识别可持续发展目标指标之间协同效应与权衡关系的基于网络的框架

GauravKottari* QaziJ. Azhad†数学系 数学系 Shiv Nadar Institution of Eminence Shiv Nadar Institution of Eminence 德里国家首都地区，印度 德里国家首都地区，印度

Niteesh Sahni‡数学系 Shiv Nadar Institution of Eminence
德里国家首都地区，印度

arXiv:2602.01676v1 [math.DS] 2 Feb 2026

摘要

实现联合国可持续发展目标（SDGs）需要理解其基础指标之间存在的复杂相互关联。现有大多数研究在目标层面考察这些相互联系，而政策干预通常是在指标层面设计和实施的，协同效应与权衡关系也最直接地在这一层面显现。本研究通过提出一种网络理论框架，以系统且数据驱动的方式评估指标层面的相互作用，从而弥补这一空白。我们引入了两个互补性指标——某一指标的正向强度和负向强度，二者共同刻画国家可持续发展目标指标网络中协同相互作用与冲突相互作用之间的平衡。基于这些指标，我们根据指标净系统相互作用结构，将指标划分为协同主导型和权衡主导型。为超越分类分析，我们进一步采用解释性回归框架，考察协同主导的结构性驱动因素，重点关注直接正向交互和间接网络嵌入性的作用。分析表明，被归类为协同主导型的指标通常具有较高集中度的直接协同作用，并通过网络中的间接路径获得额外支持，使正向影响能够延伸至直接邻居之外。该框架应用于印度和意大利两个国家案例研究，以说明指标分类如何因发展情境而异。总体而言，拟议方法提供了一种透明且可扩展的工具，用于识别指标层面协同效应产生所需的结构性条件，从而支持更细致地理解发展行动如何在可持续发展目标体系中产生相互强化的影响。

关键词：中心性度量、分类、网络、可持续发展目标指标、协同效应、权衡

*电子邮箱：gk917@snu.edu.in

†电子邮箱：qazi.jamal@snu.edu.in

‡通讯作者电子邮箱：niteesh.sahni@snu.edu.in

1. 引言

联合国会员国于2015年通过了可持续发展目标（SDGs），这是一项普世号召，旨在到2030年消除贫困、保护环境，并确保人人享有和平与繁荣（大会，2015年）。可持续发展目标包括17个目标、169项具体目标和234项指标，涵盖社会、经济和环境问题。这些目标本质上范围广泛且相互关联，因为某一目标的进展很少孤立发生。健康、教育或清洁能源等领域的进步能够推动其他领域取得成果，但也可能在别处带来意想不到的挫折或新的压力。因此，识别这些相互关联对于理解可持续发展的整体动态至关重要。

由于每个目标都进一步细分为具体目标，而每个具体目标又分解为指导具体行动和措施的指标，因此，不仅要考察目标之间的相互作用，也要关注其下属指标之间的相互作用；最直接的权衡关系和协同效应往往出现在这一层面。因此，指标之间的联系对于找出能够加快进展的协同效应，或可能拖慢进展的权衡关系至关重要（Swain和Ranganathan，2021年）。

为满足理解相互关联的需求，现有研究采用了两种主要方法：定性方法和定量方法。在定性研究中，具体目标（或目标）之间相互关联的强度由专家意见、政策分析或文献综述来确定。Nilsson（Nilsson 等人，2016年）提出了一种七级互动量表，用于判断一个具体目标是支持还是损害另一个具体目标。在此基础上，Allen 等人（Allen 等人，2019）和 Weitz 等人（Weitz 等人，2018年）通过识别那些能在各目标间产生诸多积极影响的可持续发展目标具体目标，明确确定了其优先次序。后续研究（Xiao等人，2023年；Fader等人，2018年）进一步采用定性评分，并改进了相互作用评估，以描绘具体目标彼此影响的方式。总之，这些定性研究指出了哪些可持续发展目标具体目标可能产生强有力的正向联系，以及何处可能出现负向相互作用；这些研究构成了一个成熟的研究体系，依据具体目标的系统性作用及其跨目标影响对其进行评估。

另一方面，定量研究使用统计方法和基于网络的方法，通过实证指标数据分析可持续发展目标相互关联。多项研究（Pradhan等人，2017年；de Miguel Ramos和Laurenti，2020年；Hegre等人，2020年；Kostetckaia和Hametner，2022年；Miao等人，2025年）采用相关性分析、主成分分析和聚类技术，描述不同目标和区域之间的协同效应与权衡模式。尽管这些研究显著深化了对可持续发展目标相互作用的理解，但其重点主要在于目标之间的相互作用，而非具体目标或指标层面的相互作用。

由于政策干预针对具体指标，因此确定哪些指标具有协同效应，对于最大化发展成果至关重要。所谓“具有协同效应”，是指某些指标的进展往往会对其他指标产生净正面影响，即改善这些指标带来的正向溢出效应超过其对其他指标造成的任何负面影响。针对这些指标采取干预措施，不仅能促进其直接领域的进展，还能推动多个相互关联领域的发展。因此，识别此类指标有助于确保将可用资源投入到能产生最大系统性收益的方面。此外，找出存在权衡关系的指标同样重要。如果对此类指标采取行动时不够谨慎，可能会无意中阻碍甚至逆转其他领域的进展。通过

识别具有协同效应的指标和存在权衡关系的指标，政策制定者能够制定强化互补性、同时尽量减少潜在冲突的策略，从而提升可持续发展工作的整体效率和成效。

尽管定性研究已推进了具体目标层级优先排序（Allen 等人，2019；Weitz 等人，2018），并间接为指标层级评估提供了依据，但在定量科学领域，用于识别有影响力指标的平行数据驱动框架仍然严重缺失。定性方法高度依赖专家判断、文献综合和人工评分，这限制了其在所有指标、国家和时间段中进行系统应用的能力。定量的数据驱动方法可以通过利用实证数据评估指标之间的相互作用来克服这些局限，从而以可复现、可比较且及时的方式识别有影响力的指标，尤其是在实施政策决策的国家层面。

据目前所知，仅有两项定量研究尝试识别重要的具体目标或指标，但二者都存在严重局限：

- Ranganathan 和 Swain（Swain和Ranganathan，2021）提出了一种利用网络理论对可持续发展目标指标进行优先排序的方法。他们构建了可持续发展目标指标的区域相关网络，并采用了 0.5 的相关阈值，因此同时考虑了较强的协同效应（相关性 > 0.5）和较强的权衡关系（相关性 < -0.5）。结果显示，在四个全球区域（经合组织、东亚、拉丁美洲和中东和北非）中不存在强负相关。在撒哈拉以南非洲仅观察到一项，在南亚观察到两项。由于权衡关系的净影响似乎较弱，他们使用中心性度量来识别每个区域网络中最具影响力的指标。然而，当我们将这一方法应用于印度的数据集时，观察到大量权衡关系，其中许多具有显著的负相关（低于 -0.9）。这限制了其研究所得出的结论，因为在该研究中，这种强权衡关系很少被观察到。这一观察表明，尽管他们的方法在更广泛的区域背景下具有实用性，但可能无法直接适用于国家层面的决策。

- Song 和 Jang（Song 和 Jang，2023年）提出了另一种对可持续发展目标具体目标进行排序的框架，通过语义分析，根据目标关键词之间的相似性构建网络。他们的方法仅在两个具体目标具有中等语义相似性时才建立联系。然而，该方法忽略了具体目标之间可能存在的权衡关系，而这对于全面理解相互作用的行为至关重要。

观察到的缺点凸显了采用更灵活方法识别重要指标的必要性。本文的主要贡献是开发了一种数据驱动的网络理论框架，将可持续发展目标指标划分为协同主导型和权衡主导型。通过引入正向和负向强度度量，我们的方法克服了现有方法的关键局限：不依赖固定的相关阈值，并且尤为重要的是，明确兼顾协同效应与权衡关系，而非忽视负向相互作用。这确保不利关系不会被舍弃或孤立分析，而是被系统地纳入对每项指标的评估。

因此，所提出的框架能够对可持续发展目标指标进行更加平衡、贴合实际且因国家而异的分类。

除分类框架外，我们还采用解释性逻辑回归模型，探究协同主导背后的结构性机制。该模型并非用于预测，而是旨在帮助理解为何某些指标会呈现协同效应。借助该模型，我们发现，被归类为协同主导型的指标通常兼具两项特征：数量显著的直接正向相互作用，以及能够使协同效应延伸至直接邻居之外的结构嵌入位置。从政策角度来看，这意味着针对这类指标采取的行动更有可能与更广泛的系统性进展相一致，因为其影响能够通过直接作用和间接网络路径强化多个指标。

为展示所提框架的实际应用价值，我们利用印度和意大利的可持续发展目标指标数据开展案例研究。对于每个国家，我们都将指标划分为协同主导类别和权衡主导类别，并识别出能够产生强正向溢出效应的指标，以及会造成广泛负面影响的指标。比较分析表明，两国的协同主导型指标均占多数，体现出政策关联之间相互强化的特征。然而，在不同国家背景下，呈现协同主导和权衡主导的指标各不相同。

以印度为例，管道供水（可持续发展目标11——可持续城市和社区）被发现属于权衡主导型指标，因为对这一领域的投资与若干健康相关指标呈负相关。此外，负责任消费和生产（可持续发展目标12）及气候行动（可持续发展目标13）下的指标也被发现由权衡主导，这凸显了在不影响其他目标的情况下实现环境目标的困难。相比之下，在意大利，可持续发展目标12和可持续发展目标13下的指标由协同效应主导，反映出环境政策已融入更广泛的发展目标。最后，我们将研究发现与部门专项研究及国家报告进行比较，这些资料支持了研究结果的一致性，并表明所提出的框架能够捕捉不同国家背景下的系统性相互联系。

本文结构如下。第2节介绍可持续发展目标指标得分的数据来源，并说明其结构。第3节介绍所提出的基于网络的框架，包括用于将指标划分为协同主导和权衡主导类别的正向与负向强度度量的定义，并介绍作为解释工具、用于探究协同主导的结构性驱动因素的逻辑回归框架。第4节呈现实证结果，讨论回归分析结果，并介绍印度和意大利的应用案例，以展示所提方法的实际意义。第5节总结本研究，概述主要发现并讨论其局限性。

2. 数据描述

在本研究中，我们使用了《2025年可持续发展报告》中的数据集，该数据集取自可持续发展目标指数网站（https://dashboards.sdgindex.org/downloads）。该数据集包含各项可持续发展目标指标的得分，涉及17项可持续发展目标

涵盖不同国家，时间范围为2000年至2024年。每项指标的取值范围为0至100。得分为100表示该指标已实现，得分为0则表示所有国家中观察到的最差表现。这些得分便于对可持续发展目标指标进行比较。

3. 拟议方法

本节介绍用于将可持续发展目标（SDG）指标划分为协同主导类别和权衡主导类别的方法框架。其目标是识别那些改善后更有可能在整个发展系统中产生净正向溢出效应的指标，并将其与会造成相互竞争压力的指标区分开来。该框架由三个主要部分组成：

1. 构建国家特定的指标网络；2. 定义指标层面度量，以衡量协同效应与权衡之间的平衡；
3. 运用解释性逻辑回归模型，考察协同主导的结构性驱动因素。

3.1. 网络构建

可持续发展指标本质上相互关联，因为一个领域的进展往往会影响其他领域的结果。为系统地呈现这些相互依存关系，我们将每个国家的指标系统建模为加权网络。

对于每个国家 k，我们构建一个完全加权图

$$G_k = (V_k, E_k, W_k),$$

其中， V_k 是可持续发展目标指标的集合， E_k 包含所有无序对 $\{i, j\}$ ，且满足 $i \neq j$，$W_k = \{w_{ij}^{(k)}\}$ 表示边权重。

指标 i 与 j 之间的边权重定义为斯皮尔曼秩相关系数

$$w_{ij}^{(k)} = \rho_{ij}^{(k)},$$

计算时间范围为2000—2024年。选择斯皮尔曼等级相关系数，是因为它根据两个指标的排序值来衡量二者之间单调关系的程度。系数值范围为 -1 至 $+1$。正相关表示一个指标增加时，另一个指标往往也会增加。这类关系被解释为协同效应，即一个指标的改善有助于或强化另一个指标的进展。相反，负相关表示一个指标增加时，另一个指标往往会减少。这代表一种权衡，即一个指标的进展可能会阻碍另一个指标的进展。当相关系数等于零时，意味着两个指标之间不存在单调关系，也就是说，一个指标的变化与另一个指标的变化无关。

为确保相关系数可靠，在构建网络之前，会剔除分析期（2000—2024年）内存在缺失数据或取值恒定的指标。

3.2 指标的协同效应与权衡强度

认识到每个指标都嵌入在一个由相互促进和相互冲突的关系构成的复杂网络中，我们现在引入一种衡量方法，用以捕捉这些关系的综合系统效应。

设 G_{ki} 表示国家 k中节点 i 的星形子图，该子图由节点 i 及所有与其相连的边组成。随后将此子图划分为：

- G_{ki}^{+}，仅包含正权重边（协同效应），
- G_{ki}^{-}，仅包含负权重边（权衡关系）。

因此， G_{ki} 表示节点 i的局部邻域，而 G_{ki}^{+} 和 G_{ki}^{-} 则分别表示与正权重和负权重相对应的连接。图1展示了一个完全加权网络 G_k 的示例，以及所选节点对应的星形子图，并显示了该子图如何按权重划分为两个子图。

为了评估与一个节点相关的两类连接的相对强度，我们现在定义两个度量。

指标 i 的协同强度（记为 S_{ki}^{+}）定义如下：

$$S_{ki}^{+} = \frac{\sum_{\{i,j\}\in E(G_{ki}^{+})} \rho_{ij}^{(k)}}{\sum_{\{i,j\}\in E(G_{ki})} |\rho_{ij}^{(k)}|} \tag{1}$$

同理，指标 i 的权衡强度（记为 S_{ki}^{-}）定义如下：

$$S_{ki}^{-} = \frac{\sum_{\{i,j\}\in E(G_{ki}^{-})} |\rho_{ij}^{(k)}|}{\sum_{\{i,j\}\in E(G_{ki})} |\rho_{ij}^{(k)}|} \tag{2}$$

根据定义，

$$0 \le S_{ki}^{+} \le 1, \qquad 0 \le S_{ki}^{-} \le 1, \qquad \text{and} \qquad S_{ki}^{+} + S_{ki}^{-} = 1,$$

若 $\sum_{\{i,j\}\in E\ (G_{ki})} |\rho_{ij}^{(k)}| > 0$。如果分母为零，则 S_{ki}^{+} 和 S_{ki}^{-} 未定义，此类指标可以从分析中排除，或按惯例赋值为零。若指标满足 $S_{ki}^{+} \ge S_{ki}^{-}$（或等价地，满足 $S_{ki}^{+} \ge 0.5$），则称其为协同主导；否则称其为权衡主导。

解释与方法论贡献。现有关于可持续发展目标相互联系的研究通常仅关注协同效应，隐含地忽视了正向和负向相互作用往往围绕同一指标并存、并共同塑造其政策相关性这一事实。相比之下，所提出的方法明确将边权重划分为两个具有概念意义的类别。这使得能够对相互竞争的交互类型之间的主导地位进行可解释的指标层面评估，这在可持续发展目标背景中尤为重要，因为

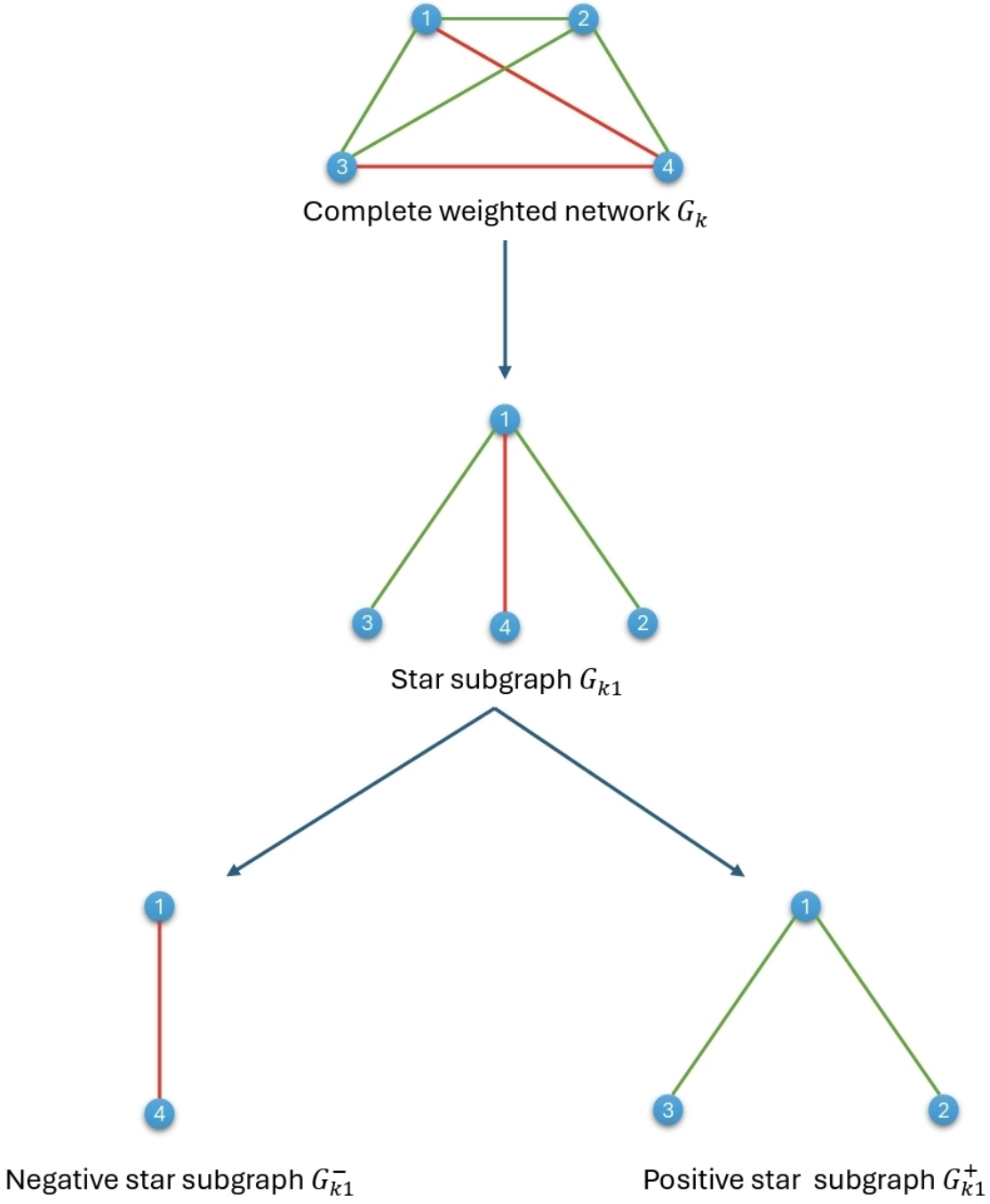

图1：含四个节点的完全加权网络 G_k 示意图、对应于节点1的星形子图G_{k1}，以及基于正权重和负权重将其划分为G_{k1}^+ 和 G_{k1}^-。绿色边表示正加权边，红色边表示负权重。

协同效应与权衡关系并存，并共同决定发展成果。据我们所知，尚无现有的以可持续发展目标为重点的定量框架纳入这样一种明确划分，用以评估正向和负向相互作用在指标

l平，从而确立了所提出框架的方法论贡献 k.

3.3 揭示协同主导的驱动因素

为了超越纯粹基于规则的分类，并理解协同主导的结构性驱动因素，我们采用概率建模框架。当 $S_{ki}^{+} \geq 0.5$时，某个指标会被归类为协同主导，但这本身并不能解释为何某些指标会表现出协同行为。因此，我们使用逻辑回归作为解释工具，以量化特定网络属性如何影响某个指标呈现协同主导的可能性。

具体而言，我们将国家 k 中的指标 i 呈现协同主导的条件概率，建模为两个基于网络的预测变量的函数，这两个变量分别捕捉直接效应和间接效应：

$$\Pr(Y_{ki} = 1 \mid X_{ki}^{d}, X_{ki}^{h}) = \frac{1}{1 + \exp\big(-(\beta_0 + \beta_1 X_{ki}^{d} + \beta_2 X_{ki}^{h})\big)}, \tag{3}$$

其中：

- $Y_{ki} = 1$ 若指标 i 呈现协同主导，则取值为 1；否则为 0，
- X_{ki}^{d} 表示直接效应，定义为与该节点相连的正权重边的归一化数量；具体而言， X_{ki}^{d} 的计算方法是将正权重的相连边数量除以 $n_k - 1$，其中 n_k 表示国家 k的可持续发展目标指标总数。该指标反映节点 i 对可持续发展目标指标交互网络 G_k产生的直接正向影响数量。归一化确保 X_{ki}^{d} 介于 0 和 1 之间，从而便于比较指标数量不同的国家。
- X_{ki}^{h} 表示间接效应，通过在子网络 $G_{\text{strong } k}$ 上计算调和中心性来衡量，其中 $G_{\text{strong } k}$ 是 G_k的无权子图，由保留 G_k 的所有顶点、但仅纳入权重至少为 0.8 的边构成。节点 $v_i \in V_k$ 的调和中心性量化了该节点从网络中其他节点到达的可达性，其定义如下

$$C_H(v_i) = \frac{1}{n_k - 1} \sum_{v_i \neq v_j} \frac{1}{d(v_i, v_j)},$$

其中 $d(v_i,v_j)$表示 v_i 与v_j之间的距离[1] 。因此， X_{ki}^{h} 的值越高，表明节点 i 在强交互网络 G_k^{strong} 中越容易从其他节点到达。选择0.8这一阈值，是为了专门关注强协同效应在网络中的流动。通过仅保留强边，我们确保网络中所捕捉到的任何间接协同影响都源于强相互作用，而非

[1]节点 v_i和 v_j之间的路径是由互不相同的顶点 $v_i = v_0, v_1, \ldots, v_p = v_j$构成的序列，其中每一对相邻顶点 $\{v_{q-1}, v_q\}$之间都存在一条边 E。这里， p是路径的长度。节点 v_i和 v_j之间的距离 $d(v_i, v_j)$是这两个节点之间最短路径的长度。如果不存在从 v_i到 v_j的路径，则两者之间的距离定义为无穷大。

受到较弱协同效应的影响。由于节点 i的调和中心性计算的是从其他每个节点到节点 i的最短路径距离倒数之和，因此能够通过较少步数的强协同效应到达 i的节点对其得分贡献更大。这意味着，若一个节点能够通过短序列的强连接从所有其他节点轻松到达，则其 X_{ki}^{h}会更高。

- β_0，β_1，β_2 是待估计的参数。

该模型的目标并非主要用于预测，而是用于解释。估计得到的系数使我们能够评估：

1. 直接正向交互（X_{ki}^{d}）是否会显著提高协同主导的概率；

2. 指标在网络中的整体结构位置（X_{ki}^{h}）是否能在直接连接之外提供额外的解释力；

3. 局部网络效应与全局网络效应的相对重要性。

模型参数使用最大似然法进行估计。拟合后的模型得出以下预测概率：

$$\widehat{\Pr}(Y_{ki}=1 \mid X_{ki}^{d}, X_{ki}^{h}) = \frac{1}{1+\exp\Big(-(\widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 X_{ki}^{d} + \widehat{\beta}_2 X_{ki}^{h})\Big)},$$

$\widehat{\beta}_0$，$\widehat{\beta}_1$和 $\widehat{\beta}_2$分别是 β_0，β_1和 β_2，的估计值。

当预测概率超过 0.5 时，该指标被归类为协同主导。不过，这种分类只是次要内容；模型的主要贡献在于解读估计系数，因为这些系数揭示了网络结构如何塑造协同行为。采用这一框架，我们可以正式检验以下假设：具有更强直接协同作用、且在强交互网络中处于更中心位置的指标，更有可能呈现协同主导。这使分析从描述性的分类工作转变为一项以统计学为基础的研究，探究支配可持续发展目标指标相互依赖关系的机制。

说明。请注意，指标分类完全依据正向强度度量 S_{ki}^{+}。回归结果用于解读网络结构如何影响协同主导的可能性。

4. 结果与讨论

本节介绍基于所提出框架获得的实证结果。首先，我们通过分析直接和间接网络效应如何影响指标的分类，考察协同主导背后的结构性驱动因素。随后，我们将该分类方法应用于两个国家案例研究，即印度和意大利，以说明在不同发展情境下，协同主导型指标和权衡主导型指标如何分布于各项可持续发展目标之中。

4.1. 协同作用的结构性驱动因素

根据第2节所述的方法，我们在移除2000—2024年期间数值恒定或缺失的指标后，为研究中纳入的每个国家 k 构建了一个完全加权网络G_k 。利用公式1，我们计算了每个国家 k中每个指标 i 的正向强度度量S_{ki}^{+} 。若$S_{ki}^{+} \geq 0.5$，则将指标归类为协同主导型；若 $S_{ki}^{+} < 0.5$，则归类为权衡主导型。

为理解这一分类背后的结构性机制，我们随后采用了第2节介绍的逻辑回归模型。需要强调的是，此处回归模型被用作解释工具，而非分类器。它使我们能够量化直接和间接网络效应如何影响协同主导的可能性。

国家首先根据其可持续发展目标指数得分（Sachs等人，2025年）进行分组，该指数衡量实现可持续发展目标的总体进展。得分介于80与100之间的国家被归类为表现最佳，介于50与80之间的为表现中等，低于50的为表现最差。完整分类见表2（见附录）。从每个表现组别中随机选取80%的指标观测值，构成回归模型的训练数据集，其余20%保留用于验证。这种分层抽样确保解释模型基于发展情境的均衡代表性进行校准。

标准化直接效应（X_{ki}^{d}）和间接效应（X_{ki}^{h}）作为预测变量，而二元响应变量 Y_{ki} 则根据 S_{ki}^{+} 指示协同主导。两个预测变量的方差膨胀因子（VIF）约为 1。55，表明不存在多重共线性（James et al., 2013）。

估计的逻辑回归模型如下：

$$\widehat{\Pr}(Y_{ki} = 1 \mid X_{ki}^{d}, X_{ki}^{h}) = \frac{1}{1 + \exp(-(-19.2031 + 39.0684 X_{ki}^{d} + 2.1742 X_{ki}^{h}))}. \tag{4}$$

该模型并非用于预测，而是帮助解读网络结构如何驱动协同主导。当 X_{ki}^{d} 和 X_{ki}^{h} 均为零时，预测概率趋近于零，这表明既没有直接影响也没有间接影响的指标极不可能呈现协同主导。这符合直觉，因为孤立的指标不太可能产生系统性效益。由于两个系数均为正，这意味着直接效应或间接效应的增加都会提高协同主导的可能性。在 X_{ki}^{d} 保持不变的情况下， X_{ki}^{h} 的值越高，预测概率也越高，说明间接网络嵌入发挥着不可替代的作用。

模型参数推断。 X_{ki}^{d} 的系数估计为 $\widehat{\beta}_1 = 39.07$ ，标准误为1.47，且 p值小于0.001，这提供了强有力的统计证据，表明直接协同作用在决定协同主导方面发挥着主导作用。该系数的大小表明，正向直接连接所占比例即使仅有小幅增加，也会大幅提高某一指标被归类为协同主导的概率。此外，相应的95%置信区间 $[36.20,\ 41.94]$ 较窄，表明该估计具有很高的精确度。极小的 p 值有力地拒绝了零假设，即

无效应，从而证实了这一关系的稳健性。

相比之下，间接效应的系数估计为 $\widehat{\beta}_2 = 2.17$ ，标准误为0.93， p值为0.019。尽管该系数的幅度明显较小，但在5%水平上仍具有统计显著性，表明指标位置也对协同主导产生正向贡献。然而，较大的标准误和较宽的95%置信区间 $[0.36,\ 3.99]$ 反映出围绕 X_{ki}^{h}效应量的不确定性更大。这表明，尽管间接影响不可忽视，但与直接效应相比，其在不同指标间的影响变异性更大。

总体而言，这些结果表明，直接正向交互是协同主导的主要结构性驱动因素，而间接网络嵌入则发挥次要但具有统计意义的作用。回归估计的完整汇总见表1。

表1：逻辑回归系数、标准误、95%置信区间和p值。

预测变量	$\widehat{\beta}$	**SE**	95% 置信区间	p-**值**
截距	-19.20	0.71	$[-20.60,\ -17.81]$	< 0.001
X_{ki}^{d}	39.07	1.47	$[36.20,\ 41.94]$	< 0.001
X_{ki}^{h}	2.17	0.93	$[0.36,\ 3.99]$	0.019

验证表现。 我们使用测试数据集评估了模型的一致性。模型的分类准确率达到 97.92%，表明结构性预测变量与基于规则的分类具有高度一致性。如图 2 所示，该图总结了模型在测试数据集上的表现：在所有协同主导型指标中，1603 个被正确分类，仅有 28 个被误分类为权衡主导型指标。同样，在权衡主导型指标中，750 个被正确分类，22 个被误分类为协同主导型指标。这种高度一致性支持利用所识别的结构模式来解释指标的系统性作用。

结构性驱动因素的政策相关性 根据 S_{ki}^{+} 被归类为协同主导型的指标，其特点是正向相互作用超过其权衡关系，体现的是净正向系统性影响，而非连接总数。结果表明，直接效应（X_{ki}^{d}）和间接效应（X_{ki}^{h}）值较高的指标更有可能被归类为协同主导型。鉴于分类结果表现出较强的一致性，根据 S_{ki}^{+} 被归类为协同主导型的指标可视为政策设计中具有参考价值的切入点。针对这些指标采取干预措施，更有可能推动多个指标取得进展，并使正向效应沿着现有的协同路径传播。

4.2. 印度可持续发展目标指标的分类

为说明所提出的指标层面分类在各国的具体应用，我们首先以印度为例。该国所有可持续发展目标指标均纳入原始

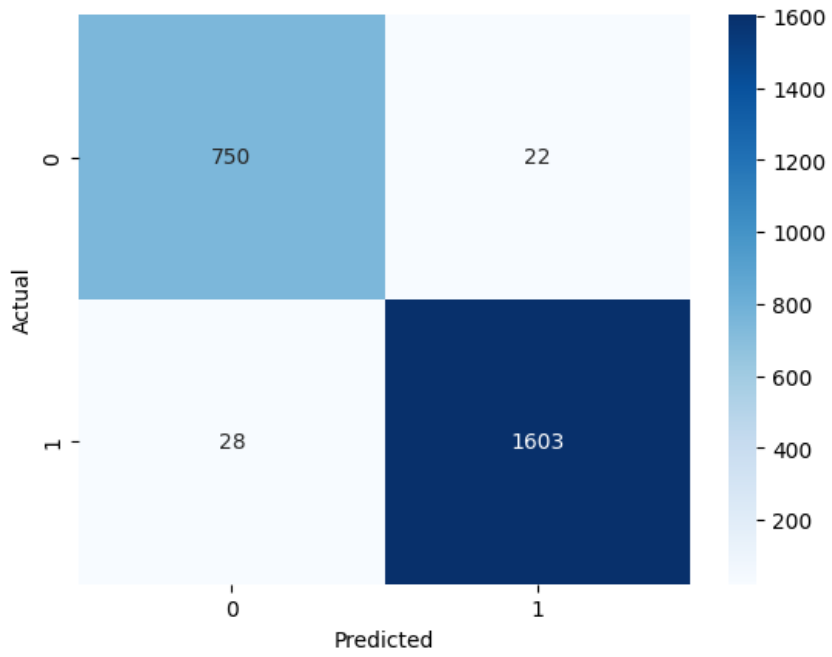

图2：测试数据集的混淆矩阵

数据集。为确保指标对之间的斯皮尔曼相关性具有意义，我们剔除了在2000年至2024年期间始终保持不变的指标，以及在此期间存在缺失值的指标。经过数据清理后，保留了80项指标供进一步分析。研究所涉及的80项可持续发展目标指标完整清单见表3（参见附录）。指标之间的斯皮尔曼秩相关性如图3所示。

根据正向强度度量 S_{ki}^{+}，52个指标被分类为协同主导型指标，28个被分类为权衡主导型指标。这表明，印度背景下的大多数指标呈现出协同行为，展现了实施综合性且相互强化的政策干预的潜力。然而，数量相当可观的权衡主导型指标也提醒人们，需要谨慎考虑政策，以避免意外的负面后果。为展示17项可持续发展目标中协同主导型指标和权衡主导型指标的分布情况，图4列出了其数量。

在图4中可以观察到，可持续发展目标3（良好健康与福祉）包含大量协同主导型指标，表明其与其他目标之间存在较强的正向相互联系，并具有同时推动多个领域进展的巨大潜力。然而，可持续发展目标12（负责任消费和生产）拥有数量最多的权衡主导型指标，其中没有任何指标被分类为协同主导型指标。本研究考察的可持续发展目标12的五个指标包括基于生产的空气污染、与进口相关的空气污染、基于生产的氮排放以及与进口相关的氮排放。这凸显了实现可持续发展目标12所面临的挑战：减少污染和管理废弃物的努力可能会阻碍经济或社会目标。

对于可持续发展目标13（气候行动），两个指标—— CO_2 化石燃料燃烧和水泥生产产生的排放，以及进口产品隐含的温室气体排放——均呈现权衡主导特征，

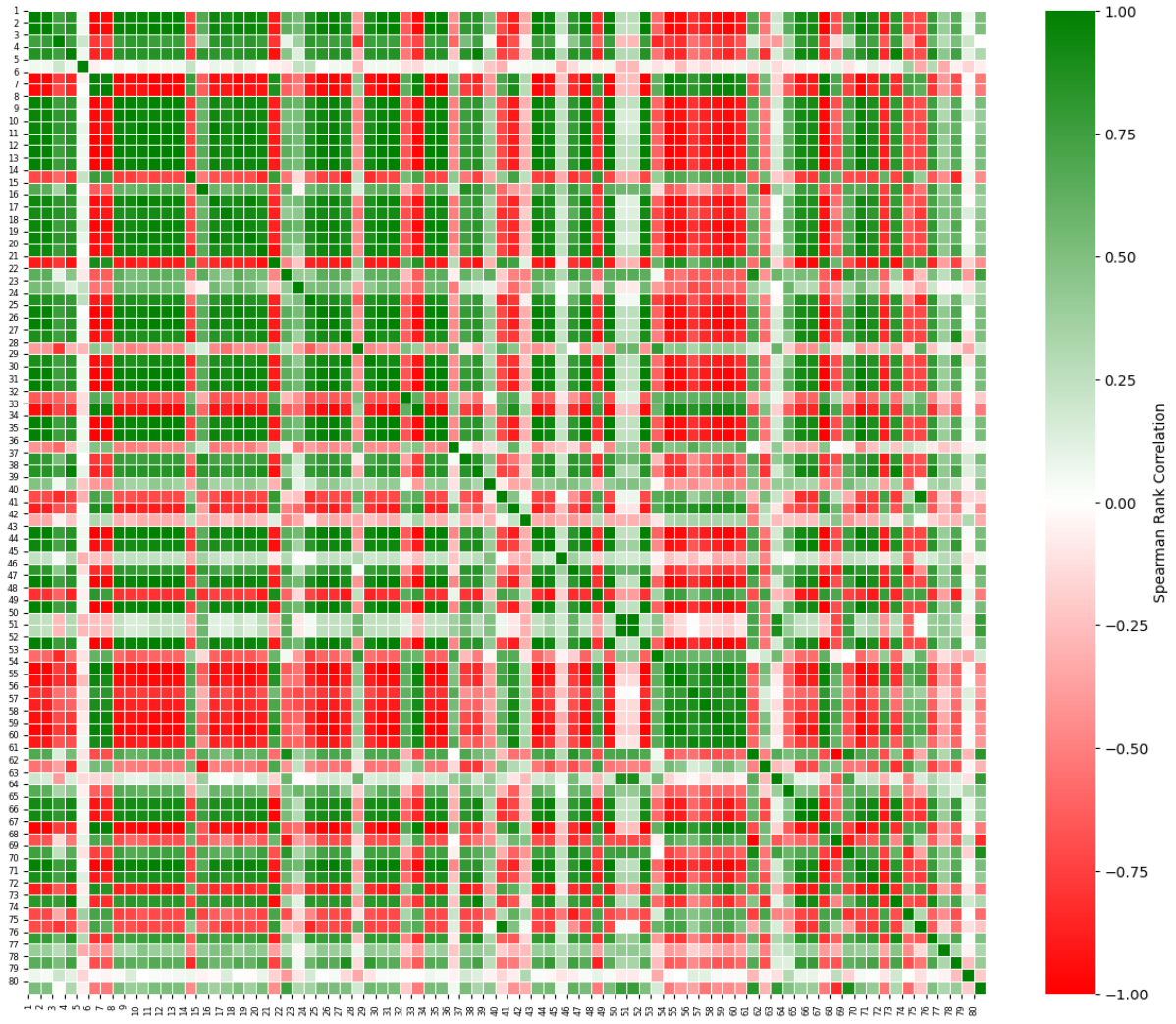

图3：印度80项可持续发展指标的斯皮尔曼相关性热图，其中深红色表示强负相关，深绿色表示强正相关，白色表示无相关性。

再次揭示了经济活动与气候减缓目标之间的紧张关系。可持续发展目标11（可持续城市和社区）也包含权衡主导型指标。其中一个指标是通过管道连接获得改良水源，该指标被归类为权衡主导型（$S_{ki}^{+} = 0.314$）。这似乎有悖直觉，因为扩大管道供水覆盖通常被视为积极的发展成果。然而，图3显示，该指标与可持续发展目标3中的11个指标存在显著权衡关系。因此，改善城市供水基础设施或许能提高用水可及性，但也可能造成意想不到的健康后果。一项实证研究（Robert 等人，2023年）也支持这一观察结果：即使家庭能够实际接入管道供水，水质仍可能因污染、废弃物管理不善或处理基础设施不足而严重恶化。

拖网或挖泥捕捞在印度被归类为协同主导型指标（$S_{ki}^{+} = 0.749$）。这种捕捞方式会移除珊瑚、贝壳和沉积物，从而破坏海床，

这些物质是许多鱼类物种的天然庇护所和繁殖地。因此，鱼类种群最终可能会减少或出现波动（Council 等，2002）。减少此类捕捞方式有助于维护海洋生态系统可持续性。海洋为数百万人提供粮食、就业和收入，一些社区完全依赖海洋，沿海地区尤为如此。健康且富有生产力的海洋有助于实现长期经济增长、改善公共健康并维护鱼类资源。沿海社区还受益于海洋对海平面上升、侵蚀和极端天气事件等气候相关灾害的防护。总的来说，海洋生态系统的健康状况能带来广泛的社会和经济效益（Morales- Nin 等，2024；Pendleton 等，2020）。

总体而言，印度案例研究表明，可持续发展目标指标在其系统性作用方面存在显著差异：一些指标通过协同效应支持更广泛的进展，而另一些则产生显著的权衡关系。这凸显了在国家层面评估发展路径时，考虑指标分类的重要性。

4.3. 意大利可持续发展目标指标的分类

为突出不同国家在指标分类方面的差异，我们对意大利开展了类似的案例研究。初始数据集包含意大利所有可用的可持续发展目标指标。为确保斯皮尔曼相关性的可靠性，剔除了在2000—2024年期间保持不变或存在缺失值的指标。经过数据清理后，共保留75项指标供进一步分析。研究中考虑的这75项可持续发展目标指标的完整列表见表4（参见附录）。指标之间的斯皮尔曼相关性如图5所示。

在针对意大利分析的75项指标中，58项被归类为协同主导型，17项被归类为权衡主导型。这表明，与印度类似，意大利的大多数指标呈现协同关系，说明各发展目标之间存在较强的正向相互联系。图6展示了17项可持续发展目标中协同主导型指标和权衡主导型指标的分布情况。

从图6可以看出，可持续发展目标3包含的协同主导型指标数量最多，这与印度的情况相似。然而，与印度不同的是，在意大利，可持续发展目标12下的全部五项指标以及可持续发展目标13下的两项指标均被归类为协同主导型。这些结果表明，污染控制、氮管理、废弃物减量和温室气体减排方面的改善往往会促进而非阻碍其他目标的进展。国家报告和实证分析支持这一发现。意大利的排放清单显示，主要大气污染物长期以来持续减少，这反映出综合环境规制得到有效实施，且工业过程的效率不断提高（ISPRA，2024）。此外，一些关于意大利废弃物管理成效的研究表明，实现可持续发展目标12通常会对多个目标产生积极影响，例如可持续发展目标6（清洁饮水和卫生设施）、可持续发展目标7（经济适用的清洁能源）和可持续发展目标11（可持续城市和社区）（Ram 等，2025）。这些进展表明，环境改善有助于创新和公众健康，并促进城市可持续发展。因此，这些进展有助于尽量减少经济增长与环境保护之间的权衡。

印度和意大利呈现出的不同模式表明，可持续发展目标指标的系统性作用很大程度上取决于各国具体情境。在某一情境中表现为权衡主导型的环境规制和生产系统相关指标，在另一情境中可能转变为协同主导型。这些发现表明，指标层面评估应以国家数据为基础，从而更准确地反映当地的发展现实。

4.4. 协同主导型指标的全球分布

现在，我们考察全球各国协同主导型指标所占的比例。图7展示了每个国家中根据正向强度度量（S_{ki}^{+}）被归类为协同主导型的指标占比。

在所有国家中，相当大比例的指标被归类为协同主导型，这表明净正向相互联系是可持续发展目标指标体系的普遍特征。即使是表现最差的国家组，大多数指标仍由协同效应主导，这说明尽管整体可持续发展目标成果较弱，许多指标仍呈现净正向系统性影响。按照表2（见附录）报告的可持续发展目标指数表现对国家分组后，表现最差组的国家平均有63.1%的指标由协同效应主导，而表现中等组和表现最佳组的这一比例分别为68.8%和72.2%。这一逐步上升的趋势表明，表现较好的国家往往呈现出更加协调一致的指标相互作用，这与更加综合的发展路径相符。

5. 结论

可持续发展目标高度相互关联，其有效实施需要准确理解各项目标底层指标之间的相互作用。由于政策行动是在指标层面实施的，因此，与仅依赖目标层面的评估相比，识别那些改善后能够产生净正向溢出效应的指标，可以获得重要的洞见。本研究提出了一个基于网络的框架，用于将可持续发展目标指标定量分类为协同主导类别和权衡主导类别。其关键方法学贡献在于采用一种灵活、数据驱动的方法，不依赖固定的相关性阈值，并明确考虑正向和负向相互作用。通过将权衡关系与协同效应一并纳入，该框架能够对指标层面的相互依赖关系进行更加平衡且因国家而异的评估，从而弥补现有文献中的重要差距。

除分类之外，本研究还强调了协同主导的结构性驱动因素。我们表明，被归类为协同主导的指标通常是那些对许多其他指标施加直接正向影响的指标，这凸显了局部网络效应的重要性。与此同时，在强协同效应网络中处于更中心位置的指标也更有可能是协同主导型的，这表明间接效应发挥着互补作用。综合来看，这些发现表明，即时相互作用与更广泛的网络位置共同塑造了可持续发展目标指标的系统性相关性，从而阐明了为何某些指标会成为发展系统中的战略节点。

该框架的实际相关性通过在印度和意大利的国家层面应用得到了证明。就印度而言，可持续发展目标3包含的协同主导型指标数量最多，而可持续发展目标12和可持续发展目标13则主要以权衡主导型指标为特征。这些模式凸显了在追求环境与生产相关目标时，如何避免对健康及其他发展成果产生竞争性压力所面临的挑战。相比之下，对意大利而言，可持续发展目标12和可持续发展目标13下的指标在很大程度上是协同主导型的，这表明环境规制、废弃物管理和减排与更广泛的发展目标得到了更有效的整合。印度与意大利之间的比较强调，可持续发展目标指标的系统性作用在不同国家背景下存在显著差异，反映了政策连贯性、制度能力和发展路径方面的差异。

通过识别能够产生净正向系统性效应的指标，本文提出的框架为政策设计与实施提供了实用工具。被归类为协同主导型的指标可视为战略干预点，因为针对这些指标采取行动更有可能同时推动多个目标，并使积极效应沿现有协同路径传播。与此同时，识别权衡主导型指标也凸显了需要谨慎进行政策设计、以避免意外后果的领域。通过这种方式，该框架补充了现有的可持续发展目标监测工具，将复杂的相互关联转化为可付诸行动的指标层面洞见。

本研究的一项关键局限在于依赖基于相关性的关系。这些关系能够反映指标之间的统计关联，但无法确定因果方向。政策决策本质上依赖干预，因此，理解因果机制对于制定有效策略至关重要。未来研究应结合因果推断方法和动态建模方法，以加强对可持续发展目标体系中杠杆点的识别。将时间动态和因果结构纳入该框架，将进一步提升其对循证决策和长期可持续发展规划的价值。

利益冲突

作者声明不存在利益冲突。

经费

本研究未获得任何外部经费支持。

附录

表3：印度可持续发展目标指标列表

No.	SDG	指标描述
1	可持续发展目标1	贫困人口比例（按2017年购买力平价计算，每日低于2.15美元，%）
2	可持续发展目标1	贫困人口比例（按2017年购买力平价计算，每日低于3.65美元，%）

No.	SDG	指标描述
3	可持续发展目标2	营养不良发生率（%）
4	可持续发展目标2	5岁以下儿童发育迟缓率（%）
5	可持续发展目标2	5岁以下儿童消瘦率（%）
6	可持续发展目标2	肥胖患病率，体重指数 ≥ 30 （占成年人口的百分比）
7	可持续发展目标2	人类营养级（最佳为2，最差为3）
8	可持续发展目标2	谷物产量（每公顷收获土地的吨数）
9	可持续发展目标2	可持续氮管理指数（最佳0–1.41最差）
10	可持续发展目标3	孕产妇死亡率（每10万活产）
11	可持续发展目标3	新生儿死亡率（每1,000名活产婴儿）
12	可持续发展目标3	5岁以下儿童死亡率（每1,000名活产婴儿）
13	可持续发展目标3	结核病发病率（每100,000人口）
14	可持续发展目标3	心血管疾病、癌症导致的年龄标化死亡率，或30–70岁成年人因糖尿病或慢性呼吸系统疾病导致的年龄标化死亡率(%)
15	可持续发展目标3	交通事故死亡（每10万人口）
16	可持续发展目标3	出生时预期寿命（年）
17	可持续发展目标3	青少年生育率（每1,000名15至19岁女性的分娩数）
18	可持续发展目标3	由熟练卫生人员接生的分娩（%）
19	可持续发展目标3	接种了2种世卫组织推荐疫苗的存活婴儿（%）
20	可持续发展目标3	全民健康覆盖（UHC）服务覆盖指数（最差0-100最佳）
21	可持续发展目标3	主观幸福感（平均阶梯得分，最差0-10最佳）
22	可持续发展目标4	学前有组织学习参与率（占儿童的百分比年龄为4至6岁）
23	可持续发展目标4	小学净入学率（%）
24	可持续发展目标4	初中完成率（%）
25	可持续发展目标4	识字率（15至24岁人口的百分比）
26	可持续发展目标5	通过现代方法满足的计划生育需求（占15至49岁女性的百分比）
27	可持续发展目标5	女性与男性平均受教育年限之比（%）
28	可持续发展目标5	女性与男性劳动参与率之比（%）
29	可持续发展目标5	女性在国家议会中所占席位（%）
30	可持续发展目标6	使用至少基本饮用水服务的人口（%）
31	可持续发展目标6	使用至少基本卫生服务的人口（%）
32	可持续发展目标6	淡水取水量（占可用淡水资源的百分比）
33	可持续发展目标6	进口商品中隐含的稀缺水消耗（$m^3 H_2O$当量/人）
34	可持续发展目标7	可获得电力的人口（%）
35	可持续发展目标7	可获得清洁烹饪燃料和技术的人口(%)

No.	SDG	指标描述
36	可持续发展目标7	CO_2 单位发电量的燃料燃烧排放量 ($MtCO_2/TWh$)
37	可持续发展目标7	最终能源消费总量中的可再生能源占比（%）
38	可持续发展目标8	在银行或其他金融机构拥有账户的成年人，或在移动货币服务提供商处拥有账户的成年人（占15岁及以上人口的%）
39	可持续发展目标8	失业率（占劳动力总数的%，年龄为 15+）
40	可持续发展目标8	基本劳工权利得到有效保障（最差为0–1最佳）
41	可持续发展目标8	进口中体现的致命工伤事故（每百万人口）
42	可持续发展目标9	可使用全年通行道路的农村人口（%）
43	可持续发展目标9	使用互联网的人口（%）
44	可持续发展目标9	移动宽带订阅（每100人）
45	可持续发展目标9	物流绩效指数：基础设施得分（1 最差–5 最佳）
46	可持续发展目标9	泰晤士高等教育世界大学排名：平均得分排名前3所大学的得分（0 最差–100 最佳）
47	可持续发展目标9	每1,000人口在学术期刊上发表的文章
48	可持续发展目标9	研发支出（占国内生产总值的百分比）
49	可持续发展目标9	按申请人来源划分的专利申请总量（每百万人口-口）
50	可持续发展目标10	基尼系数
51	可持续发展目标10	帕尔马比率
52	可持续发展目标11	生活在贫民窟中的城市人口比例（%）
53	可持续发展目标11	PM2.5年均浓度（$\mu g/m^3$）
54	可持续发展目标11	获得管道供水的改善水源（占城市人口的百分比）
55	可持续发展目标12	基于生产的空气污染（每1,000人口的伤残调整生命年）
56	可持续发展目标12	与进口相关的空气污染（每1,000人中的伤残调整生命年）
57	可持续发展目标12	基于生产的氮排放（千克/人）
58	可持续发展目标12	与进口相关的氮排放（kg/人）
59	可持续发展目标13	CO_2 化石燃料燃烧和水泥生产产生的排放（tCO2/人）
60	可持续发展目标13	进口产品隐含的温室气体排放（tCO_2/人）
61	可持续发展目标14	海洋健康指数：清洁水域得分（最差为0，最佳为100）
62	可持续发展目标14	来自过度捕捞或崩溃的鱼类种群的渔获量（占总渔获量)
63	可持续发展目标14	通过拖网捕捞或挖泥捕捞捕获的鱼类（%）
64	可持续发展目标14	捕获后被丢弃的鱼类（%）
65	可持续发展目标15	生物多样性重要陆地地点的平均保护面积-多样性（%）

No.	SDG	指标描述
66	可持续发展目标15	生物多样性重要淡水地点的平均保护面积（%）
67	可持续发展目标15	物种存续红色名录指数（最差为0，最佳为1）
68	可持续发展目标15	永久性森林砍伐（占森林面积的百分比，3年平均）
69	可持续发展目标15	进口导致的森林砍伐（m^2/人均）
70	可持续发展目标16	凶杀案（每10万人口）
71	可持续发展目标16	犯罪得到有效控制
72	可持续发展目标16	未决 detainees（占在押人员总数的百分比）
73	可持续发展目标16	腐败感知指数（最差0-100最佳）
74	可持续发展目标16	新闻自由指数（最差0-100，最佳）
75	可持续发展目标16	司法服务的可及性和可负担性（最差0–1，最佳）
76	可持续发展目标16	行政诉讼的及时性（最差0 - 1，最佳）
77	可持续发展目标16	征收合法且得到充分补偿（最差为0-1为最佳）
78	可持续发展目标17	政府卫生和教育支出（占国内生产总值的%）
79	可持续发展目标17	其他国家: 不包括赠款的政府收入（占GDP)
80	可持续发展目标17	统计绩效指数（最差0—100最佳）

表4：意大利的可持续发展目标指标列表

No.	SDG	指标描述
1	可持续发展目标1	每日生活费低于 2.15 美元的贫困人口比例（%）
2	可持续发展目标1	每日生活费低于 3.65 美元的贫困人口比例（%）
3	可持续发展目标2	肥胖患病率，体重指数 ≥ 30 （占成年人口的百分比）
4	可持续发展目标2	人类营养级（最佳为2–3，最差）
5	可持续发展目标2	谷物产量（每公顷收获土地的吨数）
6	可持续发展目标2	可持续氮管理指数（最佳为0–1.41，最差）
7	可持续发展目标3	孕产妇死亡率（每10万活产）
8	可持续发展目标3	新生儿死亡率（每1,000活产）
9	可持续发展目标3	5岁以下儿童死亡率（每1,000活产）
10	可持续发展目标3	结核病发病率（每10万人口）
11	可持续发展目标3	新增艾滋病毒感染（每1,000名未感染人口，所有年龄段）
12	可持续发展目标3	心血管疾病、癌症导致的年龄标化死亡率，30–70岁成年人患糖尿病或慢性呼吸系统疾病(%)
13	可持续发展目标3	交通事故死亡（每10万人口）
14	可持续发展目标3	出生时预期寿命（年）
15	可持续发展目标3	青少年生育率（每 1,000 名 15–19 岁女性中的出生数）
16	可持续发展目标3	由熟练卫生人员接生的分娩（%）
17	可持续发展目标3	接种了 2 种世卫组织推荐疫苗的存活婴儿（%）

No.	SDG	指标描述
18	可持续发展目标3	全民健康覆盖（UHC）服务覆盖指数（最差0–100 最佳）
19	可持续发展目标3	主观幸福感（平均阶梯得分，最差 0–10 最佳）
20	可持续发展目标4	学前有组织学习参与率（占儿童的百分比年龄为4至6岁）
21	可持续发展目标4	小学净入学率（%）
22	可持续发展目标4	初中完成率（%）
23	可持续发展目标5	通过现代方法满足的计划生育需求（占15至49岁女性的比例）
24	可持续发展目标5	女性与男性平均受教育年限之比（%）
25	可持续发展目标5	女性与男性劳动参与率之比（%）
26	可持续发展目标5	女性在国家议会中所占席位（%）
27	可持续发展目标6	使用至少基本饮用水服务的人口（%）
28	可持续发展目标6	使用至少基本卫生服务的人口（%）
29	可持续发展目标6	淡水取水量（占可用淡水资源的百分比）
30	可持续发展目标6	接受处理的人为废水（%）
31	可持续发展目标6	进口商品中隐含的稀缺水消耗（$m^3 H_2O$等式/人）
32	可持续发展目标7	CO_2 燃料燃烧产生的排放量与总发电量之比（$MtCO_2/TWh$）
33	可持续发展目标7	终端能源消费总量中的可再生能源占比（%）
34	可持续发展目标8	在银行或其他金融机构拥有账户的成年人，或在移动货币服务提供商处拥有账户的成年人（占15岁及以上人口的百分比）
35	可持续发展目标8	失业率（占劳动力总数的百分比，年龄为 15+）
36	可持续发展目标8	基本劳工权利得到有效保障（最差为0–1最佳）
37	可持续发展目标8	进口中体现的致命工伤事故（每百万人人口）
38	可持续发展目标9	使用互联网的人口（%）
39	可持续发展目标9	移动宽带订阅（每100人口）
40	可持续发展目标9	物流绩效指数：基础设施得分（1为最差，5为最佳）
41	可持续发展目标9	在学术期刊上发表的文章（每千人口）
42	可持续发展目标9	研发支出（占国内生产总值的百分比）
43	可持续发展目标9	按申请人来源划分的专利申请总量（每百万人口）
44	可持续发展目标10	基尼系数
45	可持续发展目标10	帕尔马比率
46	可持续发展目标11	PM2.5年均浓度（$\mu g/m^3$）
47	可持续发展目标12	基于生产的空气污染（每1,000人口的伤残调整生命年）

No.	SDG	指标描述
48	可持续发展目标12	与进口相关的空气污染（每1,000人对应的伤残调整生命年）
49	可持续发展目标12	基于生产的氮排放（千克/人）
50	可持续发展目标12	与进口相关的氮排放（千克/人）
51	可持续发展目标12	塑料废物出口（千克/人）
52	可持续发展目标13	CO_2 化石燃料燃烧和水泥生产产生的排放（tCO_2/人）
53	可持续发展目标13	进口产品隐含的温室气体排放（tCO_2/人）
54	可持续发展目标14	生物多样性重要海洋区域的平均保护面积-性（%）
55	可持续发展目标14	海洋健康指数：清洁水域得分（最差为0，最佳为100）
56	可持续发展目标14	来自过度捕捞或崩溃的鱼类种群的鱼类（占总捕捞量的百分比）
57	可持续发展目标14	通过拖网捕捞或挖泥捕捞捕获的鱼类（%）
58	可持续发展目标14	捕获后被丢弃的鱼类（%）
59	可持续发展目标15	生物多样性重要陆地地点的平均受保护面积-多样性（%）
60	可持续发展目标15	重要生物多样性淡水地点的平均受保护面积（%）
61	可持续发展目标15	物种存续红色名录指数（最差为0，最佳为1）
62	可持续发展目标15	永久性森林砍伐（占森林面积的百分比，3年平均值）
63	可持续发展目标15	进口导致的森林砍伐（m^2/人）
64	可持续发展目标16	凶杀案（每10万人口）
65	可持续发展目标16	犯罪得到有效控制（最差 0–1 最佳）
66	可持续发展目标16	未决 detainees（占在押人员总数的百分比）
67	可持续发展目标16	腐败感知指数（最差 0–100 最佳）
68	可持续发展目标16	新闻自由指数（最差 0–100 最佳）
69	可持续发展目标16	司法服务的可及性和可负担性（最差 0–1 最佳）
70	可持续发展目标16	行政诉讼的及时性（最差 0–1 最佳）
71	可持续发展目标16	征收合法且获得充分补偿（最差 0–1 最佳）
72	可持续发展目标17	政府卫生和教育支出（占国内生产总值的百分比）
73	可持续发展目标17	国际优惠公共融资，包括官方发展——发展援助（占国民总收入的百分比）
74	可持续发展目标17	企业避税天堂指数（最佳为0，最差为100）
75	可持续发展目标17	统计绩效指数（最差为0，最佳为100）

参考文献

Allen, C., Metternicht, G., 和 Wiedmann, T.（2019）。可持续发展目标具体目标的优先排序：评估基线、差距和相互关联。《可持续性科学》，14:421–438。

表2：基于可持续发展目标指数得分的国家分类。

表现最差的国家（可持续发展目标指数 $<$ 50）
阿富汗、中非共和国、乍得、刚果民主共和国、索马里， 南苏丹 ，苏丹 ，也门
表现中等国家（50 $\leq$ 可持续发展目标指数 $<$ 80）
阿尔巴尼亚、阿尔及利亚、安哥拉、阿根廷、亚美尼亚、澳大利亚、阿塞拜疆、巴哈马、巴林、孟加拉国、巴巴多斯、白俄罗斯、伯利兹、贝宁、不丹、玻利维亚、波斯尼亚和黑塞哥维那、博茨瓦纳、巴西、文莱达鲁萨兰国、保加利亚、布基纳法索、布隆迪、佛得角、柬埔寨 ，喀麦隆 ，加拿大，智利，中国 ，哥伦比亚，科摩罗 ，哥斯达黎加，科特迪瓦，古巴，塞浦路斯，吉布提，多米尼加共和国，厄瓜多尔，埃及，萨尔瓦多，斯威士兰、埃塞俄比亚、斐济、加蓬、冈比亚、格鲁吉亚、加纳、希腊、危地马拉、几内亚，几内亚比绍、圭亚那、海地、洪都拉斯、印度、印度尼西亚、伊朗、伊拉克、爱尔兰、以色列、Jamaica、约旦、哈萨克斯坦、肯尼亚、韩国、科威特、吉尔吉斯斯坦、老挝，黎巴嫩、莱索托、利比里亚、立陶宛、卢森堡、马达加斯加、马拉维、马来西亚、Mal-马尔代夫、马里、马耳他、毛里塔尼亚、毛里求斯、墨西哥、摩尔多瓦、蒙古、黑山、摩洛哥、莫桑比克、缅甸、纳米比亚、尼泊尔、新西兰、尼加拉瓜、尼日尔、尼日利亚，北马其顿、阿曼、巴基斯坦、巴拿马、巴布亚新几内亚、巴拉圭、秘鲁、菲律宾、卡塔尔、刚果共和国、罗马尼亚、俄罗斯联邦、卢旺达、圣˜多美和普林˙西比和普林˙西比、沙特阿拉伯、塞内加尔、塞尔维亚、塞拉利昂、新加坡、南非、斯里兰卡、苏里南、瑞士、阿拉伯叙利亚共和国、塔吉克斯坦、坦桑尼亚、泰国，多哥、特立尼达和多巴哥、突尼斯、土¨耳其、土库曼斯坦、乌干达、乌克兰、阿联酋、美国、乌拉圭、乌兹别克斯坦、委内瑞拉、越南、赞比亚、津-巴布韦
表现最佳国家（可持续发展目标指数 $\geq$ 80）
奥地利、比利时、克罗地亚、捷克、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、法国、德国、匈-牙利、冰岛、意大利、日本、拉脱维亚、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、斯洛伐克共-公众，斯洛文尼亚、西班牙、瑞典、英国

Assembly, G.（2015年）。大会于2015年9月11日通过的决议。纽约：联合国，第14页。

Council, N. R., on Earth, D., Studies, L., Board, O. S., on Ecosystem Effects of Fishing, C., and 1ˆa¬”《拖网捕捞和挖泥捕捞对海底栖息地的影响》 (2002). 拖网捕捞和挖泥捕捞对海底栖息地的影响。美国国家科学院出版社。

de Miguel Ramos, C. 和 Laurenti, R. (2020年). 可持续发展目标之间的协同效应与权衡关系：西班牙案例。《可持续发展》，12(24):10506。

Fader, M., Cranmer, C., Lawford, R., 和 Engel-Cox, J. (2018年). 探索水、能源和粮食可持续发展目标具体目标之间协同效应与权衡关系。《环境科学前沿》，6:112。

Hegre, H., Petrova, K., 和 von Uexkull, N. (2020年). 实现可持续发展目标过程中的协同效应与权衡关系。《可持续发展》，12 (20), 8729。

ISPRA（2024年）。《意大利排放清单 1990–2022：2024年清单信息报告》。报告 400/2024，意大利环境保护与研究所，意大利罗马。

James, G., Witten, D., Hastie, T. 和 Tibshirani, R.（2013年）。《统计学习导论：*R*语言应用》，第103卷。Springer。Kostetckaia, M. 和 Hametner, M.（2022年）。可持续发展目标之间的相互关联如何影响欧盟国家朝《2030年议程》迈进的进展。《可持续发展》，30(5):916–926。Miao, J., Song, X., Zhong, F., Gao, F., Huang, C. 和 Zhao, X.（2025年）。欠发达山区可持续发展目标的优先实施。《可持续发展》，33(3):3331–3347。Morales-Nin, B., Zimmermann, F., Merino, G., Antelo, L. T., Murillas-Maza 和 Moksness, E.（2024年）。蓝色食品供应面临的挑战。《海洋可持续性前沿》，2:1271783。Nilsson, M., Griggs, D. 和 Visbeck, M.（2016年）。政策：绘制可持续发展目标之间的相互作用。《自然》，534(7607):320–322。Pendleton, L., Evans, K. 和 Visbeck, M.（2020年）。我们需要一场全球运动，推动海洋科学变革，创造更美好的世界。《美国国家科学院院刊》，117(18):9652–9655。Pradhan, P., Costa, L., Rybski, D., Lucht, W. 和 Kropp, J. P.（2017年）。对可持续发展目标（SDG）相互作用的系统研究。《地球的未来》，5(11):1169–1179。Ram, M., Bracci, E. 和 Nizamani, B.（2025年）。2015年至2020年意大利可持续发展目标6、7、11和12废物指标的实现情况。《可持续发展》，17(9):3952。Robert, S., Luckins, N. 和 Menon, R.（2023年）。印度城市水源靠近露天倾倒场导致的水质恶化。《水实践与技术》，18(5):1284–1299。Sachs, J. D., Lafortune, G., Fuller, G. 和 Iablonovski, G.（2025年）。《为*2030*年及本世纪中叶的可持续发展融资：*2025*年可持续发展报告》。可持续发展解决方案网络（SDSN）和都柏林大学出版社，巴黎和都柏林。Song, J. 和 Jang, C.-H.（2023年）。解析可持续发展目标（SDGs）之间的相互关联：对可持续发展目标具体目标进行语义网络分析。《可持续发展》，31(4):2784–2796。Swain, R. B. 和 Ranganathan, S.（2021年）。运用网络分析对可持续发展目标之间的相互关联进行建模。《世界发展》，138:105136。Weitz, N., Carlsen, H., Nilsson, M. 和 Sk˚anberg, K.（2018年）。为实施《2030年议程》制定系统性、情境化的优先级。《可持续性科学》，13:531–548。Xiao, H., Liu, Y. 和 Ren, J.（2023年）。可持续发展目标之间的协同效应与权衡关系：一种纳入间接相互作用分析的新方法。《可持续发展》，31(2):1135–1148。

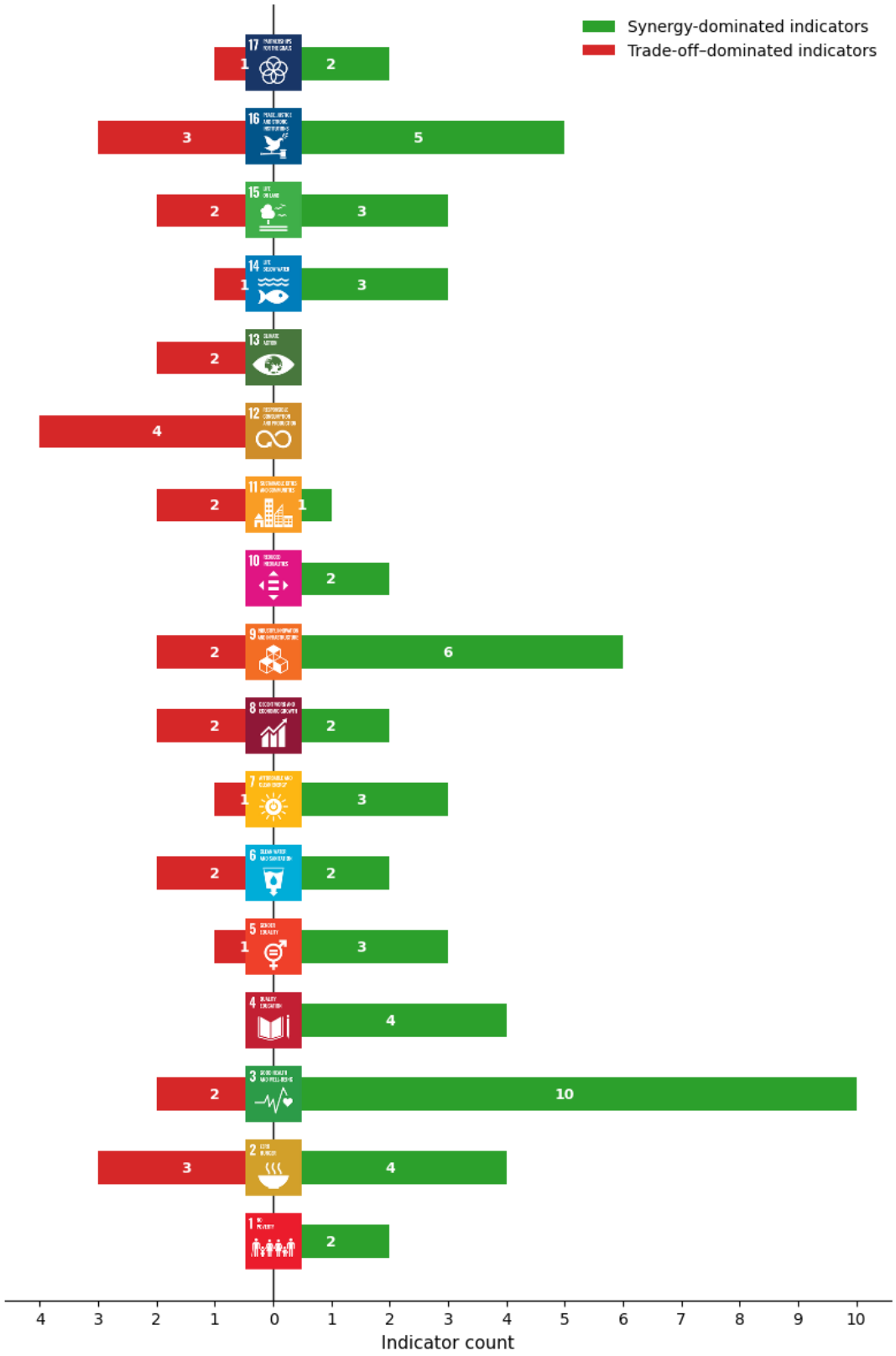

图 4：印度 17 项可持续发展目标中由协同效应和权衡主导的可持续发展目标指标分布。绿色条形表示由协同效应主导的指标数量，红色条形表示由权衡主导的指标数量。条形长度表示指标数量，并以垂直零线为中心对称展示；可持续发展目标图标对齐于中心，供视觉参考。

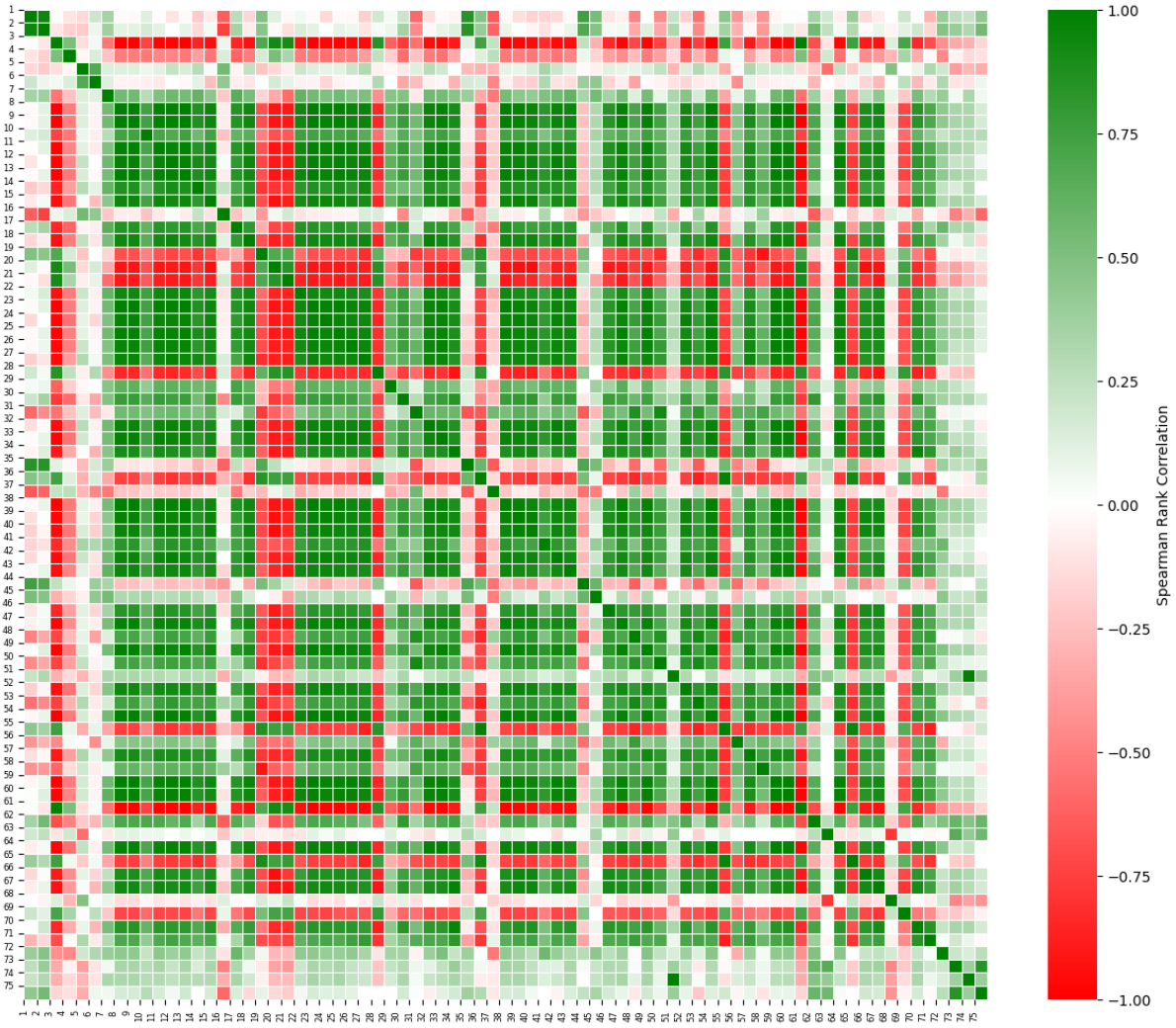

图5：意大利75项可持续发展指标的斯皮尔曼相关性热图，其中深红色表示强负相关，深绿色表示强正相关，白色表示无相关性。

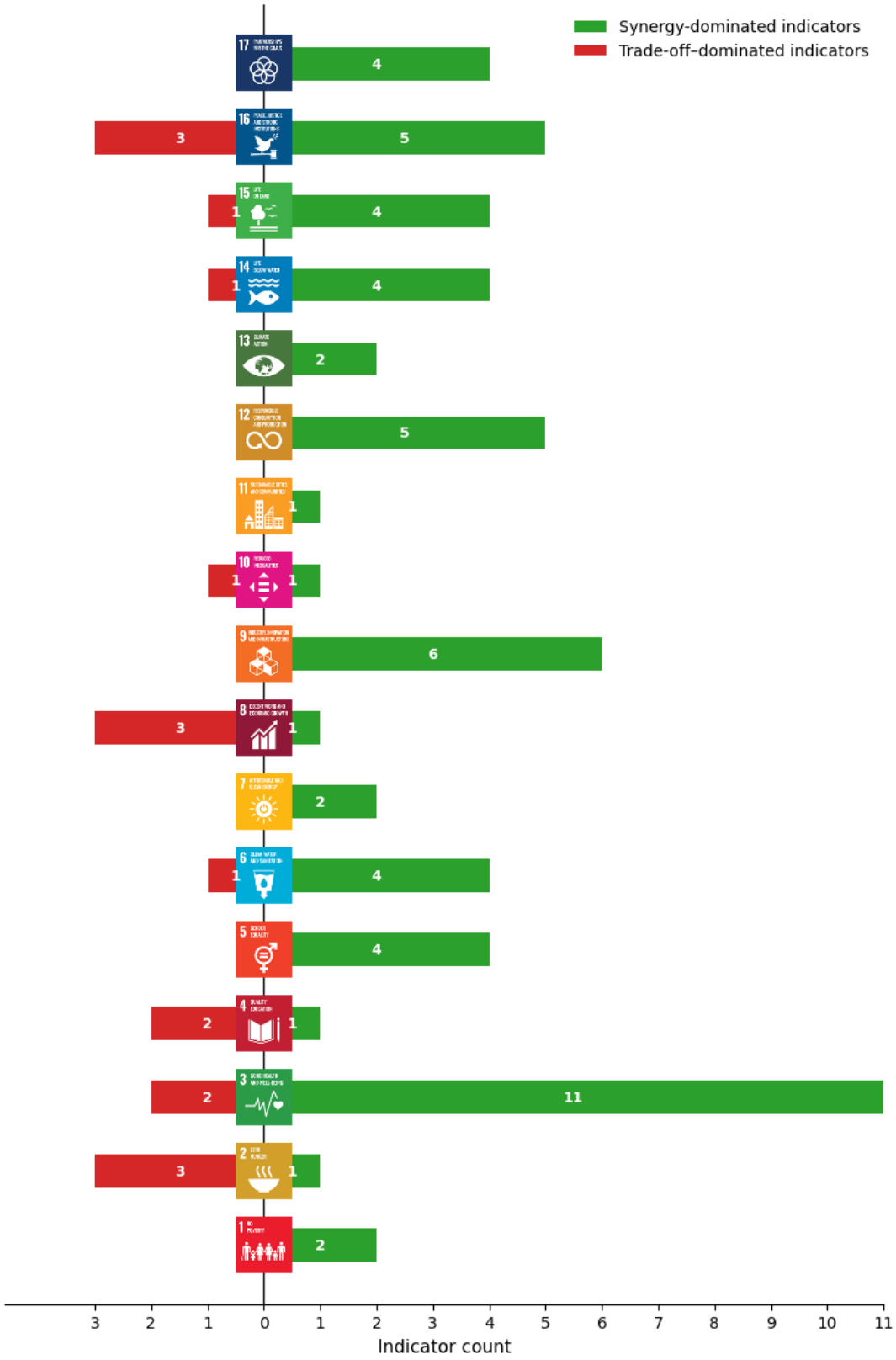

图6：意大利17项可持续发展目标中协同效应主导和权衡主导的可持续发展目标指标分布。绿色条形表示协同主导的指标数量，红色条形表示权衡主导的指标数量。条形长度表示指标数量，并以垂直零线为中心对称显示，可持续发展目标图标对齐于中心以供视觉参考。

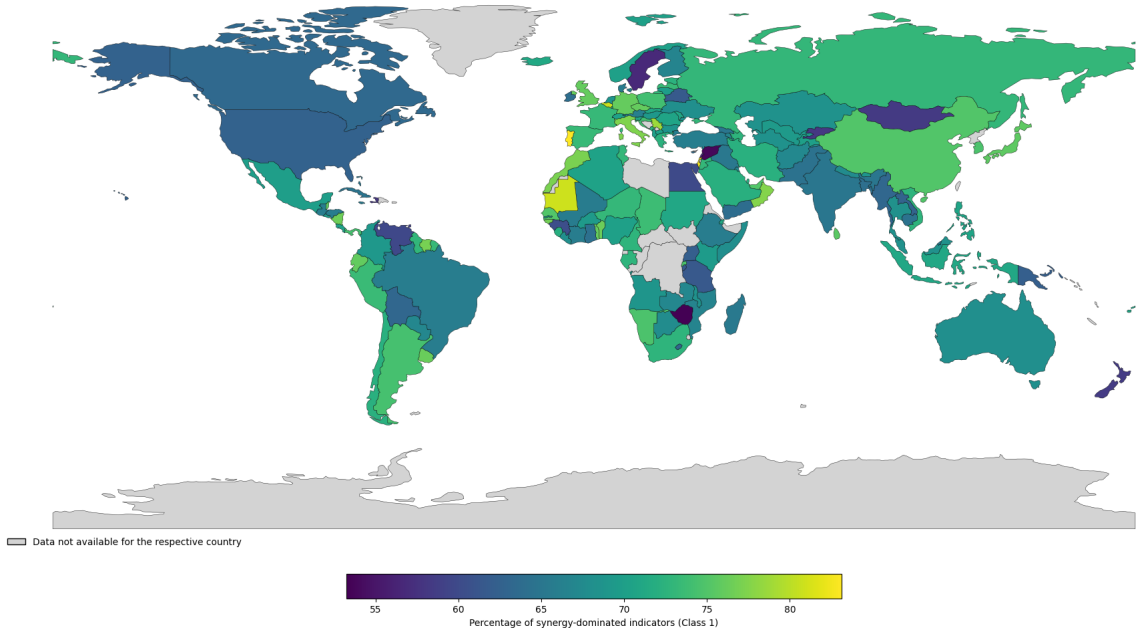

图7：各国家协同主导型可持续发展目标指标所占百分比。颜色标尺从紫色到黄色，其中紫色色调表示协同主导型指标占比较低的国家（约为50%），蓝绿色调表示中等水平，黄色色调表示协同主导型指标占比较高的国家（超过80%）。灰色区域表示没有可用数据的国家。