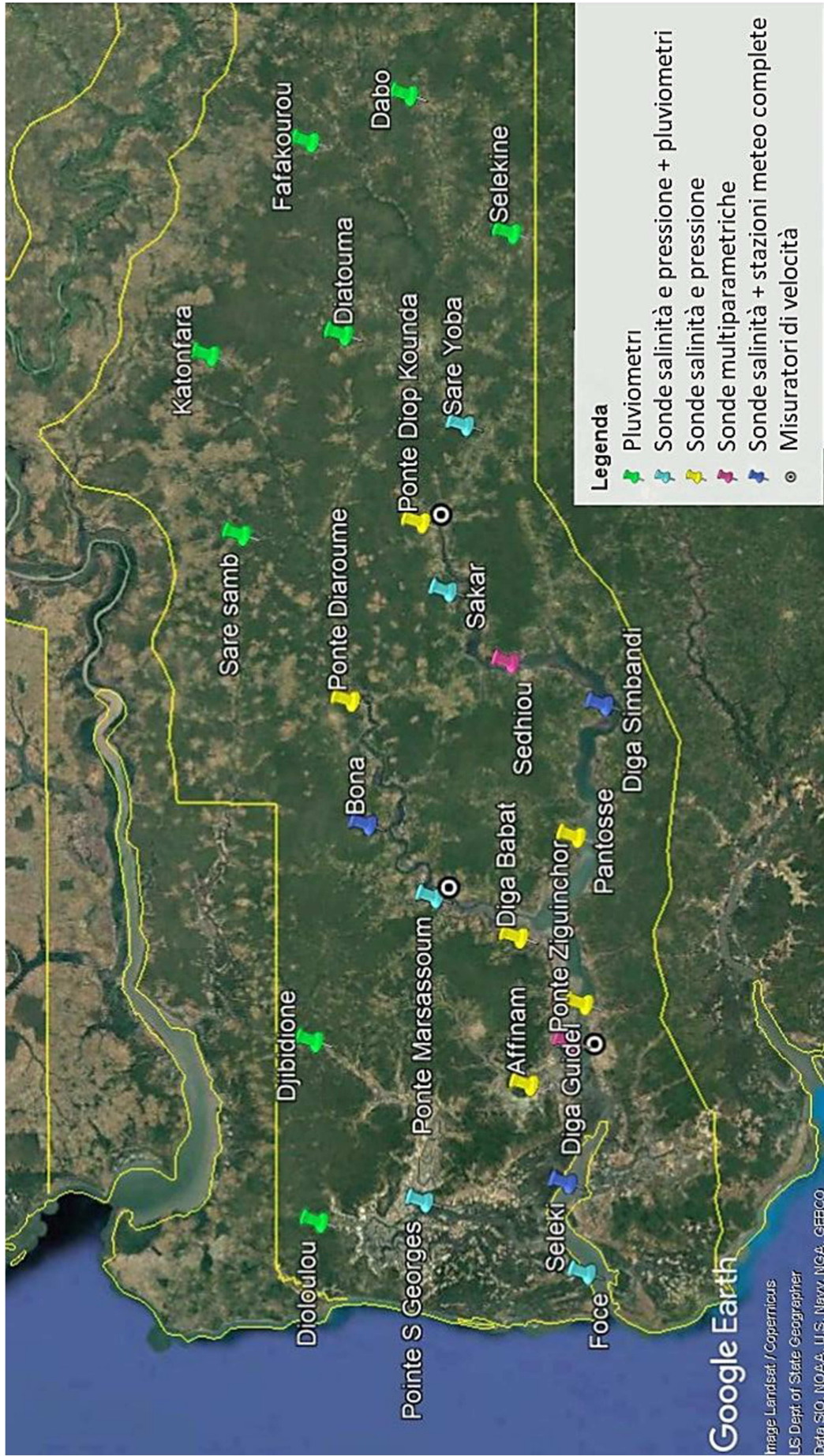


Figura 27: Configurazione del sistema di stazioni meteorologiche e sonde all'interno del bacino del fiume Casamance, realizzata in Google Earth identificando le zone idonee all'installazione delle stazioni.



### *Sonde di salinità e pressione*

Le sonde sono strumenti professionali (Figura 28) in grado di effettuare una misura simultanea di diversi parametri. Nel nostro caso, oltre alle informazioni riguardanti la pressione idrostatica a diversi livelli di profondità, esse trasmettono anche altri dati relativi a parametri dell'acqua, quali la temperatura e la conduttività.



*Figura 28: Esempio di sonda di salinità o multi-parametrica da installare nelle varie stazioni.*

I dati relativi alla pressione ci consentono di calcolare il livello idrometrico del fiume mentre combinando misure di conducibilità e temperatura, la sonda fornisce direttamente il valore della salinità dell'acqua.

La dislocazione di queste sonde, ad una distanza di circa 20 km l'una rispetto all'altra lungo tutto il corso del Casamance, ha lo scopo di descrivere l'evoluzione del profilo longitudinale della salinità dalla sorgente alla foce e alla confluenza dei suoi affluenti.

Dove possibile, queste sonde saranno installate sui piloni di ponti in modo tale da poter ottenere un profilo trasversale e verticale dei valori di salinità lungo la sezione, per comprendere la stratificazione e il rimescolamento stagionali, come da ubicazione presentata nel progetto di Figura 29.

Lungo il corso principale del fiume sono presenti numerose dighe antisale che isolano l'alveo dagli affluenti laterali minori, onde evitare la risalita dell'acqua salmastra nei corsi secondari. In questo si è previsto di installare sonde sia a monte che a valle delle dighe, al fine di misurare la loro efficacia quindi la differenza di concentrazione salina.

Per avere una loro distribuzione omogenea di strumenti lungo il corso del fiume, distanziati regolarmente di circa 20 km l'uno dall'altro, in assenza di ponti, dighe o manufatti, sarà necessario procedere alla costruzione di strutture di supporto (Figura 30): in questi casi, l'esatto posizionamento e il tipo di supporto saranno studiati sul posto in funzione delle situazioni locali.

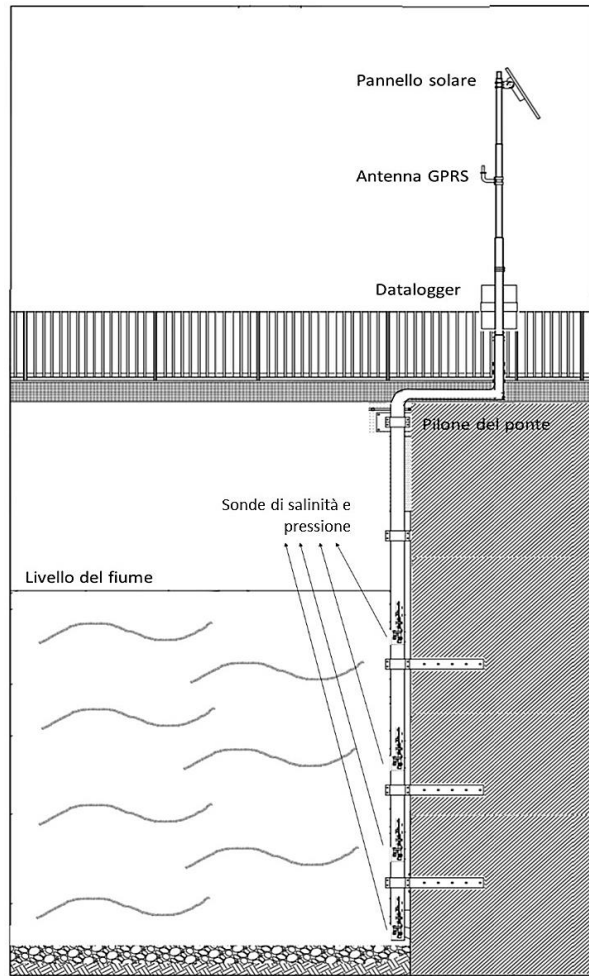


Figura 29: Esempio di progetto dell'installazione di più sonde di salinità al fine di ottenere un profilo trasversale del parametro registrato.

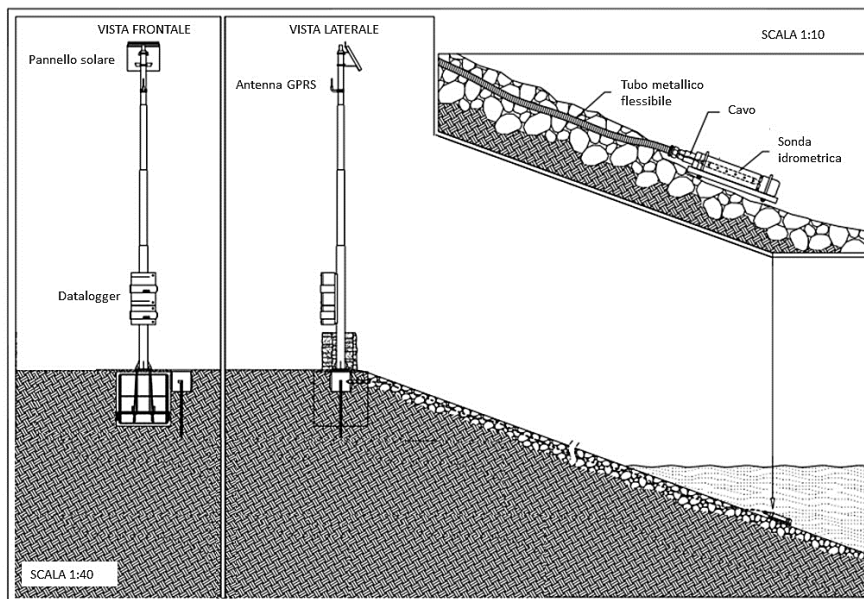


Figura 30: Esempio di progetto per l'installazione di sonde di salinità o multi-parametriche sulla sponda del fiume.

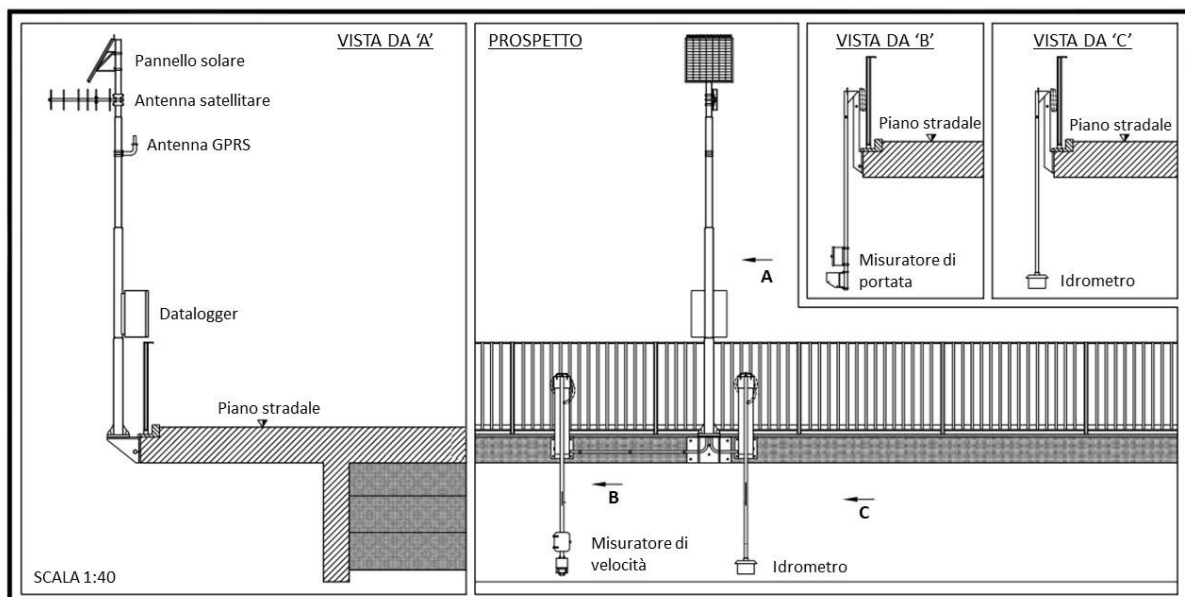
## Sonde multi-parametriche

Le sonde multi-parametriche sono strumenti che integrano una serie di sensori in grado di ottenere una misura simultanea di diversi parametri, che danno un quadro completo della qualità delle acque. Per qualità dell'acqua si intende la valutazione dell'idoneità dell'acqua per uno scopo o applicazione specifica, come ad esempio in questo caso l'agricoltura o usi civili. Questa valutazione viene fatta, monitorando le proprietà fisiche, la composizione chimica e il contenuto biologico (microbico) dell'acqua, sulla base di specifiche condizioni o di specifici bisogni.

La qualità dell'acqua può essere influenzata negativamente sia da fattori naturali che da fattori artificiali. I parametri principali per valutare la qualità dell'acqua sono il pH, conducibilità elettrica e la temperatura; a questi si affianca solitamente anche la misura dell'ossigeno disciolto. Ulteriori parametri importanti e spesso monitorati sono la torbidità, nitrati, ammonio e grandezze derivate dalla conducibilità elettrica, quali la salinità. Ogni parametro ha alcuni standard e linee guida generali per determinare se un campione testato deve essere considerato accettabile o pericoloso.

## Idrometri per livello idrometrico

Per ottenere valori di livello idrometrico di un fiume, lo strumento più adatto è l'idrometro radar (Figura 31). Non essendo a contatto con l'acqua, l'installazione e la successiva manutenzione di questo sensore risulta semplice; lo strumento può essere installato direttamente sul ponte eliminando il rischio di danneggiamenti dovuti al trasporto solido della corrente. Il sensore fornisce tramite la tecnologia radar dati affidabili di livello e, collegato allo stesso data-logger utilizzato per le altre sonde, registra e spedisce i dati misurati al centro di controllo.



**Figura 31: Progetto di installazione di un idrometro radar e di un misuratore di velocità su un ponte stradale.**

### *Idrometri per velocità superficiale dell'acqua*

Il sensore di velocità superficiale dell'acqua è progettato per la misura, senza contatto con il mezzo, della velocità media superficiale di un corpo idrico sfruttando il principio dell'effetto Doppler. I parametri di velocità superficiale e di livello idrometrico del fiume, mediante un algoritmo incorporato nel data-logger, consentono di calcolare direttamente la misura della portata. Le misure continue nel tempo e la registrazione dei dati anche in condizioni estreme forniscono un importante contributo nel calcolo delle portate e dei loro andamenti caratteristici.

### *Rete meteorologica*

Le stazioni meteorologiche sono costituite da un insieme di strumenti di misura che permettono di registrare e monitorare le condizioni fisiche dell'atmosfera in un dato luogo, per un tempo indefinito, relativamente ai suoi parametri fondamentali.

Date le condizioni fisiografiche del bacino idrografico del Casamance si prevede di installare:

- 12 pluviometri, equamente distribuiti sul bacino, che misurano la quantità e l'intensità di pioggia in tempo reale;
- 3 stazioni meteorologiche complete di anemometro, pluviometro, termo-igrometro, barometro ed evaporimetro.

Il posizionamento di queste stazioni nella mappa di Figura 27 è da considerarsi indicativo in quanto sarà necessario un sopralluogo per identificare lo spazio idoneo all'installazione.

### *Pluviometri*

Per una copertura ottimale dell'area, i 12 pluviometri devono essere installati con distribuzione omogenea sulla superficie del bacino idrografico, in luoghi accessibile e raggiungibili da strade.

Considerando la fisiografia della Casamance e la necessità di installare strumenti in zone talora remote, è preferibile pensare a stazioni che non necessitino di particolare manutenzione, facendo ricadere la scelta sui pluviometri stand-alone. La particolarità di queste stazioni è che non richiedono di essere collegate ad un data-logger ma, mediante un semplice modem 3G integrato in esse, provvedono ad inviare le misurazioni in autonomia ad un server. I dati inviati da questi strumenti sono relativi alla precipitazione cumulata e alla sua intensità, al minuto.

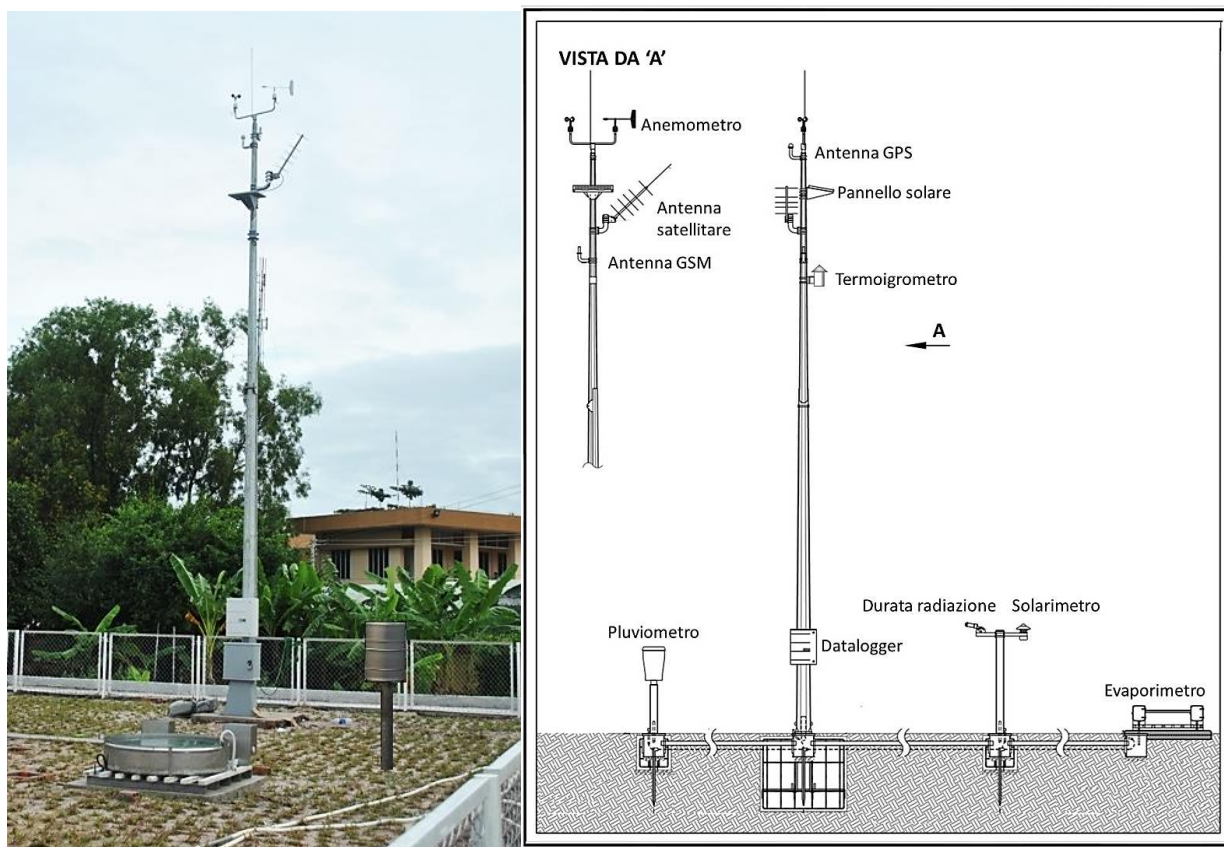
Questi pluviometri sono alimentati da batterie standard, ricaricabili tramite un piccolo pannello solare, e caratterizzati da bassi consumi e facilità di installazione.

### *Stazioni meteorologiche*

Le stazioni da installare per il monitoraggio in campo saranno complete di tutto quanto necessario per funzionare in completa autonomia, tramite alimentazione propria con pannello solare e batteria tampone.

La stazione tipo ritenuta idonea per la Casamance, raffigurata nelle Figure 32 e 33, include:

- Data-logger per acquisire, memorizzare e rendere disponibili i dati;
- Pannello solare e batteria, necessari per far funzionare la stazione in completa autonomia;
- Sistema di trasmissione dati;
- Anemometro, per misurare la velocità e direzione del vento;
- Termo-igrometro, per misurare la temperatura e l'umidità dell'aria;
- Barometro, per misurare la pressione atmosferica
- Pluviometro, installato separatamente ma comunque collegato al data-logger, per registrare dati cumulativi di pioggia e della sua intensità;
- Evaporimetro, per studiare la dinamica dei flussi di evaporazione;
- Solarimetro, per misurare l'intensità della radiazione solare;



**Figura 32 e Figura 33: Esempio di stazione meteorologica completa di tutta la strumentazione descritta. In basso, in posizione separata, si noti il pluviometro. A destra esempio di progetto di una stazione meteorologica completa.**

Per permettere che una stazione meteorologica rilevi dati omogenei e congruenti con quelli delle altre stazioni del sistema, requisito necessario ai fini di indagini climatiche, occorre seguire precise norme dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale in merito al posizionamento e alle concezioni costruttive della stazione stessa. In particolare,

- i sensori di temperatura e di umidità devono essere alloggiati all'interno di un apposito schermo solare passivo o ventilato e rialzato da terra di 180–200 cm. In assenza di schermo solare, il termometro rileverebbe non la temperatura reale dell'aria, ma quella del termometro stesso riscaldato dalla radiazione solare incidente per assorbimento diretto;
- la stazione dev'essere installata su tappeto erboso naturale, tagliato di frequente o tappeto sintetico di colore verde;
- i sensori del vento devono essere posti ad un'altezza di 10 m e ad una distanza pari a 10 volte l'altezza dell'ostacolo più alto (per evitare che turbolenze indotte perturbino la lettura).

### *Datalogger*

Ogni componente della stazione meteorologica, escluso il pluviometro stand-alone, è collegato ad un data-logger che permette di registrare e rendere disponibili i dati tramite strumenti trasmissivi quali moduli di trasmissione cellulare. Queste unità di acquisizione sono dotate di *data-logger multi-hazard* ai quali sono affidate tutte le attività di gestione delle strumentazioni presenti a campo.

L'alta capacità di calcolo dello strumento permette un completo funzionamento multifunzione, ovvero permette di eseguire molteplici operazioni contemporaneamente. Le attività di comunicazione ed elaborazione dati del data-logger richiedono, in condizioni d'uso normale, tempi dell'ordine di grandezza di alcuni secondi. Questo permette di ottimizzare il funzionamento del data-logger limitando notevolmente i consumi.

## GESTIONE DELLE ACQUE

Gli studi più recenti in materia di cambiamento climatico ritengono che l'area della Casamance presa in esame sarà caratterizzata da un aumento delle temperature medie dell'aria e delle acque dell'oceano, da una diminuzione delle precipitazioni, da una maggiore frequenza e intensità degli eventi estremi, nonché dall'innalzamento del livello del mare.

Le zone più vulnerabili soggette a tali eventi saranno le zone costiere, le quali sono inoltre soggette al rischio di penetrazione dell'acqua salata nelle falde acquifere, d'intrusione del cuneo salino nell'estuario, di perdita di biodiversità marino-costiera e di compromissione della fertilità dei terreni coltivabili. Si andrà incontro a fenomeni di eccessi di salinità che comporteranno la perdita di aree naturali di pregio, ad un impoverimento dell'attività agricola e alla perdita di attività economiche tra le quali il turismo.

Interventi mirati sono pertanto necessari per ridurre questi rischi. In risposta a tale problema, potrebbe essere necessario implementare un piano di gestione delle acque che preveda accumulo e conservazione della risorsa e distribuzione controllata a supporto attività economiche nelle aree rurali.

Per comprendere in dettaglio il fenomeno della salinizzazione si è studiata la situazione in tre siti rappresentativi: la piana salina di Seleki, la massiccia salinizzazione a monte della diga di Affiniam e la valle di Bona. La conclusione che se ne trae è che in queste condizioni non è praticabile o quantomeno sufficiente la soluzione di bloccare l'entrata dell'acqua salina nelle zone agricole, ancorché esiziale per la fertilità, perché favorisce l'ipersalinità anziché mitigare la salinità. Occorre invece ripristinare la funzionalità di quella fase di dilavamento, un tempo efficace e ora praticamente vanificata dal cambiamento climatico.

Possibili soluzioni strutturali potrebbero comprendere:

- Stoccaggio delle acque di precipitazione in bacini di ritenzione con rilascio controllato;
- Progettazione di un sistema di irrigazione nelle zone a valle e di pertinenza del bacino;
- Ricarica artificiale dell'acquifero freatico promuovendo azione di ripulsa della falda salina, diluizione e ri-solubilizzazione del sale.
- Rimozione dello strato superficiale salino del terreno e ripristino delle condizioni di normale fertilità attraverso interventi agronomici.

Ogni intervento richiede un'analisi specifica di fattibilità che studi la circolazione idrica superficiale e di falda durante la stagione arida e umida, l'entità, le modalità e i siti di precipitazione del sale, mineralogia dei sali precipitati (probabilmente anidrite all'interno del suolo, cloruri in superficie), ecc.

Un'analisi multi-temporale dell'uso/copertura del suolo (pre- e post- salinizzazione), con studio del cambio vegetazionale e cambio di destinazione d' uso, potrebbe chiarire le modalità con le quali si è sviluppato il fenomeno, con interessanti implicazioni sulle possibilità di riabilitazione.

I bacini per lo stoccaggio delle acque da distribuire in maniera controllata nel corso dell'anno durante la stagione arida, per uso domestico e civile, per l'irrigazione e per la bonifica dal sale dovrebbero essere collocati in zone idonee sopraelevate massima è la piovosità per assicurare sufficienti volumi.

La disponibilità di acqua per il dilavamento dei sali migliorerebbe la fertilità dei suoli, potrebbe consentire un incremento dei livelli produttivi e qualitativi delle colture già praticate ed eventualmente introdurre nuove tipologie di colture impraticabili nelle attuali condizioni.



## INQUADRAMENTO DI DUE INTERVENTI

A titolo di analisi preliminare si è proceduto ad una mappatura di uso e copertura del suolo degli ambienti salinizzati di due siti pilota identificati: la Valle di Bona e la piana salina di Seleki.

### *Valle di Bona*

L'area interessata è situata nel comune di Bona, ad ovest del dipartimento di Bounkiling nella regione di Sedhiou e si estende su un'area di 84 ettari. Il comune è limitato:

- a nord dalla Repubblica del Gambia;
- a sud dal fiume Soungrougrou;
- ad est dal Comune di Inor;
- e ad ovest dal comune di Diacounda.

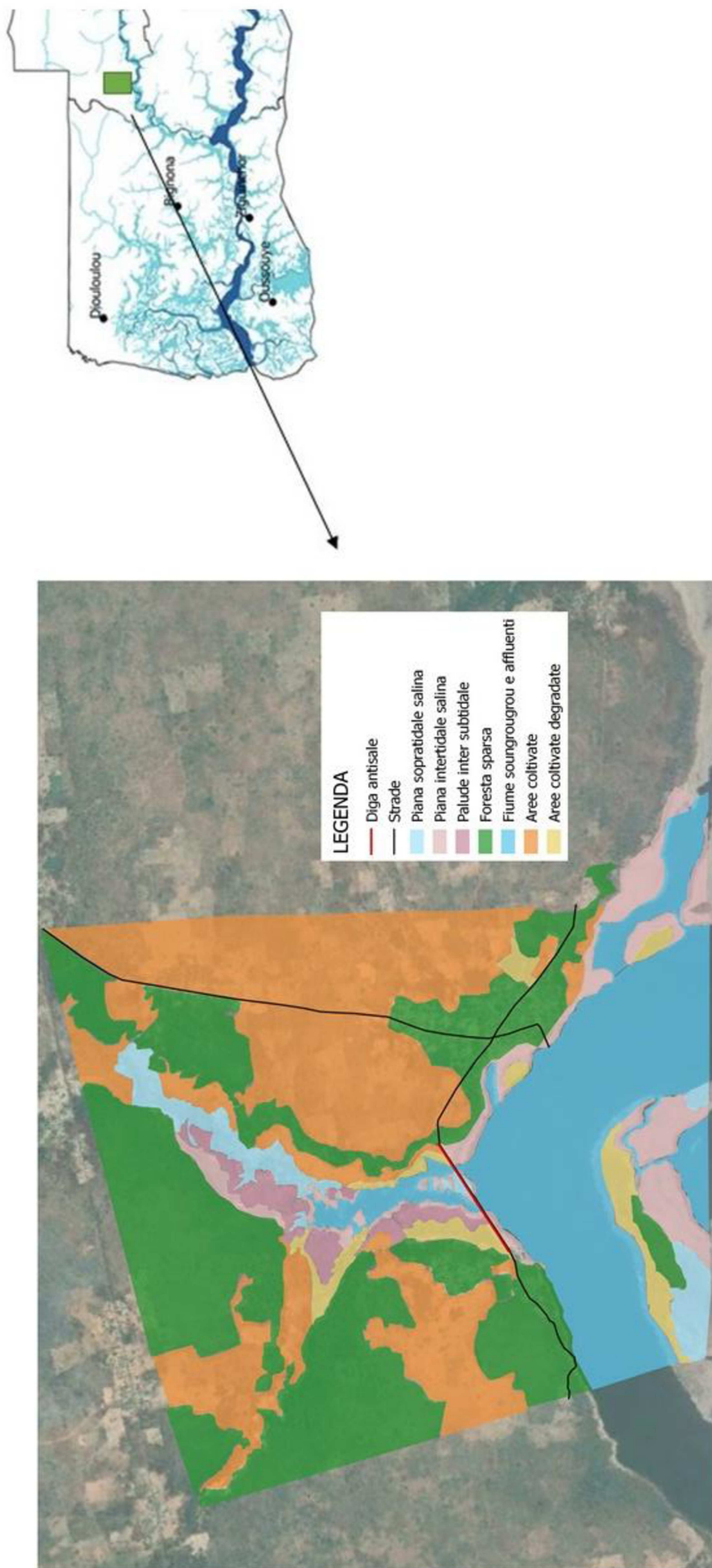
La sua posizione geografica offre un enorme potenziale in termini di scambio e integrazione subregionale, grazie alla sua vicinanza alla RN4 e alla condivisione delle frontiere con il Gambia.

L'agricoltura è il principale settore di attività, che occupa quasi tutte le famiglie. È un'agricoltura di sussistenza dipendente soprattutto dalle piogge basata su coltivazioni di riso, miglio, mais e arachidi (Figura 34).

Tuttavia, la pratica di queste attività deve far fronte a una serie di problemi, il principale dei quali è l'effetto del cambiamento climatico al quale si deve aggiungere la mancanza di meccanizzazione e l'uso di attrezzatura agricola poco evoluta.

Le risorse idriche nel comune sono composte da un piccolo corso d'acqua e da acque sotterranee. La falda acquifera è la principale fonte di acqua per le persone attraverso i pozzi, che sono per lo più non protetti. Questi punti d'accesso all'acqua sono utilizzati per uso domestico, giardini familiari e bestiame. Poiché non tutte le famiglie posseggono un punto d'accesso privato, la disponibilità acqua potabile sicura e in quantità sufficienti per i bisogni quotidiani rappresentano un problema reale per la popolazione.

A questo si aggiunge il problema della salinizzazione del corso d'acqua che attraversa la vallata e della falda freatica la quale, in seguito ad interventi mal concepiti (una primitiva diga salina che ha bloccato l'apporto delle acque fluviali entro la valle) e poco efficaci, è peggiorata drasticamente.



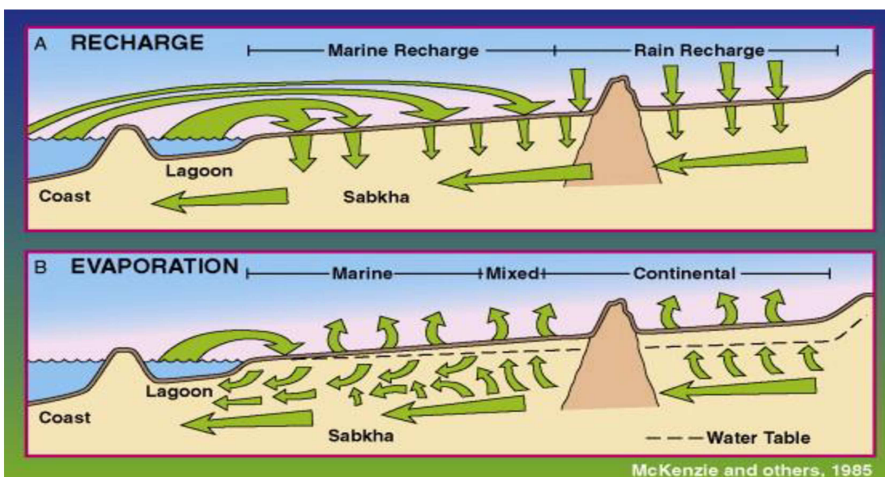
*Figura 34: Carta della copertura/uso del suolo della valle di Bona, realizzata individuando attraverso caratteristiche/stili di riflettività le zone di interesse per formazione vegetale, topografia e idrologia superficiale.*

Come si evince dall'immagine in Figura 35, il corso d'acqua che confluisce nel Casamance è fiancheggiato da piane saline con ben visibili efflorescenze di sale sul margine verso terra. Questa caratteristica configurazione del sale è diagnostica di un processo di precipitazione non soltanto superficiale, dovuta a semplice evaporazione (modello della playa), ma probabilmente anche da un meccanismo di pompaggio evaporitico il quale, oltre a richiamare le acque di falda ne produce concentrazione progressiva con massicce precipitazioni anche all'interno del sedimento.



**Figura 35:** Immagini satellitari da Google Earth per inquadrare la valle di Bona, si notino gli accumuli salini di colore bianco.

Il fenomeno è esemplificato nella Figura 36, la quale illustra due possibili situazioni: una di dilavamento e rimozione del sale in condizioni di normali precipitazioni e una di inversione della circolazione delle acque di falda, “pompe” verso l’alto dall’ evaporazione, con conseguente concentrazione e rilascio del sale.



**Figura 36:** Modello di circolazione idrica alternata, a forzante climatico, del tipo probabilmente in essere nelle piane mareali dell'estuario del Casamance, con il prevalere negli ultimi decenni della fase evaporativa a causa di una contrazione della stagione umida.

Interventi mal concepiti tesi a limitare l'ingressione delle acque saline nelle piane hanno aggravato una situazione già critica, escludendo quella normale circolazione mareale e favorendo per evaporazione l'aumento estremo di salinità nelle acque della falda freatica, con precipitazione massiccia di sali tanto in superficie quanto, probabilmente, in profondità nel terreno.

Per comprendere meglio il meccanismo è utile analizzare il caso della città costiera di Affiniam: a conferma che il meccanismo di pompaggio è la causa del disastro, sono le immagini tele rilevate le quali mostrano come la costruzione del terrapieno stradale (e non la diga salina che ha svolto e svolge le funzioni per le quali è stata costruita) bloccando la naturale circolazione mareale, abbia promosso la precipitazione del sale in tutto il settore a monte lasciando intatte le condizioni naturali esistenti a valle (Figura 37).



**Figura 37: Il caso emblematico di iper-salinizzazione della piana di Affiniam a seguito di interventi ingegneristici non appropriati.**

Questo fa pensare che non solo i corsi d'acqua ma anche le falde acquifere stiano virando verso condizioni ipersaline.

Per poter comprendere i meccanismi di accumulo del sale si è pensato di installare una stazione meteorologica e idrometrica con sonda multi-parametrica alla confluenza dei due corsi d'acqua, in modo tale da avere un profilo trasversale delle condizioni di salinità assieme a tutti i parametri meteorologici necessari per la comprensione del fenomeno.

In particolare, i sensori di salinità e pressione saranno installati a diverse profondità su un pilone del ponte indicato dalla freccia in Figura 35, in modo tale da avere informazioni sulla stratificazione stagionale e quindi sulla circolazione salina conseguente.

Nella componente meteorologica della stazione sarà installato tra gli altri sensori, il pluviometro, posizionato separatamente ma comunque collegato al data-logger della stazione, per registrare dati relativi a pioggia cumulata e sua intensità, un anemometro per misurare la velocità e direzione del vento, un termo-igrometro per misurare la temperatura e l'umidità dell'aria, un barometro per misurare la pressione atmosferica e un evaporimetro per studiare la dinamica dei flussi di evaporazione.

La pressione idrostatica rilevata dalla sonda ci darà informazioni sul il livello idrometrico, importante per comprendere la dipendenza della portata dalla quantità di piogge rilevata dal pluviometro.

### *Valle di Seleki*

La valle di Seleki è situata nel comune di Enampore nel distretto di Nyassia, situato nel dipartimento di Ziguinchor e copre un'area di 616 ettari.

Il comune è delimitato:

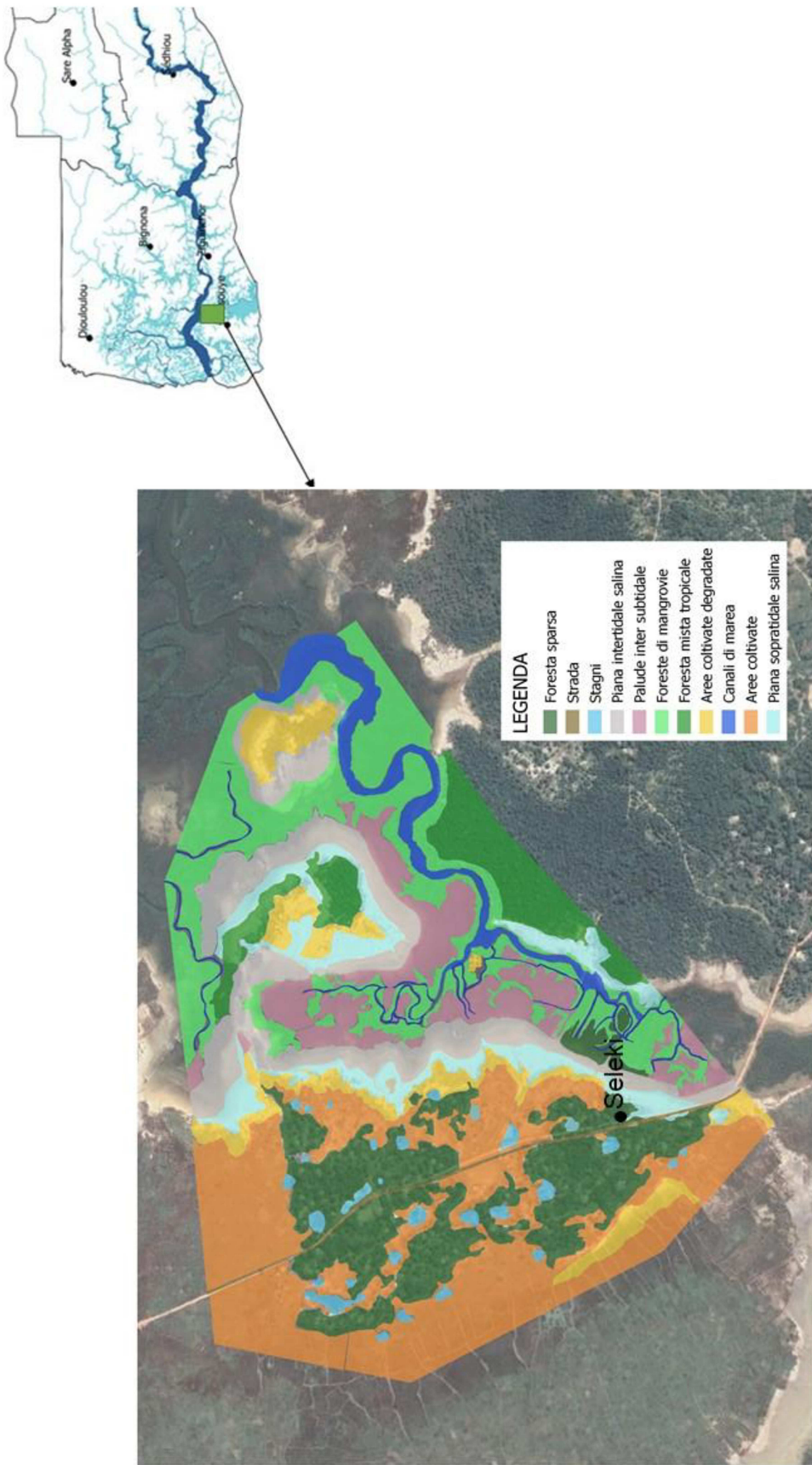
- a nord dal fiume Casamance, che circonda quasi l'intero comune;
- a sud da un affluente del fiume Casamance che lo separa dal comune di Nyassia;
- ad est confina con il distretto di Niaguis;
- ad ovest dal marigot di Djiromathe.

Il comune di Enampore, come il resto del distretto di Nyassia, si trova ad affrontare grandi sfide in termini di accesso all'acqua potabile, soprattutto per la popolazione dei villaggi di Seleki, Etama e Bandial.

Le inondazioni da parte delle acque piovane si verificano ogni anno durante la stagione delle piogge e l'accesso a queste aree è reso difficile; l'acqua stagnante fa proliferare le zanzare che pongono seri problemi di salute pubblica.

L'agricoltura è l'attività principale del comune ed è dipendente dalle precipitazioni. La coltivazione del riso rappresenta il 99% delle attività economiche della zona, praticata principalmente dalle donne. Gli uomini coltivano miglio e mais in campi appartenenti o in uso alla famiglia, le cui produzioni sono conservate nel paniere comune e servono per l'alimentazione dell'intero nucleo familiare.

Tuttavia, l'attività agricola sta vivendo una fase di declino della produzione a causa dei diversi fattori già enunciati nel caso della valle di Bona.



**Figura 38:** Carta della copertura/uso del suolo della piana di Seleki, realizzata individuando attraverso caratteristiche/stili di riflettività le zone di interesse per formazione vegetale, topografia e idrologia superficiale.

L'immagine satellitare della piana di Seleki (Figura 38) mostra un importante accumulo di sale tra la piana intertidale e la palude vegetata sopra tidale nei dintorni del villaggio di Seleki. La precipitazione salina non sembra collegata ad apporti diretti da parte del corso d'acqua che attraversa la valle, pertanto è assai probabile che il fenomeno sia da imputare al richiamo e concertazione progressiva dell'acqua di falda attraverso il già descritto meccanismo del pompaggio evaporitico. In questo caso, il sale in superficie tradisce la presenza di solfati all'interno del sedimento.

Per poter monitorare la situazione di Seleki, è prevista l'installazione di una stazione meteorologica, concepita con le stesse componenti e per le stesse funzioni di quella di Bona, nel punto di confluenza tra il marigot che alimenta la valle e il fiume Casamance, nel punto indicato dalla freccia in Figura 39.



*Figura 39: Immagine satellitare da Google Earth per inquadrare la situazione fisiografica della valle di Seleki. Si notino gli accumuli salini di colore bianco a destra dell'ansa del marigot.*

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

### DISCUSSIONE

Lo studio ha tratto spunto da una serie di richiami sempre più allarmati delle popolazioni Casamancesi su un progressivo inaridimento del clima, il quale da alcuni decenni sta devastando una regione che un tempo era denominata “il granaio del Senegal”. In effetti, la Casamance era l'unica regione del Senegal dove l'agricoltura poteva essere praticata con successo, dato il favore del clima e le precipitazioni abbondanti.

La naturale variabilità climatica che si manifesta in seguito a imperscrutabili meccanismi planetari, alla variabilità dell'irraggiamento solare e ad improvvise attività umane, o alla combinazione di questi fattori, ha contratto la stagione piovosa mantenendo praticamente inalterato il volume di precipitazioni annue. Ne è risultato un periodo arido straordinariamente lungo e una stagione estiva breve di piogge intense e disastrose.

L'aridità di lunghi mesi invernali e l'assenza di deflusso ha alterato la normale circolazione estuarina del fiume Casamance, annullando la stratificazione di densità delle acque. Acque saline hanno quindi permeato la falda freatica delle piane alluvionali; l'evaporazione ha innescato un meccanismo di pompaggio provocando la precipitazione del sale e sterilizzando i terreni agricoli un tempo produttivi.

A verifica di questa narrativa, si sono effettuati sopralluoghi per comprendere i meccanismi di precipitazione del sale, così massicci, pervasivi ed estesi arealmente, e per capire i motivi per i quali le normali dighe antisale, adottate con successo in diverse parti del globo in situazioni analoghe, in Casamance non solo non abbiano sortito gli effetti sperati, ma addirittura hanno esacerbato il problema esaltando in maniera abnorme gli effetti nefasti del processo evaporitico.

Ne è risultato un quadro preoccupante di precipitazione pervasiva del sale, non solo in superficie ma anche nel terreno, ad opera della sovraturazione delle acque di falda.

Questo studio ha inteso riesaminare i dati, climatici e non, sulla Casamance e segnalare alcuni elementi critici del problema al fine di porre nella giusta prospettiva la ricerca di soluzioni.

#### *Il problema climatico: temperatura e precipitazioni*

L'analisi dei dati climatici si riferisce a sei città prese come campione per la pluviometria e le temperature, per il periodo di riferimento che va dal 1950 al 2016. I dati esaminati rivelano una variabilità climatica a cadenza venti-trentennale (cicli climatici di Bruckner), con 3 periodi distinti:



- Nel ventennio tra il 1950 e il 1970, si sono osservati valori elevati di precipitazioni, con medie tra i 1200 e i 1500 mm annui.
- Successivamente, nel ventennio tra il 1971 e il 1990, si sono osservati valori notevolmente più bassi, toccando anche minimi annuali di 700 mm. In questo periodo siccitoso, in tutte le città la media delle precipitazioni è risulta inferiore mediamente di 400 mm rispetto al periodo precedente.
- Negli ultimi 25 anni, dal 1991 al 2016, le precipitazioni sono aumentate rispetto al ventennio precedente ma comunque decisamente inferiori rispetto agli anni '50 e '60.

Per quello che riguarda le temperature, la tendenza all'aumento è evidente, con un aumento medio di 1,5°C negli ultimi sessant'anni, ma con una marcata flessione nel ventennio arido tra il 1970 e il 1990.

### *L'idrologia del Fiume Casamance.*

Il fiume Casamance ebbe un regime normale di circolazione estuarina fino agli anni '70. I deflussi, sebbene diportata modesta, persistevano per gran parte della stagione secca, più breve dell'attuale, e contrastavano efficacemente la risalita delle acque marine durante il flusso di marea mantenendo i livelli di salinità contenuti e relegati alla sola parte costiera.

Durante la siccità degli anni '70 e '80 fino alla metà degli anni '90, la salinità delle acque superficiali aumentò in modo significativo, indicativa di un estuario verticalmente omogeneo. Nel lasso di tempo di un quindicennio tra il 1969 e il 1984, si è registrato questo incremento drastico della salinità delle acque del fiume, addirittura con variazioni più significative negli affluenti.

Recenti indagini sulla salinità del fiume Casamance dalla foce ad Adéane rivelano il chimismo ancora fortemente salino delle acque del fiume, anche se i valori sono ora inferiori a quelli registrati durante gli anni di siccità degli anni '70.

In sintesi, l'idrologia superficiale è ancora dominata dal mare nonostante un leggero miglioramento climatico in senso umido rispetto agli anni della crisi, a causa di una topografia molto piatta e di una piovosità in gran parte insufficiente.

### *La necessità di un sistema di monitoraggio idro-meteorologico*

In casi come quello emblematico della Casamance, l'analisi dei dati idro-meteorologici storici può essere rivelatore di processi passati e di tendenze climatiche future che possono guidare efficacemente i decisori nella scelta delle soluzioni da adottare.

Nell'immediato, un efficace monitoraggio può segnalare criticità ambientali (nel caso specifico livelli anomali di salinità, pH, acidità) che presagiscono emergenze, gli effetti delle quali possono essere proattivamente mitigati se tempestivamente conosciuti.

Il monitoraggio dei parametri ambientali serve inoltre da sistema di controllo dell'efficacia degli interventi ingegneristici implementati, offrendo la possibilità di apportare correttivi in corso d'opera, in ossequio al principio adattativo.

Il sistema di monitoraggio idro-meteorologico proposto in questa tesi risponde infine ad un'esigenza di modernizzazione delle infrastrutture di una regione potenzialmente produttiva e trainante per l'economia nazionale del Senegal, che non può essere lasciata in balia di processi ed eventi naturali dannosi in tempi di emergenze climatiche incombenti.

### *Il ripristino degli ambienti naturali a difesa delle coste e a mitigazione della salinizzazione: gli effetti benefici del mangroviato*

Dagli anni '70 e '80, parte della foresta a mangrovie è stata rimossa, sia nell'estuario del Saloum sia lungo il fiume Casamance.

La scomparsa del mangroviato negli stessi anni è inoltre da imputare ad una modifica delle condizioni fisico-chimiche delle acque superficiali e di falda, le quali hanno subito un aumento di salinità e di acidità. Infatti, la rigenerazione del mangroviato nelle pianure fangose a partire dal 1994 è stata favorita dalle precipitazioni leggermente più abbondanti.

L'analisi delle tendenze mostra che la vegetazione a mangrovie è diminuita del 25,9% dal 1968 e del 20,0 per cento dal 1984, seguita da un modesto aumento del 20,4 per cento nel 2000. I tempi di questa tendenza sembrerebbero confermare l'impatto della siccità sulle foreste di mangrovie.

I cambiamenti climatici, la siccità e il taglio incontrollato delle mangrovie, barriera naturale all'acqua salata, stanno aumentando la salinità del terreno con enormi impatti sulla biosfera unica del delta, afferma Ballé Seye, project manager dell'International Union for the Conservation of Nature (IUCN).

“Le foreste di mangrovie aiutano a fermare l'avanzamento della salinizzazione nei campi coltivati”, ha detto Seye. “Ora tutte queste mangrovie sono solo reliquie, distrutte. Il risultato è che c'è un forte progresso nella salinizzazione nei campi e specialmente nelle zone pastorali. Non cresce erba su questa terra, quindi si può immaginare la difficoltà che i pastori avranno tra qualche anno”.

Per migliorare le condizioni ambientali, la IUCN ha lanciato tre iniziative pilota nell'ambito del progetto EPIC (Ecosystems Protecting Infrastructure and Communities), in sei villaggi del Senegal.

La prima iniziativa è stata quella di sviluppare metodologie per regolare lo sfruttamento della silvicoltura e della pesca. Il secondo intervento è stato quello di promuovere la costruzione di barriere antisale, usufruendo di materiali localmente reperibili e, infine, il terzo intervento ha riguardato il ripristino di 90 ettari di foresta per migliorare la qualità del suolo.

Il progetto Livelihoods-Senegal ha previsto la riabilitazione delle risaie tramite il restauro delle foreste di mangrovie, barriera protettiva contro l'acqua salata. In pratica, nel 2009, la partnership tra Océanium e il Carbon Livelihoods Fund ha consentito alla ONG di finanziare squadre di campo su larga scala, fornendo camion, canoe, attrezzature informatiche e addestramento dei villaggi per la piantumazione delle mangrovie. In 3 anni, la ONG è riuscita a mobilitare oltre 100.000 volontari provenienti da 450 villaggi diversi per piantare 80 milioni di mangrovie.

Océanium, presieduta da Haïdar El Ali, attivista ambientalista ed ex ministro dell'Ambiente senegalese, e Jean Goepp, allora direttore dei programmi della ONG, avanzarono l'idea semplice ma indiscutibilmente efficace di raccogliere i semi di mangrovia, chiamati propaguli (Figura 40) e piantumarli dove la mangrovia era scomparsa e dove il terreno era rimasto in qualche modo fertile.



*Figura 40: Propaguli di mangrovia appena raccolti, lunghi semi che consentono alle mangrovie di riprodursi. (Foto: Hedio-Vaningen / Livelihoods Funds.)*

Lo studio ha stimato che il 15% delle risaie precedentemente abbandonate potrebbe essere ripristinato attraverso il restauro del mangrovieta.

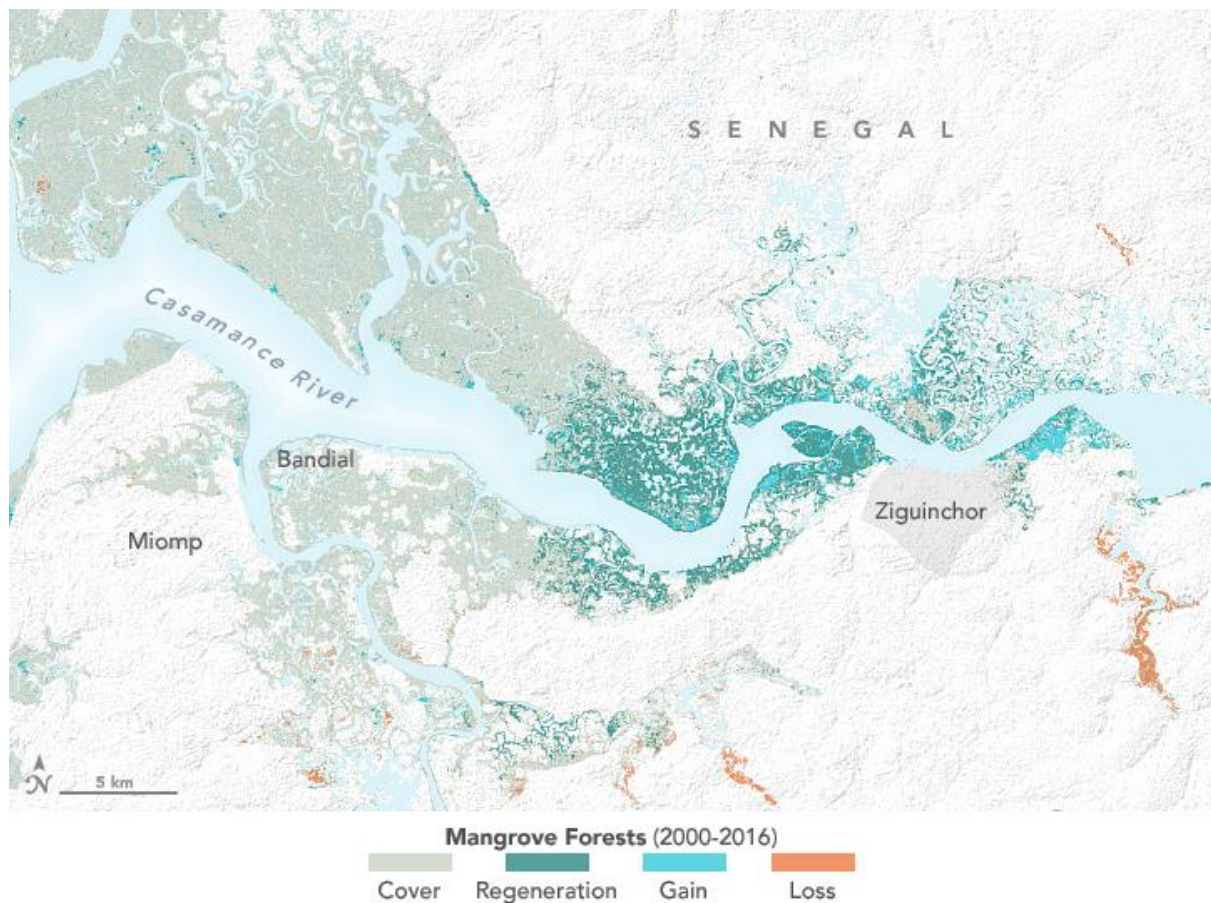
Oltre all'impatto diretto del restauro delle mangrovie sulla sicurezza alimentare, sui redditi degli abitanti del villaggio e sui cambiamenti climatici, lo studio condotto da La Tour du Valat ha evidenziato altri affetti benefici che vanno dal rafforzamento della coesione comunitaria alla disponibilità di legname o legna da ardere, contribuendo inoltre all'estetica del paesaggio, elemento non secondario per una regione a vocazione turistica.

Ciò che emerge dalle indagini è il forte senso di appropriazione per il progetto da parte degli abitanti del villaggio. Per il 93% dei villaggi intervistati, la tecnica di riforestazione proposta dalla ONG Océanium, semplice e riproducibile da tutti, è la prima lezione che traggono dal progetto. Il 25% dei 450 villaggi mobilitati ha continuato le campagne di piantumazione di propria iniziativa (Figura 41) e oltre il 70% dei villaggi ha istituito il monitoraggio delle zone riforestate per prevenire attività illegali di deforestazione.



*Figura 41: Villaggi Casamancesi che si occupano delle campagne di restauro delle mangrovie. (Foto: Hedio-Vaningen / Livelihoods Funds.)*

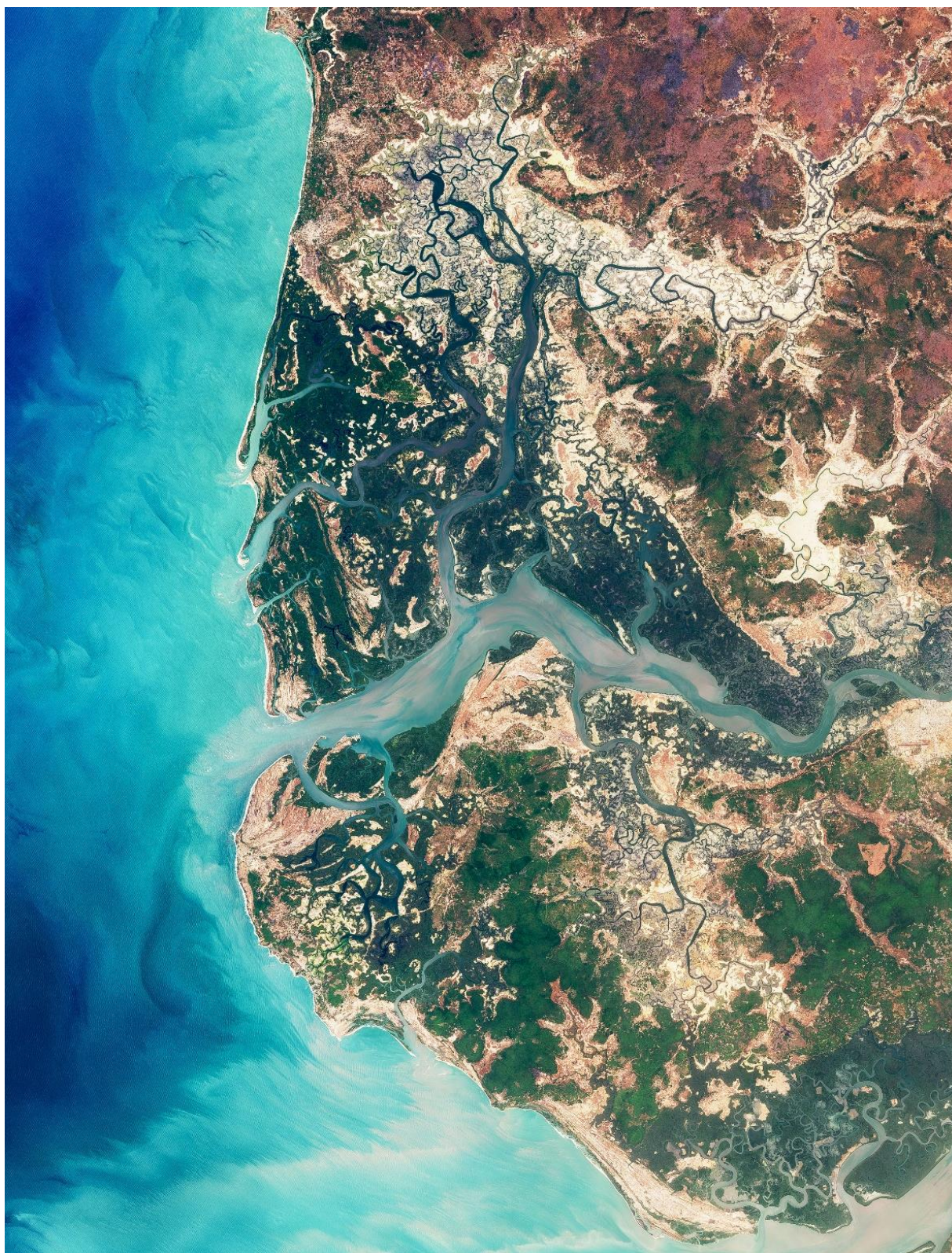
Un'analisi recente di immagini tele-rilevate della Casamance da parte della NASA mostra come nel corso degli ultimi 16 anni si sia osservata una rigenerazione dei mangrovieti per 148 chilometri quadrati, con un incremento del 6 per cento (Figura 42).



*Figura 42: Rielaborazione tramite indice NDVI (Indice di Vegetazione a Differenza Normalizzata) delle Immagini satellitari dell'Earth Observatory della NASA di Joshua Stevens, usando i dati di David Lagomasino / NASA Goddard Space Flight Center e i dati Landsat dell'U.S. Geological Survey.*

Le aree contrassegnate come incremento (verde acqua) non presentavano mangrovie nel 2000 ma risultano ben visibili come aree forestate nel 2016. Le aree contrassegnate come rigenerate (verde) erano già occupate dal mangrovieta nel 2000 ma hanno incrementato di densità fogliare nel periodo di osservazione.

Anche la Figura 43 a colori naturali conferma la tendenza alla rigenerazione dei mangrovieta negli ultimi decenni, sulla sponda destra del fiume Casamance, il che induce a pensare che tramite il miglioramento climatico in atto e gli interventi umani di riforestazione contribuiscano a mitigare il processo di salinizzazione in un immediato futuro.



*Figura 43: Immagini satellitari Landsat dell'U.S. Geological Survey nell'area della foce del fiume Casamance (acquisita dall'Operativ Land Imager (OLI) su Landsat 8, il 5 marzo 2018)*

### *La conservazione della risorsa idrica: un passaggio obbligato negli interventi di mitigazione della salinizzazione.*

Al fine di contribuire ad amplificare gli effetti benefici di una inversione di tendenza climatica in senso meno siccitoso, manifestatisi negli ultimi venticinque anni, un passaggio obbligato è la conservazione della risorsa idrica che al momento è dissipata sotto forma di piene lampo distruttive e rapide.

Per la conservazione delle acque di precipitazione e il loro uso controllato in tempi di necessità, è imperativa per la Casamance la costruzione di bacini di ritenzione dotati di sistemi di distribuzione rispondenti ai seguenti scopi:

- Irrigazione dei campi e delle risaie;
- Fornitura per usi civili e domestici;
- Dilavamento dei sali attraverso rilascio controllato e ricarica artificiale della falda. La ricarica artificiale della falda freatica da parte di acqua dolce contribuisce a sospingere le acque saline in profondità interrompendo il processo di pompaggio responsabile della precipitazione del sale.

### *Mitigazione del rischio e resilienza delle comunità rurali*

La variabilità climatica, combinata a improvvise attività umane, ha provocato in Casamance un drammatico degrado degli ecosistemi i quali, attraverso i servizi forniti all'uomo, sono l'unico mezzo di sussistenza per i poveri nelle sue aree rurali.

Esistono serie minacce alla produzione agricola dovute alla variabilità climatica, come la carenza idrica, il degrado del suolo, la salinizzazione e il degrado degli habitat tra i più produttivi e sensibili come mangrovie e zone costiere.

Quasi tutti gli aspetti sociali, economici e ambientali nell' area di studio sono già gravemente colpiti dagli impatti negativi della variabilità del clima e dei suoi effetti indotti; è una prospettiva non auspicabile che questi effetti peggiorino nel breve e medio termine, pertanto è necessaria l'adozione di soluzioni appropriate.

Oltre agli interventi tecnici e ingegneristici che affrontino i problemi emergenziali posti da un processo aggressivo, ancorché in recessione, interventi non-strutturali che promuovano l'adozione da parte delle comunità locali di sistemi e pratiche resilienti, di adattamento, di preparazione preventiva alle emergenze sono auspicabili.

L'implementazione di questi metodi integrativi di miglior e più efficace risposta da parte delle comunità richiede la rimozione di numerosi ostacoli sociali, economici, istituzionali e organizzativi, tra i quali: sistemi di produzione inadeguati, capacità istituzionali deboli per la

comunicazione, l'informazione e l'educazione, incapacità di adattamento e limitate capacità tecniche e finanziarie dei produttori e delle famiglie.

Il rafforzamento della resilienza di queste popolazioni rurali è un progetto tuttavia già in atto, classificato come prioritario nel NAPA (National Adaptation Plan for Action) del Senegal; esso serve a rafforzare il contesto sociale all'interno del quale implementare misure che promuovano l'adattamento, basate tra le altre cose sulla gestione degli ecosistemi. Il progetto è attuato attraverso la direzione Senegal per l'acqua, le foreste, la caccia e la conservazione del suolo.

Nel dettaglio il progetto prende il nome di "rafforzamento della gestione del territorio e degli ecosistemi in condizioni di cambiamento climatico nelle regioni di Niayes e Casamance, nella Repubblica del Senegal" e supporta l'adattabilità delle comunità basata sulla conservazione degli ecosistemi dei servizi che essi forniscono all'uomo; condizione necessaria per rafforzare la resilienza climatica a lungo termine. Secondo il NAPA del Senegal infatti, il paese sta vivendo ripetute siccità che hanno fortemente modificato il regime idrico e la copertura vegetale, alternate a inondazioni periodiche.

Gli obiettivi da raggiungere al fine di migliorare le condizioni di vita degli abitanti migliorando la loro resilienza sono:

- Attivare efficaci sistemi di gestione delle informazioni per la previsione, la preparazione e il processo decisionale, per determinare e tenere traccia degli impatti climatici sugli ecosistemi;
- Programmare azioni di adattamento basate sull'ecosistema, inclusa l'adozione di pratiche di gestione del territorio e degli ecosistemi resistenti al clima, tra cui l'aumento delle piantagioni di mangrovie, come spiegato nel capitolo precedente.
- Rafforzare le capacità comunitarie, domestiche e individuali per una maggiore difesa delle risposte ai cambiamenti climatici e un sostegno efficace agli sforzi di adattamento.



## CONCLUSIONI

La ciclicità climatica di frequenza trentennale sembra rivelare un ritorno a regimi meno siccitosi, essendo il periodo critico di salinizzazione generalizzata collocato nel ventennio '70-90.

Interventi ingegneristici mal concepiti hanno esacerbato la situazione in alcune zone, rivelando chiaramente quali sono le criticità che provocano la precipitazione del sale – il pompaggio evaporitico che si insatura nella falda freatica salinizzata.

L'intervento principe a prevenzione della salinizzazione – lo sbarramento antisale – in tali circostanze è inefficace e controproducente perché restringe la circolazione superficiale, impedisce ogni forma di dilavamento superficiale, non previene la permeazione della falda da parte dell'acqua salina dell'estuario e non interferisce con il processo di pompaggio evaporitico responsabile del disastro.

Per una risoluzione del problema della salinizzazione in Casamance e per mitigare gli effetti della crisi idrica in cui versa la regione, con tutte le conseguenze in cascata sui mezzi di sussistenza e sul benessere delle popolazioni, occorre:

- Comprendere il fenomeno della precipitazione del sale, cioè l'idrologia superficiale dell'estuario e idrogeologia delle falde acquifere che ricevono diretta alimentazione da esso;
- Comprendere le cause dell'ipersalinità, che è fenomeno più grave della salinizzazione per via dei livelli di concentrazione raggiunti dalle acque in seguito al processo evaporativo e dei sali che in conseguenza di esso precipitano (non solo cloruri, facili da dilavare, ma anche solfati meno solubili e facilmente rimovibile);
- Rimediare alla dissipazione incontrollata dell'acqua che piove in gran copia ma che viene dispersa tramite inondazioni lampo esiziali per il suolo e il raccolto;
- Elaborare un piano di gestione delle acque che tenga conto delle esigenze d'irrigazione, primariamente, della distribuzione della risorsa per usi civili ma anche ai fini della lisciviazione prerequisito per il ripristino della fertilità dei terreni;
- Tramite un'analisi dell'uso e copertura del suolo, fare un censimento delle terre attualmente in uso per l'agricoltura, ivi compreso il titolo di proprietà formalizzato o acquisito per diritto consuetudinario;
- Mediante analisi pedologica dei suoli salinizzati e analisi geochimiche delle acque di falda caratterizzare le singole parcelle e categorizzarle secondo la loro potenzialità di recupero;

- Data come irrecuperabile una certa frazione del territorio, approntare un piano di ricomposizione fondiaria, previo studio di fattibilità mediante consultazioni con le comunità locali, rilievi mediante questionario (strutturato o semi-strutturato, in funzione del grado di educazione degli informatori-chiave) FGD (focus-group discussions) e altri metodi di valutazione partecipata dello stato dell'agricoltura (PRA, Participatory Rural Appraisal, RRA, Rapid Rural Appraisal e SLA, Sustainable Livelihood Analysis).

## BIBLIOGRAFIA E OPERE CITATE

Andrieu, J., 2008: Dynamique des paysages dans les régions septentrionales des Rivières-du-Sud (Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau). Geography PHD. Univeristé Paris Diderot Paris 7, 534p.

Andrieu, J., 2018: Land cover changes on the West-African coastline from the Saloum Delta (Senegal) to Rio Geba (Guinea-Bissau) between 1979 and 2015. European Journal of Remote Sensing, 51 (1), 314-325.

Bosc, P.M. 2005: A la croisée des pouvoirs. Une organisation paysanne face à la gestion des ressources (Basse-Casamance, Sénégal) (pp. 310 p). Paris: I.R.D. éditions, Collection « à travers champs »

Cormier-Salem, M. C., 1992: Gestion et évolution des espaces aquatiques : La Casamance. Paris, Editions de l'ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, 583p.

Cormier-Salem, M.C., 1994: Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du Sud (du Sénégal à la Sierra Leone) (pp. 353 p). Paris: ORSTOM, collections Colloques et Séminaires.

Dacosta H., 1989: Précipitations et écoulements sur le bassin de la Casamance. Thèse de 3ème cycle, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 283p.

Dacosta H., 1983: Etude hydrologique du Marigot de Baïla, campagnes 1980-1982. Mémoire de maîtrise de Géographie, Université de Dakar, 121p.

Diédhiou L., 2001: Projets de développement et représentations sociales en Basse Casamance: le DERBAC et le PROGES. Thèse de Doctorat, Université de Montréal, Canada, 425p.

Diop M., 1996: A propos de la durée de la saison des pluies au Sénégal. Revue Sécheresse n°1, vol. 7, pp. 7-15.

Diop, E.S., Soumare, A., Diallo, N., & Guisse, A., 1997: Recent changes of the Saloum River Estuary. Mangrove and Salt Marshes, 1(3), 163–172.

Diop A., 2017: Evolution de l'occupation des sols et de la main d'œuvre rizicole dans le Bandial en Basse Casamance. Mémoire de Master de Géographie, Université Assane Seck de Ziguinchor

Doughty, C. *et al.*, 2016: Mangrove Range Expansion Rapidly Increases Coastal Wetland Carbon Storage. Estuaries and Coasts, 39 (2), 385-396.

Fatoyinbo, T. & Simard, M., 2013: Height and biomass of mangroves in Africa from ICESat/GLAS and SRTM. *International Journal of Remote Sensing*, 34 (2), 668-681.

Faye Ibrahime BN, 2010: Dynamica della costa sulle coste sabbiose della Mauritania in Guinea-Bissau (Africa occidentale): approcci regionali e locali attraverso l'interpretazione della foto, l'elaborazione delle immagini e l'analisi delle vecchie mappe.

Fazendeiro-Catarino, 2004: Fitogeografia da Guiné-Bissau. (p. 440 p). Lisbonne: Institut superior de agronomia. (Universidade técnica de Lisboa).

Feller, I. *et al.*, 2017: The state of the world's mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*, 803 (1), 1-12.

Giri, C. *et al.*, 2011: Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20 (1), 154-159.

Indipendentismi in Africa: il caso della Casamance in Senegal, Pubblicato da Redazione il 11 Luglio 2018

Ingram K. T., Roncoli M. C., Kirshen P. H., 2002: Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina-Faso as a case study. *Agricultural System*, 74, 331-349.

Maignien R., 1965: Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000. Editions ORSTOM, 63p.

Maignien R., 1961: Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions sud-ouest du Sénégal. *Sols Africains*, vol. 6, n°2-3, pp. 113- 173.

Michel P., 1972: Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie: étude géomorphologique. Paris, Mémoires ORSTOM n°63, T I, II et III, 810p.

Michel P., 1960: Recherches géomorphologiques en Casamance et en Gambie méridionale. B.R.G.M., 53 p.

NASA, 20 March 2018: Global Mangrove Mapping with Landsat.

Pélissier P., 1966: Les paysans du Sénégal: les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Paris, imprimerie Saint-Yrieix, 944p.

Recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage (RGPHAE) 2013

Sagna P., 2005: Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique Occidentale. Thèse de Doctorat d'Etat, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2006. Tomes I e II, 786p.

Sagna P., 2012: Les pluies hors saison ont des conséquences graves. Entretien accordé au journal "Le Soleil", le samedi 31 mars 2012.

Sané T., Diop M., Sagna P., 2008: Étude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute-Casamance (Sud Sénégal). *Sécheresse*, 19, pp. 23-28.

Schwarz B., Tellman B., Sullivan J., Kuhn C., Mahtta R., Pandey B., Hammett L., Pestre G., 2017: Vulnérabilité socio physique aux inondations au Sénégal - Une analyse exploratoire sur la base de nouvelles données et de Google Earth Engine.

Tappan, G., Wood, E., Hadj, A., Bodian, A., 1994: Monitoring Natural Resource Changes in Senegal: Preliminary Evidence from Field Sites. USGS EROS Data Centre, Sioux Falls, SD.

Tappan, G., Hadj, A., Wood, E., Lietzow, R., 2000: Use of argon, corona, and Landsat imagery to assess 30 years of land resource changes in west-central Senegal. *Photogram metric Engineering and Remote Sensing*, 727–735.

Tappan, G.G., Sall, M., Wood, E.C., & Cushing, M., 2004: Ecoregion and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59, 427–462.

U.S. Geological Survey Mangrove Changes. Accessed March 20, 2018.

Vieillefon J., Pereira-Barreto S., 1986: Carte pédologique du Sénégal à l'échelle de 1/100000: Basse Casamance, ORSTOM Editions.